

LECHES CONCENTRADAS
AZUCARADAS:

| de la tradición a la ciencia |

LECHES CONCENTRADAS AZUCARADAS:

| de la tradición a la ciencia |

COORDINADOR

Juan Sebastián Ramírez-Navas

AUTORES

Juan Sebastián Ramírez-Navas,
Diofanor Acevedo Correa,
Juan de Dios Alvarado,
Kevin José González Morelo,
Jessica Alejandra Hidalgo-Piamba,
Jannet López Torres,
Piedad Margarita Montero Castillo,
José Steven Motato-Guerra,
Carlos Fernando Novoa Castro,
Diego Fabián Novoa,
Jorge Fernando Vélez-Ruiz.

VIGILADA
MINISTERIO DE
EDUCACIÓN



EDITORIAL

Leches concentradas azucaradas: de la tradición a la ciencia / Juan Sebastián Ramírez Navas [y otros]. -- Editor Edward Javier Ordóñez. -- Cali : Universidad Santiago de Cali, 2018.
99 páginas ; 24 cm.
Incluye índice de contenido.
1. Leche 2. Procesamiento de leche 3. Leche concentrada
4. Leche evaporada 5. Leche condensada 6. Productos lácteos
7. Industria lechera I. Ramírez Navas, Juan Sebastián, autor.
II. Ordóñez, Edward Javier, editor.
637.1 cd 22 ed.
A1619284

CEP-Banco de la República-Biblioteca Luis Ángel Arango



Leches concentradas azucaradas: de la tradición a la ciencia.

© Universidad Santiago de Cali.

© **Autores:** Juan Sebastián Ramírez-Navas, Diofanor Acevedo Correa, Juan de Dios Alvarado, Kevin José González Morelo, Jessica Alejandra Hidalgo-Piamba, Jannet López Torres, Piedad Margarita Montero Castillo, José Steven Motato-Guerra, Carlos Fernando Novoa Castro, Diego Fabián Novoa, y Jorge Fernando Vélez-Ruiz.

1a. Edición 100 ejemplares

Cali, Colombia - 2018

ISBN: 978-958-5522-45-9

ISBN (Libro digital): 978-958-5522-46-6

Fondo Editorial University Press Team

Carlos Andrés Pérez Galindo

Rector

Rosa del Pilar Cogua Romero

Directora General de Investigaciones

Edward Javier Ordóñez

Editor en Jefe

Comité Editorial Editorial Board

Rosa del Pilar Cogua Romero

Monica Chávez Vivas

Edward Javier Ordóñez

Luisa María Nieto Ramírez

Sergio Molina Hincapie

Saúl Rick Fernández Hurtado

Sergio Antonio Mora Moreno

Francisco David Moya Cháves

Evaluación de contenidos/Peer-review outcome:

Febrero (February) de 2018

Correcciones de autor/Improved version submission:

Junio (June) de 2018

Aprobación/Acceptance:

Septiembre (September) de 2018

Diseño y diagramación

Juan Diego Tovar Cardenas

Universidad Santiago de Cali

Tel. 5183000 - Ext. 322

Cel. 301 439 7925

Impresión

SAMAVA EDICIONES E.U.

Tel: (2) 8235737

Distribución y Comercialización Universidad Santiago de Cali

Publicaciones

Calle 5 No. 62 - 00

Tel: 518 3000, Ext. 323 - 324 - 414



La editorial de la Universidad Santiago de Cali se adhiere a la filosofía del acceso abierto y permite libremente la consulta, descarga, reproducción o enlace para uso de sus contenidos, bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0 Internacional.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

CONTENIDO

Prólogo.....	15
<i>Capítulo 1</i>	
Leche concentrada, evaporada y/o condensada	
<i>Jorge Fernando Vélez-Ruiz</i>	21
<i>Capítulo 2</i>	
Arequipe o dulce de leche	
Carlos Fernando Novoa Castro	65
<i>Capítulo 3</i>	
La cajeta, un dulce de leche de cabra	
Jorge Fernando Vélez-Ruiz.....	93
<i>Capítulo 4</i>	
Manjar blanco del Valle	
Juan Sebastián Ramírez-Navas	
Diego Fabián Novoa.....	117
<i>Capítulo 5</i>	
Cálculo de tiempos de vida útil en dulce de leche elaborado en Ecuador	
Juan de Dios Alvarado	147
<i>Capítulo 6</i>	
Panelitas de leche	
Juan Sebastián Ramírez-Navas	173
<i>Capítulo 7</i>	
Dulces de leche utilizando lactosuero	
Jannet López Torres.....	203
<i>Capítulo 8</i>	
Cocadas de leche con panela	
Kevin José González Morelo	
Piedad Margarita Montero Castillo	
Diofanor Acevedo Correa	
Juan Sebastián Ramírez-Navas	221

Capítulo 9

Parámetros de calidad

Juan Sebastián Ramírez-Navas 237

Capítulo 10

Diseños experimentales aplicados en Investigación y

Desarrollo de dulces de leche

Jessica Alejandra Hidalgo-Piamba

José Steven Motato-Guerra

Juan Sebastián Ramírez-Navas 273

Acerca de los autores 293

Pares Evaluadores 297

ÍNDICE DE FIGURAS

Capítulo 1

Figura 1. *Diferentes aspectos de la leche, origen vacuno, alimentación de crías, leche fluída, micrografías de transmisión y electrónica de leche fresca, micrografía de leche concentrada.*22

Figura 2. *Evaporadores de múltiple efecto, de tres (a) y cuatro efectos con termostato (b). Evaporadores de placas (c).*26

Figura 3. *Esquema de un evaporador de tres efectos, alimentación directa.*34

Capítulo 2

Figura 1. *Arequipe*.....65

Figura 2. *Fórmula estructural de la lactosa*85

Figura 3. *Marmita con agitador*90

Capítulo 3

Figura 1. *Imágenes de una cajeta envinada, A) en flujo, B) n reposo*94

Figura 2. *Ejemplos de presentaciones de cajeta, envasada en vidrio y plástico.*100

Figura 3. *Microestructura del yogur con diferentes concentraciones de cajeta y grasa, sin goma: (A) yogur con 0.2% de grasa y 15% de cajeta, (B) yogur con 3.2% de grasa y 10% de cajeta, (C), yogur con 3.2% de grasa y 15% de cajeta. La barra de escala denota 50 μ m de longitud (350X).*.....110

Capítulo 4

Figura 1. *Proceso de elaboración de Manjar Blanco del Valle.*121

Figura 2. *Mezclado, concentración y enfriamiento del manjar blanco del Valle.*.....123

Figura 3. *Envasado del Manjar Blanco del Valle en totumos (izq.) y envase plástico (der.).*124

Figura 4. Representación de colores de muestras comerciales de manjar blanco.....	129
Figura 5. Reogramas de cuatro muestras comerciales de Manjar Blanco del Valle.....	131
Figura 6. Diferencias de preferencias (a) entre las marcas de manjar blanco, (b) según los rangos de edades estudiados, (c) según los estratos socioeconómicos estudiados.....	136
 Capítulo 5	
Figura 1. Generación y crecimiento de cristales de lactosa observada al microscopio en dulce de leche almacenado a 15°C. (Días de almacenamiento: A - 3; B - 6; C - 9 y D - 12).	156
Figura 2. Dimensión característica de cristales de lactosa como función del tiempo de almacenamiento a 15°C registrados en dulce de leche	157
Figura 3. Gráfico tipo Arrhenius para establecer el efecto de la temperatura sobre el crecimiento de cristales de lactosa en dulce de leche.....	160
Figura 4. Gráficos para el cálculo de la temperatura de almacenamiento en dulce de leche.	164
Figura 5. Gráfico para el cálculo del tiempo de vida útil en dulce de leche.	166
 Capítulo 6	
Figura 1. Radio Calórico.	176
Figura 2. Diagrama de flujo y condiciones de elaboración de panelitas de leche.....	182
Figura 3. Diagrama de bloques de elaboración de panelitas de leche.....	183
Figura 4. Mezclado y concentración.	187
Figura 5. Paquete de panelitas de leche.....	188
Figura 6. Perfil sensorial de panelitas de leche.....	193
 Capítulo 8	
Figura 1. Radio Calórico.....	223
Figura 2. Proceso productivo de la Panela.	226

Figura 3. Graficas de superficie de respuesta de parámetros colorimétricos: a) Valor a^* ; b) Valor b^* ; c) Valor L^* ; d) Delta (Δ) E228

Capítulo 9

Figura 1. Agitadores (de izquierda a derecha: agitador recomendado para bidones y cubos; agitador adecuado para carrotanques, transporte en vías férreas y tanques de fincas; cucharón para líquidos; agitador adecuado para mezcla de leche condensada azucarada en barriles). Dimensiones en milímetros.....253

Figura 2. Espacio CIELab, Diagrama de diferencia cromática en el espacio tridimensional.....257

Figura 3. Curva típica de un Análisis de perfil de textura.265

Capítulo 10

Figura 1. Diseño simplex con centroide ($q=3$).286

ÍNDICE DE TABLAS

Capítulo 1

Tabla 1. *Composición en Porcentaje de la Leche de Algunos Mamíferos.*.....23

Tabla 2. *Composición química (en porcentaje) de algunos productos lácteos*30

Capítulo 2

Tabla 1. *Fórmulas típicas de arequipe y manjar blanco.*80

Capítulo 3

Tabla 1. *Composición en Porcentaje de la Leche de Algunos Mamíferos.*.....97

Capítulo 4

Tabla 1. *Requisitos Físicoquímicos.*..... 127

Tabla 2. *Requisitos Microbiológicos* 127

Tabla 3. *Parámetros de color CIE $L^*a^*b^*$ (\pm D.E.) de muestras de manjar blanco.¹* 129

Tabla 4. *Parámetros reológicos de muestras comerciales de manjar blanco.*..... 133

Tabla 5. *Estadísticos descriptivos y prueba de Friedman para los atributos sensoriales de cuatro marcas de dulce de leche evaluadas sensorialmente.*..... 138

Tabla 6. *Prueba de los rangos con signo de Wilcoxon para los atributos sensoriales color y textura de cuatro marcas de Manjar Blanco evaluadas sensorialmente.*..... 139

Capítulo 5

Tabla 1. *Valores utilizados para el cálculo de tiempos de vida útil (TVU) en dulce de leche.* 163

Capítulo 6

Tabla 1. *Composición de harinas empleadas en la elaboración de panelitas.*..... 179

Tabla 2. <i>Información de composición de materias primas y producto final.</i>	184
Tabla 3. <i>Balance de materia en cada una de las líneas de entrada y salida.</i>	185
Tabla 4. <i>Vocabulario sensorial para evaluación de panelitas de leche.</i>	193
<i>Capítulo 7</i>	
Tabla 1. <i>Dosificación de la enzima Maxilact® para distintos grados de hidrólisis de la lactosa.</i>	209
<i>Capítulo 8</i>	
Tabla 1. <i>Composición química de las cocadas.</i>	224
Tabla 2. <i>Formulación para el proceso de elaboración de las cocadas.</i>	227
<i>Capítulo 9</i>	
Tabla 1. <i>Algunas características de calidad de un alimento.</i>	237
Tabla 2. <i>Requisitos para la leche cruda.</i>	239
Tabla 3. <i>Requisitos para el azúcar blanco.</i>	240
Tabla 4. <i>Requisitos físico químicos y microbiológicos para la panela.</i>	242
Tabla 5. <i>Requisitos físico químicos y microbiológicos para el jarabe de glucosa.</i>	244
Tabla 6. <i>Requisitos de bicarbonato de sodio.</i>	247
Tabla 7. <i>Requisitos fisicoquímicos para el arequipe, el manjar blanco y la leche condensada azucarada.</i>	248
Tabla 8. <i>Parámetros texturales obtenidos del Análisis de Perfil de Textura.</i>	264

Dedicatoria

A Sebastián, con todo mi amor. Gracias por tu compañía y por dejarme pintar contigo.

PRÓLOGO

Las leches concentradas azucaradas abarcan un interesante segmento del mercado de derivados lácteos, principalmente en Latinoamérica. Son productos que gracias a su composición se pueden conservar por tiempos prolongados. Entre estos están la leche condensada azucarada y todas las variedades de dulces de leche.

Al realizar una revisión de literatura científica, se encuentra poca información relacionada con estos productos. Esto motivó a que nos uniéramos varios autores con el fin de escribir este material, que esperamos sea de utilidad en el campo productivo y académico. Cada uno de los autores que participó en este proyecto cuenta con varios años de experiencia en la academia y en la asesoría industrial.

En el *primer capítulo* se revisa la información existente sobre la *leche concentrada por evaporación* y sus formas más comerciales, como son la leche evaporada y la condensada. Se hace una breve presentación de la leche de vaca, destacando su composición y sus propiedades fisicoquímicas. Se hace énfasis en la elaboración de la leche concentrada que fundamentalmente es la base para producir los diferentes tipos de leche mencionados, e inclusive para leche en polvo. Se revisan las características de funcionamiento de los equipos industriales, destacando las tres zonas de operación de cada equipo. También se mencionan las ideas fundamentales de la evaporación de múltiple efecto, resaltando las configuraciones más comerciales, que son los evaporadores de tres efectos. Se presentan los fundamentos ingenieriles del proceso de concentración por evaporación, como son los balances de materia y energía y la transferencia de calor, se cita la elevación del punto de ebullición como una propiedad coligativa importante. Se ejemplifican los conceptos teóricos con la solución de tres problemas numéricos, tratando de involucrar todos los aspectos a considerar en el diseño de un equipo de evaporación y calculando tres parámetros de diseño: el consumo, la capacidad y el área de transferencia de calor.

En el *segundo capítulo* se revisa la información existente sobre *arequipe o dulce de leche*. En Colombia el dulce de leche se conoce con el nombre de arequipe y se define como el producto higienizado obtenido por la concentración térmica de una mezcla de leche y azúcares; se utiliza como postre o como un ingrediente alimenticio en pastelería, heladería o acompañando otros alimentos como quesos, natillas, obleas, frutas, etc. Durante la concentración y calentamiento de la mezcla leche-azúcar se presentan cambios fisicoquímicos que causan oscurecimiento y formación de un gel y definen en gran parte las características sensoriales del arequipe. Los ingredientes utilizados en su elaboración son leche, sacarosa, glucosa y bicarbonato de sodio. Muchas de las formulaciones tradicionales se encuentran dentro de los siguientes rangos: leche entera 82-86%, sacarosa 13-18%, glucosa 1-2% y bicarbonato de sodio 0.04-0.12%; a mayor adición de bicarbonato, mayor es la intensidad del color. Para evitar el defecto de arenosidad por formación de cristales ásperos, se debe hidrolizar la lactosa de la leche utilizando la enzima lactasa. Los grados Brix finales dependen de la formulación y de la consistencia que se desee y su valor está entre de 65 y 75 grados Brix. Su vida útil puede extenderse hasta seis meses a temperatura ambiente en envase hermético.

En el *tercer capítulo* se revisa la información existente sobre la *cajeta o dulce de leche mexicano*, presentando su definición, sus principales características y defectos y su proceso de elaboración; se mencionan sus formas más comerciales, como son la “cajeta envinada” y “la cajeta quemada”. Se hace una breve presentación de la leche de cabra, destacando su composición y sus propiedades fisicoquímicas. Se hace énfasis en la elaboración de la cajeta que fundamentalmente adquiere sus características de color y consistencia durante el proceso de calentamiento y evaporación, denominado cocimiento. Se revisan los pocos trabajos encontrados sobre la elaboración de cajeta, en los cuales se utiliza la leche de vaca u otros ingredientes, como edulcorantes, fructosa y miel, seleccionando las mejores formulaciones de cajeta con base en las propiedades de flujo, fisicoquímicas y/o sensoriales. También se mencionan otros estudios reportados en revistas científicas, en el que la cajeta fue incorporada como parte de

la formulación de tres productos lácteos, una bebida saborizada, un yogur bebible y una natilla sabor cajeta.

En el *cuarto capítulo* se revisa la información existente sobre *Manjar Blanco del Valle*. Se establecen las características fisicoquímicas y bromatológicas que éste debe cumplir, de acuerdo a la legislación vigente. Se detalla la tecnología aplicada para su elaboración. Y se presentan resultados de su caracterización.

En el *quinto capítulo* se revisa la información existente *sobre cálculos de tiempos de vida útil en dulce de leche elaborado en Ecuador*. El propósito principal es presentar alternativas para el cálculo de la vida de anaquel o vida útil de dulce de leche, conocido también como manjar de leche en Ecuador. Se revisan algunos aspectos relacionados con la estabilidad de los alimentos y las características generales del dulce de leche, con énfasis en el proceso de cristalización de lactosa. Muestras de dulce de leche elaboradas en el laboratorio sirvieron para determinar por microscopía el crecimiento de los cristales del azúcar cuando se mantiene el producto en almacenamiento, indicador utilizado para los cálculos al comprobarse que al aumento de tamaño sigue una cinética de orden cero. Para el caso de almacenamiento a temperatura constante, el modelo de Arrhenius posibilita el cálculo del tiempo de vida útil, desarrollándose un ejemplo de cálculo. En el caso que existan variaciones de la temperatura, se analizan dos casos: el primero si existen fluctuaciones regulares, desarrollándose un cálculo de la temperatura final del producto para alcanzar un tiempo de anaquel deseado; y el segundo cuando las fluctuaciones son irregulares, que es lo más cercano a la realidad, calculándose el tiempo de vida útil por un método gráfico. Comentarios sobre la importancia del método de cálculo y la complejidad del tema de vida útil, se incluyen al final.

En el *sexto capítulo* se revisa la información existente sobre *panelitas de leche*. Se presenta el proceso elaboración de las panelitas de leche, además de la importancia de sus materias primas y los posibles defectos del producto final. Se expone un estudio de caracterización sensorial de panelitas de leche, que puede servir como base para

la caracterización de estos productos, principalmente en empresas pequeñas.

En el *séptimo capítulo* se revisa la información existente sobre *dulces de leche elaborados utilizando lactosuero*. A través de la historia el lactosuero ha sido relegado a la condición de residuo, siendo un subproducto altamente contaminante derivado de la industria quesera, el cual contiene una riqueza nutritiva aprovechable por el alto valor biológico de sus proteínas y de sus capacidades funcionales. Se realizó una revisión de trabajos de investigación donde fueron evaluados diferentes niveles de sustitución de leche por lactosuero en la elaboración de dulces de leche como arequipe, manjar de leche, leche condensada y para otros usos. Se determinó las características, composición, propiedades nutricionales, funcionales y tecnológicas de lactosuero requeridas para la elaboración de los dulces, los tratamientos previos al lactosuero, la elaboración, las conclusiones y recomendaciones pertinentes para obtener los diferentes productos con las características organolépticas, fisicoquímicas y microbiológicas exigidas por la legislación de cada país.

En el *octavo capítulo* se revisa la información existente sobre *cocadas de leche* elaboradas con panela. Las cocadas están compuestas por coco (*Cocos nucifera*) rallado, agua, leche de coco, panela y canela. Aunque su demanda es alta, no existen estudios científicos sobre sus características termofísicas, colorimétricas y texturales, que permitan mejorar la uniformidad del producto final y abarcar un mercado más extenso. Se presenta la evaluación de las propiedades termofísicas, colorimétricas, texturales, sensoriales y la composición química de las cocadas con panela, además de las variables influyentes en el proceso de elaboración de este alimento. También se explica la relación de la temperatura y tiempo de cocción sobre las propiedades texturales y sensoriales de las cocadas de leche con panela.

En el *noveno capítulo* se revisa la información existente sobre los *parámetros de calidad* que deben cumplir las leches concentradas azucaradas. Se presenta un resumen de algunas pruebas que se realizan para evaluar los parámetros de calidad de los dulces de leche.

En la medida de lo posible se relaciona la información con normas técnicas nacionales e internacionales.

En el décimo capítulo se exponen algunas bases sobre *diseño experimental* y se presentan ejemplos de la aplicación en el campo de la *investigación y desarrollo de dulces de leche*. Revisando los pocos ejemplos encontrados en la literatura científica, se concluye que para cualquier investigación siempre habrá un diseño experimental que se acople mejor y no excluya características importantes que puedan influir posteriormente en los resultados del experimento.

Esperamos que este material sea de utilidad para el lector.

Los autores

Capítulo 1

LECHE CONCENTRADA, EVAPORADA Y/O CONDENSADA

Jorge Fernando Vélez-Ruiz
<https://orcid.org/0000-0003-1526-989X>

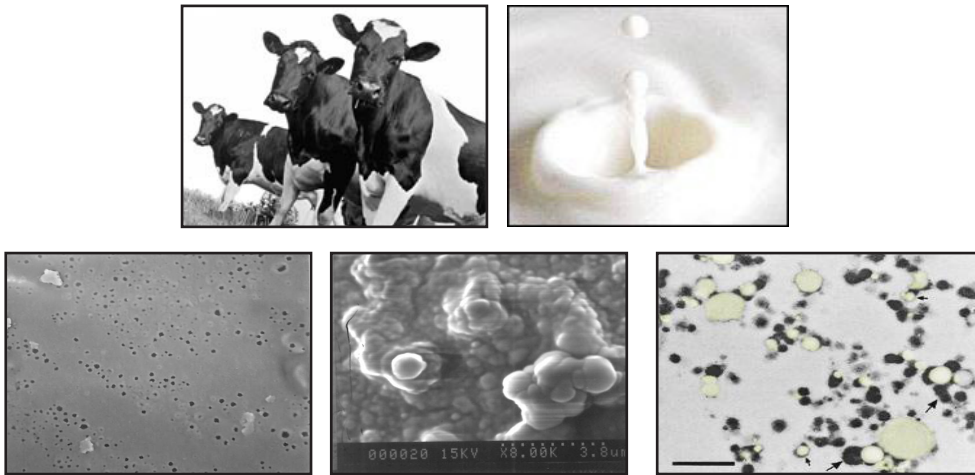
1 Introducción

La *leche condensada* es un producto lácteo que representa una de las formas más útiles y prácticas de conservar la leche de los mamíferos, principalmente de la leche de vaca. Es un alimento conservado por la eliminación parcial del agua presente en la leche por medio del proceso de evaporación. Existen diferentes tipos de este producto, como la leche evaporada y la leche azucarada, entre otros, que en esencia es la leche concentrada, con mayor contenido de sólidos lácteos o menor contenido del agua original. Y es común o del manejo público en general, que la leche condensada se refiera a la leche concentrada azucarada.

La *leche* es producida por todas las especies de mamíferos para alimentar a sus crías (Fig. 1); sin embargo, la leche de cada especie tiene una composición bromatológica diferente y por tanto propiedades diferentes. La leche se compone de agua, carbohidratos, lípidos, sustancias nitrogenadas, minerales, vitaminas, ácidos orgánicos, enzimas y gases. El agua es el componente más abundante y es el medio en el que los otros componentes están disueltos o dispersos; las sales y los azúcares se encuentran en solución, las proteínas, en su mayor parte, en estado coloidal y la materia grasa en forma de emulsión

[Miller *et al.*, 2006; Schmidt *et al.*, 1971; Smit, 2003; Vélez-Ruiz, 2017; Webb y Johnson, 1987].

Figura 1. *Diferentes aspectos de la leche, origen vacuno, alimentación de crías, leche fluída, micrografías de trasmisión y electrónica de leche fresca, micrografía de leche concentrada.*



Fuente: <https://goo.gl/Zhpcgr>

El porcentaje de agua en la leche está entre 80% y 92%, valor que varía en función de la especie, la época del año, su estado de salud y de crecimiento, así como de la presencia de los otros componentes de la leche [Chandan, 2006b; Smit, 2003]. En la Tabla 1 se presentan ejemplos de la composición de la leche de diferentes mamíferos [Alais, 1985; Chandan, 2006a; Kosikowski y Mistry, 1997; Miller *et al.*, 2006; Vélez-Ruiz, 2017].

Tabla 1. *Composición en Porcentaje de la Leche de Algunos Mamíferos.*

Mamífero	Agua	Grasa	Proteínas	Caseína	Suero proteína	Lactosa	Cenizas
Búfala	83,7	6,7	4,5	3,6	0,9	4,5	0,8
Burra	91,5	0,6	1,4	0,7	0,7	6,1	0,4
Cabra	86,8	4,5	2,9	2,5	0,4	4,1	0,8
Camella	86,4	4,5	3,6	2,7	0,9	5,0	0,7
Oveja	80,7	7,3	5,5	4,6	0,9	4,8	1,0
Vaca	87,8	3,4	3,4	2,8	0,6	4,7	0,7
Yak	82,7	6,5	5,8	---	---	4,6	0,9
Yegua	88,8	1,9	2,5	1,3	1,2	6,2	0,5

Adaptada de Chandan [2006a]

La industria láctea es una de las industrias alimentarias más importantes en México y en muchos países. En el mercado existe una gran variedad de productos lácteos, algunos son para consumo inmediato, mientras que otros son productos que se transforman para obtener una vida útil mayor. Un ejemplo son las leches concentradas, las cuales tienen características muy peculiares y son la base para la elaboración de otros productos lácteos como la leche evaporada, leche condensada azucarada y leche en polvo. A mediados del siglo XIX, Gail Borden mostró cuáles eran las ventajas obtenidas al concentrar la leche, desde entonces, se ha creado una gran industria dedicada a la *concentración por evaporación de la leche*. Brasil representa el mayor mercado de *leche condensada* en el mundo. *La leche concentrada, evaporada o condensada* es el producto líquido obtenido por la eliminación de cerca del 60% del agua de la leche [Ibarz y Barbosa-Canovas, 2003; Kessler, 2002; Vélez-Ruiz, 2016, 2017].

La eliminación de agua normalmente se hace por evaporación del agua presente en la leche, al alcanzar el punto de ebullición. Esta

propiedad termodinámica del agua, en condiciones de nivel del mar (a una presión atmosférica de 101 325 Pa), sucede a 100°C. Por lo tanto, en un alimento líquido en el que existen otros componentes sólidos, en adición al agua, la temperatura de ebullición será mayor, a los 100°C, ya que es una propiedad coligativa. Las ventajas inmediatas de la concentración por evaporación son la disminución de la actividad de agua, la cual ejerce un *efecto conservador*; se tiene una disminución de peso y de volumen, se obtiene una concentración del resto de los componentes lácteos, por lo que se puede realizar la conservación de la leche producida en exceso durante ciertas épocas, aunque como consecuencia del procesamiento se genera la *modificación de las propiedades de leche*.

La evaporación como proceso ingenieril de transformación de la materia y de conservación, implica que solo se puede aplicar a alimentos líquidos, en los cuáles se realiza una transferencia de calor por conducción y convección principalmente y de transferencia de masa, tanto por difusión como convección másica, siendo más importante el fenómeno de transferencia energética o calorífica. Y debido a que este proceso implica la ebullición del fluido biológico, los componentes alimenticios pueden sufrir daño térmico, principalmente las proteínas y la lactosa; *la evaporación se realiza a bajas presiones absolutas* o, dicho de otra manera, en *condiciones de vacío*, para que el punto de ebullición de la leche sea mucho menor a los 101.5°C que es el punto de ebullición de la leche de vaca en condiciones normales (no en vacío) [Harper y Hall, 1976; Kessler, 2002; Vélez-Ruiz, 2016, 2017]. La evaporación de la leche en las plantas industriales, normalmente se lleva a cabo entre 45 y 70°C.

2 Proceso de evaporación

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 y jarabes, entre otros; se ha usado para facilitar el transporte, inducir la consistencia y el cambio de sabor, para incrementar la estabilidad de los productos concentrados

o bien como una etapa previa al proceso de secado, debido a que es más económico concentrar por aplicación de vapor, que por aplicación de aire [Harper y Hall, 1976; Kessler, 2002; McCabe *et al.*, 2008; Vélez-Ruiz, 2009, 2014, 2016, 2017].

Es un proceso que se fundamenta en el calentamiento de un alimento líquido hasta su punto de ebullición para remover el agua en forma de vapor. Los evaporadores utilizados en la industria láctea siempre operan al vacío, logrando así la disminución del punto de ebullición, porque la leche es sensible al calor y una evaporación a más de 100°C puede ocasionar desnaturalización de las proteínas de la leche. Obviamente, el punto de ebullición de la leche se incrementa cuando contiene mayor cantidad de sólidos, como quiera la evaporación no supera los 70°C en condiciones de presión reducidas [Kessler, 2002; McCabe *et al.*, 2008; Vélez-Ruiz, 2009, 2014, 2016; Webb y Johnson, 1987]

Existen diferentes tipos de equipos industriales para la evaporación de un alimento líquido calentado con vapor de agua: los evaporadores de un solo efecto, los cuales se utilizan para pequeñas cantidades de producto; los 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 efecto múltiple (Figs. 2a y 2b), los cuales son los más utilizados industrialmente en la concentración de la leche, jugos y purés [Vélez-Ruiz, 2009, 2014]. Los evaporadores de película descendente, han sido ampliamente utilizados en la industria láctea [Kessler, 2002; Vélez-Ruiz, 2017; Webb y Johnson, 1987].

Un evaporador en operación se caracteriza por poseer tres zonas: la zona de calentamiento que típicamente es un intercambiador de tubos a la vez que el vapor de agua (conocido como “vapor vivo”) se transforma en líquido cediendo su calor latente de condensación al alimento; la zona de cambio de fase o de evaporación, en donde la leche alcanza su punto de ebullición y desprende el agua en forma de vapor, el agua de la leche se evapora rápidamente, y la zona de separación, donde se realiza la separación de ambas fases, separando así el vapor de la leche concentrada [Ibarz y Barbosa-Canovas, 2003;

Kessler, 2002; Vélez-Ruiz, 2014, 2017]. Normalmente se emplea una caldera para generar el denominado *vapor vivo necesario* para suministrar la energía térmica en el evaporador, conocida como *consumo*. Para minimizar el consumo están los evaporadores en serie o de múltiple efecto (Fig 2a), esto significa que existe más de una unidad de evaporación, que operan a presiones menores en cada efecto y logran un punto de ebullición más bajo en cada efecto posterior. El agua evaporada que se produce en el primer efecto sirve como medio de calentamiento para el efecto siguiente y así sucesivamente [Holland, 1975], aunque nuevos diseños como el empleo de placas en serie (Fig. 2c) y unidades con centrifugación han sido incorporados, cambiando la tradicional geometría tubular [Vélez-Ruiz, 2014, 2016]. La *relación del flujo másico de agua evaporada con respecto al flujo másico de vapor suministrado* se conoce como *economía*; así la economía de un equipo con un solo evaporador o efecto es menor a la unidad, mientras que en un evaporador de dos efectos o más aumenta, y es mayor a uno, y obviamente es proporcional al número de unidades.

Figura 2. Evaporadores de múltiple efecto, de tres (a) y cuatro efectos con termocompresor (b). Evaporadores de placas (c).





C

Existen varios aspectos del alimento que se toman en cuenta tanto para el diseño de los equipos como para establecer las condiciones del proceso y seleccionar el equipo de evaporación que se va a utilizar [Kessler, 2002; Vélez-Ruiz, 2009, 2014, 2017]. Entre los principales están, *la elevación del punto de ebullición (EPE) y el aumento en la viscosidad* o cambio en las propiedades de flujo de la leche con mayor concentración de sólidos. Adicionalmente, *la termo sensibilidad de los componentes y la pérdida de volátiles*, son otros dos aspectos a considerar; en el caso de la leche el primero es más importante debido a su riqueza en nutrientes, ya que el segundo es beneficioso, porque se eliminan los olores de establo. Y en lo que se refiere a la transferencia de calor, además de las propiedades térmicas, tanto *la formación de costra*, como *la formación de espuma* también se consideran porque disminuyen el coeficiente global de transferencia de calor; generando una resistencia conductiva adicional, y disminuyendo el coeficiente convectivo de la leche, respectivamente.

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 unidades cuando se remueve la tercera parte del agua del producto [Walstra *et al.*, 2006]. Otras propiedades modificadas de manera importante durante el proceso de concentración, son el aumento en el punto de ebullición y la densidad, la modificación de las propiedades de flujo y/o aumento en la viscosidad aparente, así como las térmicas.

El proceso general que sigue la leche en una industria lechera está integrado por las siguientes operaciones unitarias: 1) recepción en donde se cuantifica y se analiza la calidad de la leche, 2) estandarización de las masas o lotes de leche en tanques de agitación y mezcla, donde se combinan volúmenes de leche con diferentes características, se agregan sólidos o grasa para alcanzar un nivel específico, manejado por cada industria (por ejemplo, estandarización a 16.5% de sólidos); 3) precalentamiento variable en función de la leche a producir, incluyendo o no la clarificación a alta o baja temperatura, según la presencia de ciertos materiales a ser eliminados precisamente en esta etapa; 4) homogenización para reducir el tamaño de los glóbulos de grasa, según si la leche sea entera, semidescremada o magra; 5) evaporación de la leche (45-70°C) como el proceso importante en este producto lácteo, para alcanzar el nivel de sólidos necesario o deseado (45% por ejemplo); 6) envasado en latas o frascos con un tratamiento térmico esterilizante, según el tipo de proceso y su posterior almacenamiento.

Las variantes en los parámetros de proceso, la presencia de otras operaciones o su ausencia previa a la evaporación, así como los procesos posteriores a la concentración son función del producto lácteo a elaborar. La llamada leche condensada es *leche concentrada que se encuentra en una etapa intermedia de fabricación*. Algunos compradores industriales, tales como productores de chocolates, pasteles y sopas compran *leche descremada condensada o leche entera condensada* a granel y especifican la composición que requieren. En la *leche condensada sobrecalentada*, el *tratamiento de calor adicional* (al final de la etapa de condensado) imparte ciertas propiedades, aumenta la capacidad de absorción de humedad de las proteínas de la leche e incrementa la viscosidad del concentrado, substancialmente; modificaciones que son deseables para usos industriales específicos como en *helados y productos horneados*.

En la *leche evaporada*, el *precalentamiento* por un lado incrementa la estabilidad térmica de la leche, lo cual permite calentamientos posteriores del producto lácteo mediante una transferencia de calor apreciablemente más intensa. Por otro lado, la *esterilización* des-

truye a los microorganismos y enzimas. En la *evaporación* hay una pérdida de la mitad de agua, y en el producto final tanto la lactosa como las proteínas causan cierto grado de oscurecimiento que continúa durante el almacenamiento. El contenido de “Latas viejas” o con mucho tiempo de almacenamiento (> 6 meses) pueden presentar color oscuro, naturaleza ácida y posible “agotamiento” del sabor.

Mientras que, en la *leche condensada azucarada*, la principal diferencia con respecto a la leche evaporada, es la *adición de azúcar* en condiciones asépticas, en donde el control del fenómeno de cristalización de la lactosa se hace sembrando “semillas de sacarosa”, el azucarado contribuye a la preservación de la leche. Las especificaciones para la *leche condensada azucarada* requieren no menos de 8.5% de grasa de leche, 28% de sólidos totales de leche, y una concentración de 61.5% de sacarosa en agua. Este producto lácteo no necesita ser esterilizado debido a la alta presión osmótica ejercida por los sólidos, principalmente los azúcares. Es de un sabor menos cocido, color blanquecino-cremoso, más claro y con consistencia de jarabe. La composición de algunos productos lácteos, se incluye en la Tabla 2 con propósitos de comparación.

Tabla 2. Composición química (en porcentaje) de algunos productos lácteos.

Componente	Leche		Leche Concentrada:			Leche en Polvo:	
	Fresca	Entera	Descremada	Evaporada	Azucarada	Entera	Descremada
Agua	87.5	66	68.5	≤ 73.6	26	4	5
Sólidos	12.5	34	31.5	≥ 26.4	74	96	95
Grasa	3.5	10	0.5	≥ 7.7	9	26	1.5
Proteína	3.3	9	12	≥ 6.3	9	27	34
Lactosa	4.9	13	16	≥ 10.9	12	37	50
Minerales	0.8	2	2	≥ 1.5	0.8	6	8
Sacarosa	0	0	0	0	41	0	0

Modificado de Alais [1985], Smit [2003], Vélez-Ruiz [2017], Webb y Johnson [1987].

3 Fundamentos ingenieriles de la evaporación

Como operación unitaria de la industria de alimentos, los fundamentos de la misma son los balances de materia y de energía desde el punto de vista macroscópico, mientras que la transferencia de calor constituye el fenómeno de transporte más importante. Los balances de masa y energía térmica aplicados a un equipo de evaporación en condiciones de operación estable, permiten calcular, por un lado, la *capacidad* o cantidad de agua evaporada por medio de un balance másico sobre la leche, y por otro, el *consumo* o cantidad de vapor vivo necesario por medio de un balance másico sobre el vapor suministrado. La relación entre ambos parámetros de diseño constituye la

economía de un evaporador como la cantidad de agua eliminada con respecto al vapor suministrado, que es menor de 1.0 en un evaporador simple o mayor a 1.0 en los evaporadores de doble o múltiple efecto. Adicionalmente, la aplicación de los fundamentos matemáticos de la transferencia de calor (TC) permite obtener el área de transferencia necesaria [Geankoplis, 2006; Kern, 1983; McCabe *et al.*, 2008; Vélez-Ruiz, 2014, 2016].

Considerando dos de los tres mecanismos de TC, la *conducción* a través de las paredes de la zona de intercambio de calor y la *convección*, por un lado, entre el vapor vivo y la pared y por otro, entre la leche y la pared, implican las ecuaciones de Fourier y del enfriamiento de Newton:

$$\text{Conducción} \quad dQ = -kA \frac{dT}{dx} \quad (1)$$

$$\text{Convección} \quad dQ = -hAdT \quad (2)$$

Donde: dQ es flujo de calor (W), k es la conductividad térmica del metal ($W/m \cdot ^\circ C$), A es el área de transferencia de calor (m^2), dT/dx es el gradiente de temperatura ($^\circ C/m$) compuesta por la dT como diferencia de temperatura o fuerza impulsora ($^\circ C$ o K) y dx es la distancia o separación entre las temperaturas alta y baja del cuerpo sólido o metal (m), h es el coeficiente convectivo del fluido (vapor o leche) conocido también como coeficiente de película o superficial ($W/m^2 \cdot ^\circ C$).

Ambos mecanismos están incluidos en el coeficiente global de TC (U) que refleja la capacidad del sistema para realizar la transferencia de calor. Este parámetro representa el inverso de las resistencias térmicas involucradas en el proceso de TC ($U = 1/SR$), una resistencia convectiva interna o para la leche, la resistencia conductiva en la pared del metal y la otra resistencia convectiva externa o para el vapor, donde los coeficientes individuales h son determinantes y se busca que sean de la mayor magnitud posible, favoreciendo la turbulencia de los flujos correspondientes.

$$Q=UA\Delta T_{ML} \quad (3)$$

Donde: Q es el flujo total de calor (W), U es el coeficiente global de TC ($W/m^2 \cdot ^\circ C$), A representa el área de transferencia de calor superficial, correspondiente a los tubos o placas (m^2), y ΔT_{ML} es diferencia de temperatura promedio ($^\circ C$ o K), o media logarítmica.

Este coeficiente tomará diferentes magnitudes si se considera el área interna o externa como referencia, mientras que en el caso de placas no hay diferencia ($U_e = U_i$), es común utilizar el coeficiente externo cuando se trata de intercambiadores de calor de tubos.

Coficiente global basado en la superficie externa (U_e):

$$U_e = \frac{1}{\frac{1}{h_i} \left(\frac{D_o}{D_i}\right) + \frac{\Delta x}{k} \left(\frac{D_o}{D_L}\right) + \frac{1}{h_o}} \quad (4a)$$

Coficiente global basado en la superficie interna (U_i):

$$U_i = \frac{1}{\frac{1}{h_o} \left(\frac{D_i}{D_o}\right) + \frac{\Delta x}{k} \left(\frac{D_i}{D_L}\right) + \frac{1}{h_i}} \quad (4b)$$

Coficiente global para placas (U):

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{\Delta x}{k} + \frac{1}{h_o}} \quad (4c)$$

Donde: h_i es el coeficiente convectivo interno (para el fluido correspondiente, $W/m^2 \cdot ^\circ C$), D_o es el diámetro externo del tubo (m), D_i es el diámetro interno del tubo (m), Δx es el espesor del metal del que está fabricado el tubo o la placa (m), k es la conductividad térmica de la pared del tubo o placa ($W/m \cdot ^\circ C$), D_L es el diámetro medio logarítmico (m) y h_o es el coeficiente convectivo externo (para el fluido correspondiente, $W/m^2 \cdot ^\circ C$).

Adicionalmente a las resistencias mencionadas, pueden incorporarse las resistencias por ensuciamiento que se desarrollan después de

cierto tiempo de operación del equipo y que en el caso de la leche es un factor importante a considerar. Y para la evaluación de la diferencia de temperatura media logarítmica (DT_{ML}), es necesario conocer las temperaturas de ambos fluidos, tanto en la entrada como en la salida del intercambiador de calor, que a su vez están condicionadas al tipo de arreglo paralelo o contracorriente en el equipo de TC. Sabiendo que el flujo en contracorriente favorece una distribución de temperaturas que contribuye a una mayor TC.

$$\Delta T_{ML} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln(\Delta T_1 / \Delta T_2)} \quad (5)$$

Donde: DT_{ML} es la fuerza impulsora media (logarítmica en este caso) del proceso de transferencia ($^{\circ}C$ o K), DT_1 es la diferencia de temperatura en la entrada del equipo ($^{\circ}C$ o K), y DT_2 es la diferencia de temperatura en la salida del intercambiador de calor ($^{\circ}C$ o K).

Detalles adicionales de todos los parámetros hasta ahora mencionados pueden ser consultados en los libros clásicos de operaciones unitarias [Geankoplis, 2006; McCabe *et al.*, 2008], así como de manera más particular para el área de alimentos en otros textos [Ibarz y Barbosa-Canovas, 2003; Vélez-Ruiz, 2009, 2014]. Éstos tratarán de reforzarse con el manejo de un par de ejemplos numéricos posteriormente; donde se aplicará el algoritmo de solución propio para este tipo de equipos de proceso y que se expresa a continuación para un equipo de evaporación de tres efectos, esquematizado por la Fig 3.

3.1 Proceso estable o sin acumulación

3.1.1 Balance de materia

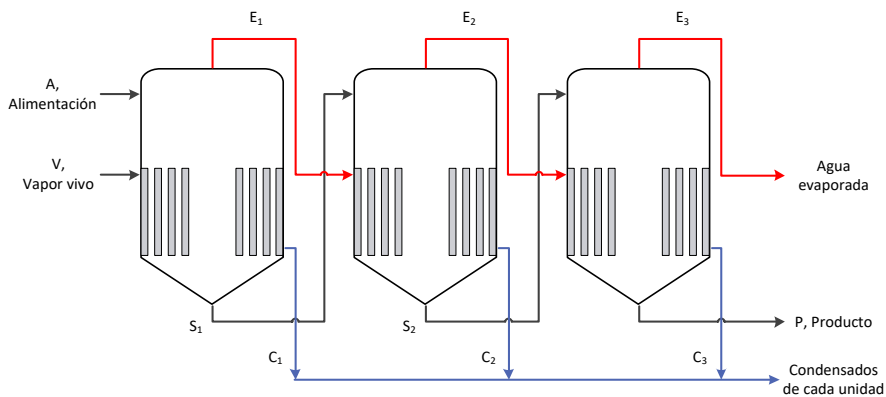
Un balance de masa en el sistema global, en un proceso estable, donde no hay acumulación, considerando que el vapor se condensa totalmente ($W_v = W_{c1}$), se tiene

$$W_A + W_v = W_{c1} + W_{c2} + W_{c3} + W_{E3} + W_P \quad (6a)$$

$$W_A = W_{E1} + W_{E2} + W_{E3} + W_P \quad (6b)$$

Donde: W es el flujo másico (kg/h) para cada una de las corrientes o flujos, A es la alimentación, V es el vapor, C es el condensado en los respectivos efectos 1, 2 y 3, respectivamente, E es el vapor generado o agua eliminada en cada efecto (1, 2 y 3), y P es el producto o concentrado resultante de la tercera unidad.

Figura 3. Esquema de un evaporador de tres efectos, alimentación directa.



Por otro lado, en la ecuación 6: W_v es el consumo ($W_v = W_{C1}$) y $W_{E1} + W_{E2} + W_{E3}$ es la capacidad de evaporación del sistema; y en los efectos 2 y 3: $W_{E1} = W_{C2}$, $W_{E2} = W_{C3}$. Adicionalmente, al considerar al alimento como mezcla binaria constituida por agua (X_A) y sólidos (X_S), se puede realizar un balance de componentes.

$$\begin{aligned} \text{Agua:} \quad & W_A(X_{AA}) = W_{C2}(1.0) + W_{C3}(1.0) + W_{E3}(1.0) + W_P(X_{AP}) \\ \text{Sólidos} \quad & W_A(X_{SA}) = W_P(X_{SP}) \end{aligned} \quad (7)$$

Para el primer efecto en que $W_v = W_{C1}$, un balance de agua y de sólidos, para la solución o licor es:

$$\begin{aligned} W_A(X_{AA}) &= W_{E1}(1.0) + W_{S1}(X_{AS1}) \\ W_A(X_{SA}) &= W_{S1}(X_{SS1}) \end{aligned} \quad (8)$$

Similarmente para la segunda unidad, en que la fase vapor $W_{E1} = W_{C2}$:

$$\begin{aligned} W_{S1} &= W_{E2}(1.0) + W_{S2}(X_{AS2}) \\ W_{S1}(X_{SS1}) &= W_{S2}(X_{SS2}) \end{aligned} \quad (9)$$

Finalmente, para el tercer evaporador (fase vapor $W_{E2} = W_{C3}$):

$$\begin{aligned} W_{S2}(X_{AS2}) &= W_{E3}(1.0) + W_P(X_{AP}) \\ W_{S2}(X_{SS2}) &= W_P(X_{SP}) \end{aligned} \quad (10)$$

Donde: X es la fracción másica de sólidos (adimensional), para sólidos (S) y agua (A); con S₁, S₂ y S₃ o P (P = S₃) identificando a las soluciones concentradas o licores provenientes de cada evaporador y expresado como flujo másico (kg/h).

3.1.2 Elevación del punto de ebullición (EPE)

Se debe considerar que en cada efecto habrá la EPE debido al aumento de sólidos en la solución, como consecuencia del proceso de concentración; donde obviamente el caso más simple es que este DT_{PE} sea insignificante para soluciones ideales. Se han realizado estudios para cuantificar este parámetro y se han propuesto tanto relaciones matemáticas ($EPE = f(X_s)$), como representaciones gráficas o diagramas de Dühring; sin embargo, no existen para la leche, sino solo para algunos jugos de frutas y soluciones de sal y azúcar [Geankoplis, 2006; Ibarz y Barbosa-Canovas, 2003; McCabe *et al.*, 2008; Vélez-Ruiz, 2014]. Este parámetro expresa de manera general, la diferencia entre el punto de ebullición de la solución y del agua.

$$EPE = \Delta T_{PE} = T_{\text{solución}} - T_{\text{agua}} \quad (\text{a la misma presión}) \quad (11)$$

Donde: DT_{PE} es la elevación del punto de ebullición (EPE, °C), $T_{\text{solución}}$ es el punto de ebullición correspondiente a la solución (°C), y T_{agua} es el punto de ebullición del agua (°C) a las mismas condiciones de operación (presión de vacío).

3.1.3 Balances de energía

De la misma manera que el balance de materia, un balance de energía global de aplicarse al equipo de tres unidades, sin perder de vista que, entre menos evaporadores, la solución algebraica será más sencilla. En este balance, se debe considerar el calor sensible de las soluciones, y tanto el agua evaporada como el vapor condensado implican el calor latente de cambio de fase, como un concepto termodinámico importante.

$$W_A \Delta h_A + W_V \Delta h_V = W_{C1} \Delta h_{C1} + W_{C2} \Delta h_{C2} + W_{C3} \Delta h_{C3} + W_{E3} \Delta h_{E3} + W_P \Delta h_P \quad (12a)$$

Donde: W es el flujo (kg/h), and Dh es la entalpía específica (kJ/kg) de cada corriente.

En este balance, además de las temperaturas base (T_1 , T_2 y T_3), la diferencia de energía entre el vapor ($W_V \Delta h_V$) y el condensado del primer efecto ($W_{C1} \Delta h_{C1}$) es la entalpía de condensación ($W_V \Delta h_{LV}$), por el cambio de fase.

Por lo tanto, la ecuación anterior puede modificarse parcialmente:

$$W_A \Delta h_A + W_V \Delta h_{LV} = W_{C2} \Delta h_{C2} + W_{C3} \Delta h_{C3} + W_{E3} \Delta h_{E3} + W_P \Delta h_P \quad (12b)$$

Con estas consideraciones, los correspondientes balances de energía para los tres evaporadores son:

$$W_A \Delta h_A + W_V \Delta h_V = W_{C1} \Delta h_{C1} + W_{E1} \Delta h_{E1} + W_{S1} \Delta h_{S1} \quad (13a)$$

$$W_{S1} \Delta h_{S1} + W_{E1} \Delta h_{E1} = W_{C2} \Delta h_{C2} + W_{E2} \Delta h_{E2} + W_{S2} \Delta h_{S2} \quad (13b)$$

$$W_{S2} \Delta h_{S2} + W_{E2} \Delta h_{E2} = W_{C3} \Delta h_{C3} + W_{E3} \Delta h_{E3} + W_{S3} \Delta h_{S3} \quad (13c)$$

Con la misma consideración del cambio de fase (vapor que se condensa) por un lado, y por otro, la incorporación de calor suministrado, que es precisamente una parte importante de estos equipos, la base de referencia es la temperatura de ebullición en cada evaporador; se obtienen las siguientes ecuaciones correspondientes.

$$\begin{aligned} \text{Primero} \quad W_A \Delta h_A + Q_1 &= W_{E1} \Delta h_{E1} + W_{S1} \Delta h_{S1} \\ W_V \Delta h_V &= W_{C1} \Delta h_{C1} + Q_1 \end{aligned} \quad (14a)$$

$$\begin{aligned} \text{Segundo} \quad W_{S1} \Delta h_{S1} + Q_2 &= W_{E2} \Delta h_{E2} + W_{S2} \Delta h_{S2} \\ W_{E1} \Delta h_{E1} &= W_{C2} \Delta h_{C2} + Q_2 \end{aligned} \quad (14b)$$

$$\begin{aligned} \text{Tercero} \quad W_{S2} \Delta h_{S2} + Q_3 &= W_{E3} \Delta h_{E3} + W_{S3} \Delta h_{S3} \\ W_{E2} \Delta h_{E2} &= W_{C3} \Delta h_{C3} + Q_3 \end{aligned} \quad (14c)$$

Donde: Q es el calor transferido en cada uno de los efectos (Q_1 , Q_2 and Q_3 en kW o kJ/h).

La energía calorífica de cada concentrado ($\Delta H = W Dh$) fue cancelada, en base al comentario anterior, en donde $Dh = CpDT$, en que DT es cero. Para el primer efecto es $T_1 - T_1$, para el segundo es $T_2 - T_2$ y para el tercero, igualmente $T_3 - T_3$, por la temperatura de referencia, consecuentemente $Dh_s = 0$ para cada uno de los efectos.

3.1.4 Evaluación del área de transferencia de calor

El área necesaria de TC se constituye en el parámetro de diseño más importante en esta operación unitaria, que se traduce a determinar el número de tubos o número de placas, según sea el equipo involucrado. Usualmente, tanto U como A están calculadas tomando como referencia el área externa de los tubos, lo cual no aplica para el caso de las placas.

$$Q = UA \Delta T \quad (15)$$

Donde: Q es el flujo de calor (kW), transferido de la corriente condensante de vapor al líquido alimenticio, leche en este caso; U es el coeficiente global o total de intercambio de calor que involucra los fenómenos de conducción, convección, así como las resistencias por ensuciamiento ($W/m^2 \cdot K$), DT es la diferencia de temperatura o fuerza impulsora en cada efecto ($^{\circ}C$), que es evaluada como la diferencia entre la temperatura del vapor y la temperatura de ebullición o referencia en cada efecto ($^{\circ}C$); y A es el área de TC para cada unidad de evaporación (m^2), que se constituye en el principal parámetro de diseño, como se comentó previamente.

Esto es, para el coeficiente global de TC:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_e} + R_{fe} + \frac{\Delta x D_e}{k D_{ML}} + R_{fi} + \frac{D_e}{h_i D_i}} \quad (16)$$

Donde: h_e y h_i , son los coeficientes convectivos de TC, externo e interno, cada fluido ($W/m^2 \cdot K$); R_{fe} y R_{fi} corresponden a las resistencias externa e interna por la formación de costras o ensuciamiento ($m^2 \cdot K/W$); Δx es el espesor del tubo (m); k es la conductividad térmica del metal de que está fabricado el tubo ($W/m \cdot K$); y D_e , D_i , y D_{ML} son los diámetros externo, interno y logarítmico medio de los tubos (m).

Para el caso de placas, los diámetros no se consideran por lo que el A (m^2) puede evaluarse a partir de dos relaciones geométricas.

$$A = n(\pi D_e L) = n(a L_p) \quad (17)$$

Donde: n es el número de tubos o placas; D_e es el diámetro exterior (m); L es la longitud de los tubos (m); mientras que a y L_p constituyen las longitudes efectivas (m), el ancho y largo de las placas (m), respectivamente.

El potencial térmico o fuerza impulsora (DT) en cada evaporador es:

$$\Delta T = T_v - T_n \quad (18)$$

Donde: T_v es la temperatura del vapor ($^{\circ}C$), que debe ajustarse en el caso de múltiple efecto (T_{E1} and T_{E2}); y T_n corresponde al punto de ebullición del alimento líquido en el evaporador correspondiente ($^{\circ}C$, T_1 , T_2 y T_3).

Por lo que, el área necesaria en cada unidad de evaporación viene representada por las siguientes relaciones:

Primero $Q_1 = U_1 A_1 \Delta T_1;$ (19a)

Segundo $Q_2 = U_2 A_2 \Delta T_2$ (19b)

Tercero $Q_3 = U_3 A_3 \Delta T_3$ (19c)

Que incluye los datos propios y las condiciones específicas de operación de cada unidad de evaporación.

3.1.5 Criterio práctico de solución

Para un equipo de triple efecto en que las ecuaciones fundamentales son aplicadas (6 a 10, 12 a 14 y 19), y considera que se conocen *típicamente*, el flujo de alimentación (W_A), el vacío o temperatura de ebullición del tercer efecto (T_3), la concentración final (X_p) y los coeficientes globales de TC en cada evaporador (U_1, U_2, U_3). Se generarán siete o más ecuaciones con siete o más incógnitas [Holland, 1975; McCabe *et al.*, 2008; Vélez-Ruiz, 2009, 2014, 2016].

Comúnmente, las incógnitas o variables a resolver son: i) el consumo / suministrado en el primer efecto, ii-iv) los flujos másicos de solución concentrada que sale de cada evaporador: W_{s1}, W_{s2} y W_p , v, vi) las temperaturas de ebullición necesarias para el primer y segundo efectos (T_1 and T_2), y vii) el área de TC en cada equipo. Con la suposición importante de que $A_1 = A_2 = A_3 = A$, como el detalle de diseño importante.

Para resolver el grupo de ecuaciones asociadas con el equipo de evaporación de tres efectos, se pueden utilizar varios métodos, dos de los más comunes consisten en resolver las ecuaciones no lineales por un procedimiento numérico, tal como el método de Newton-Raphson [Holland, 1975], o bien, por linealización de las ecuaciones y empleo de ciclos de iteración integrada [Ribeiro Jr y Caño Andrade, 2002], entre otros. Y aunque hay otras opciones, por ejemplo, la solución de ecuaciones con los software Polymath® y Matlab®, existe un método práctico, iterativo, que representa un excelente ejercicio para estudiantes en el salón de clase y que está fundamentado precisamente en la suposición de un área de TC idéntica en los tres efectos, lo cual además tiene mucho sentido en la es-

cala industrial. Esto puede resumirse en una secuencia de cuatro pasos [Holland, 1975; McCabe *et al.*, 2008; Vélez-Ruiz, 2009, 2014, 2016]:

- a) Suponer los puntos de ebullición en los efectos 1 y 2, que propiamente es suponer la fuerza impulsora en dichos efectos. Esto se torna más objetivo si se consideran como base de cálculo los coeficientes globales respectivos, para generar una idea inicial de dichas diferencias de temperatura.
- b) Desarrollar los balances de materia y entalpía en los tres efectos, que, con apoyo en las suposiciones anteriores y relaciones mencionadas, reducirán las ecuaciones fundamentales a un grupo tres por tres, tres ecuaciones para resolver tres incógnitas.
- c) Posteriormente resolver las ecuaciones para obtener Q_n , o flujo de calor en cada efecto.
- d) Finalmente, cerrar la iteración con la determinación del área de transferencia de calor en cada evaporador (A_n). Si el área de TC de cada unidad es la misma o dentro de un margen de error aceptable (10% de diferencia, por ejemplo), se puede considerar como una conclusión o culminación del ejercicio; de lo contrario, habrá de realizarse otra iteración.

4 Ejemplos numéricos en dos equipos de evaporación

Con fines ilustrativos y didácticos, se resolverán dos ejercicios o ejemplos, para aplicar los fundamentos y conceptos expuestos hasta el momento, para calcular los parámetros de diseño típicos en este tipo de equipos. Incluso, se manejarán dos sistemas de unidades, lo cual es muy importante y necesario para los ingenieros.

4.1 Un solo efecto, sin EPE

18 000 kg/h de *leche* previamente concentrada alimentan un equipo de evaporación de una unidad para producir un concentrado, el equipo tiene una capacidad de 9000 kg/h. La leche contiene 24% de sólidos y 25°C, deberá ser concentrada hasta 72% empleando vapor saturado a 120°C. Considerar una temperatura de ebullición de 75°C, lo cual implica que se tiene un vacío en el evaporador. Realizar los balances de materia y energía aplicando los conceptos y consideraciones comentadas previamente. La idea es que partir de esta información se evalúe la capacidad, el consumo,

la economía y el área necesaria, manejando el Sistema Internacional de Unidades.

Solución:

i) Balance de Masa

$$\text{Global} \quad 18000 + W_v = W_E + W_P + W_C$$

$$\text{Licor} \quad 18000 = W_E + W_P$$

$$\text{Sólidos} \quad (0.24) \left(18000 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \right) = W_E(0) + W_P(0.72) \therefore W_P = 6000 \left(\frac{\text{kg}}{\text{h}} \right) \text{ (producto)}$$

$$\text{Y del balance de masa en la solución: } W_E = 18000 - 6000 \frac{\text{kg}}{\text{h}} = 12000 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

Por lo tanto, la cantidad de leche concentrada es de 6000 kg/h, y la cantidad de agua a eliminar para alcanzar la concentración deseada es de 12 000 kg/h. El concentrado representa el triple de la concentración inicial.

ii) EPE = 0, caso sencillo.

iii) Balance de Energía.

Sabiendo, por un lado, que la alimentación es de 18 000 kg/h, y por otro, como la capacidad del equipo es de 9 000 kg/h, esto implica que el tiempo de proceso sería de 12 000 kg/h/9 000kg, es decir 1.33 horas.

Para la evaluación de la capacidad, se toma como $T_{\text{base}} = 0^\circ\text{C}$, y los datos termodinámicos de las tablas para agua del Cengel y Boles [2006], así como datos de la leche de un programa computacional, que propiamente es una base de datos [Vélez-Ruiz y Soriano Morales, 2003]. Estos datos son, entalpía del vapor (saturado, a 75°C): 2 634.6 kJ/kg; $C_p = 3.3$ para la alimentación y 1.8 kJ/kg $^\circ\text{C}$ para el concentrado, mientras que el calor de condensación a 120°C es de 2 202.1 kJ/kg.

Licor o solución (leche)

$$\begin{aligned}
 & Q + \left(18000 \frac{\text{kg}}{\text{h}}\right) \left(3.3 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}\right) (25 - 0)^\circ\text{C} \\
 &= \left(12000 \frac{\text{kg}}{\text{h}}\right) \left(2634.6 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}\right) + \left(6000 \frac{\text{kg}}{\text{h}}\right) \left(1.8 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}\right) (75 - 0)^\circ\text{C} \\
 & \quad \mathbf{Q = 30,940,200 \frac{kJ}{h}}
 \end{aligned}$$

Vapor:

$$\begin{aligned}
 & W_V \Delta h_V = W_C \Delta h_C + Q \therefore Q = W_V (\Delta h_V - \Delta h_C) \\
 & W_V = \frac{Q}{\Delta h_V} = \frac{30,940,200 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}}{2202.1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} = \mathbf{14050.32 \frac{\text{kg}}{\text{h}}} \rightarrow \text{que es el consumo.}
 \end{aligned}$$

Por lo tanto, la *economía* resulta de:

$$\frac{\text{Capacity}}{\text{Consumption}} = \frac{12000 \frac{\text{kg}}{\text{h}}}{14050.32 \frac{\text{kg}}{\text{h}}} = \mathbf{0.85}$$

El área de transferencia de calor, requiere el conocimiento de U, el cual se asume de 900 W/m²·K [McCabe *et al.*, 2008; Vélez-Ruiz, 2014, 2016] para un evaporador típico de película descendente, por lo que si la fuerza impulsora de 120-75°C = 45°C = 45K, A se obtiene con:

$$A = \frac{\left(30,940,200 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}\right) \left(\frac{1000\text{J}}{1\text{kJ}}\right)}{\left(900 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}\right) \left(\frac{1\text{J}}{1\text{W}}\right) \left(\frac{3600\text{s}}{1\text{h}}\right) (45\text{K})} = \frac{3.09 \times 10^{10} \text{J/h}}{1.458 \times 10^8 \frac{\text{J}}{\text{h m}^2}} = \mathbf{212.21 \text{m}^2}$$

La temperatura base puede ser otra, 25, 75 o 120 °C, y al ser bien aplicados todos los fundamentos, los resultados que se obtendrían serían los mismos.

Conclusión: a partir de los balances desarrollados, si se disponen 18 000 kg/h de leche a 25°C, y se desea concentrarla desde 24 hasta 72% (de sólidos), la unidad de evaporación necesita evaporar 12 000 kg/h de agua, para producir 6 000 kg/h de concentrado. Esta evaporación implica un suministro de 14 050.32 kg/h de vapor saturado a

120°C y un área de intercambio de calor de 212.21 m², como tubos o placas en la zona de transferencia de calor.

5 Aplicación a un doble efecto

El siguiente ejercicio sirve nuevamente para evaluar los parámetros de diseño del equipo y ahora, requiere el manejo del Sistema Inglés de Unidades. Además, utiliza las temperaturas de ebullición de cada equipo como temperatura base. Con dos variantes, sin EPE y con la consideración de la EPE.

5.1 Doble efecto sin EPE

Un doble efecto con alimentación directa debe ser evaluado. Se van a concentrar 75 000 lb/h de *leche fluida* a 135°F, desde 12 hasta 45% de sólidos. Para realizar esta operación se puede disponer de vapor saturado a 212°F, además por el vacío existente en el segundo efecto la temperatura de ebullición del agua se puede considerar a 141°F. Pueden utilizarse los coeficientes globales tomados de las referencias $U_1 = 450$ y $U_2 = 300$ BTU/h ft²°F [Ibarz y Barbosa-Canovas, 2003; McCabe *et al.*, 2008; Vélez-Ruiz, 2009, 2014, 2016]. Los datos termodinámicos ahora son obtenidos de otra fuente apropiada y el Cp de la leche o solución puede ser estimado con la relación $C_p = 1 - 0.54 (X_s)$ in BTU/lb·°F. [Ibarz y Barbosa-Canovas, 2003; McCabe *et al.*, 2008; Vélez-Ruiz, 2009, 2014, 2016; Vélez-Ruiz y Soriano Morales, 2003]. Por lo que siguiendo el algoritmo se tiene la siguiente solución:

i) Balance de materia en la solución o licor:

$$W_A = W_{E1} + W_{E2} + W_P$$

Con el balance de sólidos $75000 \frac{\text{lb}}{\text{h}} (0.12) = W_P (0.45) \therefore W_P = 20000 \frac{\text{lb}}{\text{h}}$

Y, por lo tanto, la capacidad = $W_{E1} + W_{E2} = 75000 - 20000 = 55000 \frac{\text{lb}}{\text{h}}$

ii) No se considera EPE

iii) Balances de energía

Para proceder a los balances de energía en los dos efectos, se considera que la fuerza impulsora total es $DT_G = 212 - 141^\circ\text{F} = 71^\circ\text{F} = DT_1 + DT_2$. Por lo que, involucrando varios de los conceptos mencionados anteriormente:

$$Q_1 = Q_2 \therefore U_1 A_1 \Delta T_1 = U_2 A_2 \Delta T_2 \rightarrow S_1 \cdot A_1 = A_2$$

$$U_1 \Delta T_1 = U_2 \Delta T_2 \therefore \Delta T_2 = \frac{450 \frac{\text{BTU}}{\text{hft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}}}{300 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}}} \Delta T_1 = 1.50 \Delta T_1;$$

de donde $\rightarrow \Delta T_1 + 1.50 \Delta T_1 = \Delta T_G = 71^\circ\text{F}$; así que $\Delta T_1 = 28.40 \rightarrow \Delta T_2 = 42.60^\circ\text{F}$

Con esta información, el punto de ebullición para el primer efecto es: $DT_1 = 212 - T_1 = 28.4^\circ\text{F}$, entonces $T_1 = 183.6^\circ\text{F}$; y de manera semejante: $T_2 = 141^\circ\text{F} (= 183.6 - 42.6)^\circ\text{F}$, lo que corresponde a una presión absoluta de 2.895 psia (lb_f/in^2 absolutas, P_2), lo que implica la existencia de un vacío “fuerte” ($14.7 - 2.9 = 11.8$ psig).

Con estos datos, los balances de energía se pueden plantear, tomando la T_{base} como la temperatura de ebullición en cada efecto, con un C_p de 0.9352 para 12% y suponiendo 0.85 BTU/lb \cdot °F para la solución intermedia ($\sim 28\%$).

Primer evaporador, $T_{\text{base}} = 183.6^\circ\text{F}$:

$$W_A = W_{E1} + W_{S1}; \text{ sabiendo que } W_V = W_{C1}$$

$$W_A \Delta h_A + Q_1 = W_{E1} \Delta h_{E1} + W_{S1} \Delta h_{S1} \Leftrightarrow Q_1 = W_V (h_V - h_{C1}) = W_V h_{fg}$$

$$Q_1 = W_{E1} \Delta h_{E1} + W_{S1} \Delta h_{S1} - W_A \Delta h_A = W_V (h_V - h_{C1}) = W_V h_{fg}$$

$$Q_1 = 988.0 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}} W_{E1} - \left(75000 \frac{\text{lb}}{\text{h}}\right) \left(0.9352 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}^\circ\text{F}}\right) (135.0 - 183.6)^\circ\text{C} = W_V \left(970.3 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}}\right)$$

$$\therefore 970.3 W_V = 988.0 W_{E1} + 3408804 \rightarrow (1)$$

De manera semejante, para el balance en el segundo evaporador, $T_{\text{base}} = 141^\circ\text{F}$, por lo que $Dh_p = 0$ y h_{fg} es el calor de cambio de fase (para el agua y obtenido de tablas termodinámicas), a una temperatura diferente:

$$\begin{aligned}
 W_{S1} &= W_{E2} + W_P; \text{ y } W_{E1} = W_{C2}; W_{S1}\Delta h_{S1} + Q_2 = W_{E2}\Delta h_{E2} + W_P\Delta h_P \\
 Q_2 &= W_{E2}\Delta h_{E2} - W_{S1}\Delta h_{S1} = W_{E1}(h_{E1} - h_{C2}) = W_{E1}h_{fg} \\
 Q_2 &= 1014.1 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}} W_{E2} - W_{S1} \left(0.8488 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}^\circ\text{F}} \right) (183.6 - 141.0)^\circ\text{F} = W_{E1} \left(988 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}} \right) \\
 \therefore 988W_{E1} &= 1014.1W_{E2} - 36.16W_{S1} \rightarrow (2)
 \end{aligned}$$

Todos los flujos másicos (W_{S1} , W_{S2} , W_P , W_{E1} , W_{E2} , W_{C1} , W_{C2}) están en lb/h, mientras que Q_1 y Q_2 están en BTU/h.

Considerando las ecuaciones 1 y 2, se observa que existen cuatro incógnitas (W_V , W_{E1} , W_{S1} , y W_{E2}), lo cual obviamente, para un triple efecto, habría otra ecuación semejante para el tercer evaporador y existirían más incógnitas. Así, lo anterior puede ser resuelto si en adición a estas dos ecuaciones, se toman en cuenta las siguientes relaciones de masa:

(para la solución en el primer efecto); (para la solución en el segundo efecto); y por otro lado la capacidad:

Retomando las ecuaciones anteriores y procediendo a su solución por simultáneas, 3 en 2 y 4 en 2, y posteriormente en (1):

$$\begin{aligned}
 988W_{E1} &= 1014.1W_{E2} - 36.16(20000 + W_{E2}) \\
 988W_{E1} &= 977.94W_{E2} - 723200 \\
 988W_{E1} &= 977.94(55000 - W_{E1}) - 723200 \\
 1965.94W_{E1} &= 53063500 \therefore W_{E1} = \mathbf{26991.41 \frac{\text{lb}}{\text{h}}} \therefore W_{E2} = \mathbf{28008.59 \frac{\text{lb}}{\text{h}}}
 \end{aligned}$$

Por lo que al sustituir el valor de W_{E1} en las otras relaciones:

$$W_{S1} = 75000 - 26991.41 = 20000 + 28008.59 = \mathbf{48008.59 \frac{\text{lb}}{\text{h}}}$$

Lo que también permite calcular la concentración de sólidos intermedia

$$75000 \frac{\text{lb}}{\text{h}} (0.12) = 48008.59(X_{S1}) \therefore X_{S1} = \mathbf{18.75\%}$$

$$970.3W_V = 988(26991.41) + 3408804 \rightarrow W_V = \mathbf{30996.93 \frac{\text{lb}}{\text{h}}} \text{ (consumo)}$$

La economía que sería el parámetro representativo del doble efecto, resulta de la relación entre la capacidad y el consumo: $55000 \text{ lb/h} / = 1.77$

iv) Área de transferencia de calor

Este otro parámetro de diseño del evaporador se puede evaluar con los datos ya existentes y calculados, de la siguiente forma:

$$A_1 = \frac{\left(970.3 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}}\right) \left(30996.93 \frac{\text{lb}}{\text{h}}\right)}{\left(450 \frac{\text{BTU}}{\text{hft}^2\text{°F}}\right) (212 - 183.6)\text{°F}} = 2353.39\text{ft}^2$$
$$A_2 = \frac{\left(988.0 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}}\right) \left(26991.41 \frac{\text{lb}}{\text{h}}\right)}{\left(300 \frac{\text{BTU}}{\text{hft}^2\text{°F}}\right) (183.6 - 141)\text{°F}} = 2086.66\text{ft}^2$$

Se puede apreciar que son valores semejantes con una diferencia entre ambas mayor a 10%, pero menor al 10% con respecto al valor medio. Se puede proceder a realizar otra iteración para obtener un área idéntica en cada unidad, por medio de un programa computacional desarrollado para ello. Como ejercicio de clase o tarea, el área media de 2220.03 ft^2 , sería el valor que aproximadamente se obtendría en una segunda iteración, para cumplir con el objetivo.

Conclusión: con estos datos, el equipo tendría involucrar con un consumo de lb/h ; con una economía de 1.77; se evaporan en el primer evaporador, mientras que en el segundo son y se requiere un área aproximada de $2220,03 \text{ ft}^2$ ($A_1 = A_2$).

5.2 Doble efecto con EPE

Para involucrar la *EPE* en la solución de este problema, ya se tiene como referencia que la temperatura de ebullición para agua en los evaporadores sería $T_1 = 183.6\text{°F}$ y $T_2 = 141\text{°F}$, lo cual implica que la leche al tener sólidos tendría temperaturas de ebullición mayores. Para ello, se tiene información experimental sobre todo para soluciones de azúcar y sal, relaciones desarrolladas para jugos que correlacionan la *EPE* y los sólidos del alimento [Ibarz y Barbosa-Canovas, 2003; Vélez-Ruiz, 2009, 2014, 2016]. Por motivos de facilidad y

porque para leche concentrada no existe una correlación y mucho menos diagramas de Dühring, tomaremos una $DT_1 = 1.62^\circ F$ ($T_1 = 185.2^\circ F$) y $DT_2 = 4.32^\circ F$ ($T_2 = 145.3^\circ F$), esto implica modificaciones tanto en la T_{base} como en la necesidad de mayor área de TC, debido a que parte de la energía “se consume” en elevar la temperatura. Los ajustes necesarios se realizan enseguida.

Solución:

Los balances de masa no cambian y los de energía se pueden plantear, tomando las T_{base} mencionadas en cada efecto, y para agilizar el cálculo se pueden utilizar el mismo Cp de 0.935 para 12% y 0.89 BTU/lb $^\circ F$ para la solución intermedia (19%). Con modificaciones pequeñas en los calores de evaporación, debido a que el agua evaporada saldría a las temperaturas actuales.

Primer evaporador, $T_{base} = 185.2^\circ F$:

$$\begin{aligned}
 W_A &= W_{E1} + W_{S1}; \text{ sabiendo que } W_V = W_{C1} \\
 W_A \Delta h_A + Q_1 &= W_{E1} \Delta h_{E1} + W_{S1} \Delta h_{S1} \Leftrightarrow Q_1 = W_V (h_V - h_{C1}) = W_V h_{fg} \\
 Q_1 &= W_{E1} \Delta h_{E1} + W_{S1} \Delta h_{S1} - W_A \Delta h_A = W_V (h_V - h_{C1}) = W_V h_{fg} \\
 Q_1 &= 987.0 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}} W_{E1} - \left(75000 \frac{\text{lb}}{\text{h}} \right) \left(0.935 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}^\circ F} \right) (135.0 - 185.2)^\circ C = W_V \left(970.3 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}} \right) \\
 \therefore 970.3 W_V &= 987.0 W_{E1} + 3520275 \rightarrow (1')
 \end{aligned}$$

De manera semejante, para el balance en el segundo evaporador, $T_{base} = 145.3^\circ F$, por lo que $Dh_p = 0$ y h_{fg} es el calor de cambio de fase, a una temperatura diferente:

$$\begin{aligned}
 W_{S1} &= W_{E2} + W_p; \text{ y } W_{E1} = W_{C2}; W_{S1} \Delta h_{S1} + Q_2 = W_{E2} \Delta h_{E2} + W_p \Delta h_p \\
 Q_2 &= 1011.2 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}} W_{E2} - W_{S1} \left(0.89 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}^\circ F} \right) (185.2 - 145.3)^\circ F = W_{E1} \left(987 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}} \right) \\
 \therefore 987 W_{E1} &= 1011.2 W_{E2} - 35.51 W_{S1} \rightarrow (2')
 \end{aligned}$$

Considerando las ecuaciones (1' y 2') se observa igualmente que existen las mismas cuatro incógnitas (W_V , W_{E1} , W_{S1} y W_{E2}), lo que

puede ser resuelto análogamente, adicionando a estas dos ecuaciones las siguientes relaciones de masa: (solución en el primer efecto); (solución en el segundo efecto); y por otro lado la capacidad:

Retomando las ecuaciones anteriores y procediendo a su solución por simultáneas (3' en 2') y (4' en 2' y posteriormente en 1'):

$$987W_{E1} = 1011.2W_{E2} - 35.51(20000 + W_{E2})$$

$$987W_{E1} = 975.69W_{E2} - 710200$$

$$987W_{E1} = 977.28(55000 - W_{E1}) + 710200$$

$$1962.69W_{E1} = 54460600 \therefore W_{E1} = \mathbf{27747.94 \frac{lb}{h}} \therefore W_{E2} = \mathbf{27252.06 \frac{lb}{h}}$$

Por lo que al sustituir el valor de W_{E1} en las otras relaciones:

$$W_{S1} = 75000 - 27747.94 = 20000 + 27252.06 = \mathbf{47252.06 \frac{lb}{h}}$$

$$970.3W_V = 987(27747.94) + 3520275 \rightarrow W_V = \mathbf{31853.54 \frac{lb}{h}} \text{ (consumo)}$$

Mientras que la economía del equipo se vería aumentada: $55000 \text{ lb/h} / 31853.54 \text{ lb/h} = \mathbf{1.73}$, que sería el parámetro representativo del doble efecto, y disminuyó con respecto a la solución sin EPE.

iv) Área de transferencia de calor

Este otro parámetro de diseño del evaporador se puede evaluar con las modificaciones ya existentes y los datos calculados, de la siguiente forma:

$$A_1 = \frac{\left(970.3 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}}\right) \left(31853.54 \frac{\text{lb}}{\text{h}}\right)}{\left(450 \frac{\text{BTU}}{\text{hft}^2\text{°F}}\right) (212 - 185.2)\text{°F}} = \mathbf{2562.81\text{ft}^2}$$

$$A_2 = \frac{\left(987.0 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}}\right) \left(27747.94 \frac{\text{lb}}{\text{h}}\right)}{\left(300 \frac{\text{BTU}}{\text{hft}^2\text{°F}}\right) (185.2 - 145.3)\text{°F}} = \mathbf{2287.99\text{ft}^2}$$

Y se puede apreciar que son valores muy semejantes con una diferencia entre ambas, menor al 10%. Igualmente se puede proceder a realizar otra iteración para obtener el área de TC. Como ejercicio de clase o tarea, el área media de 2425.40 ft², cumple con el objetivo.

Conclusión: con estos datos, el equipo tendría que cumplir con un *consumo mayor*; tendría una *menor economía*; las cantidades evaporadas cambian en ambos *efectos* y se requiere un área mayor. *Estos datos son más reales que aquellos obtenidos al suponer que no existe EPE.*

En estos tres ejercicios, para completar el diseño del equipo de evaporación, hay aspectos que no están considerados, y que obviamente deberán de considerarse o conocerse, tales como la eficiencia de TC en el equipo, la calidad del vapor, las dimensiones de tubos y placas, entre otros detalles. Por otro lado, la evaluación del coeficiente global de TC implica el cálculo tanto de los coeficientes convectivos para el vapor como para la leche, y sobre todo para la leche en cada uno de los evaporadores, en el sentido de que su coeficiente convectivo es menor que para el vapor y por lo tanto será el fluido que controla el proceso; para los cuales se han desarrollado relaciones empíricas para alimentos líquidos como jugos [Ibarz y Barbosa-Canoas, 2003; Macedo y Vélez-Ruiz, 2016; Vélez-Ruiz, 2009, 2014, 2016], pero poco existe para leche.

6 Estudios realizados en leche concentrada/condensada/evaporada

Es curioso, pero un alimento tan demandado y que tiene una enorme producción industrial, no ha sido completamente caracterizado, estudiado y reportado en lo que a propiedades físicas y cambios fisicoquímicos se refiere. Es muy probable que esa información la tengan las compañías manufactureras, por lo que a continuación presento la información pública a la que he podido acceder, o la que he contribuido a generar, muy entusiastamente.

Varios de los estudios realizados antes de 1990, estuvieron centrados en dos aspectos, los cambios fisicoquímicos durante el almacenamiento

[Samel y Muers, 1962a; Schmidt *et al.*, 1971] y las propiedades físicas, principalmente la viscosidad [Bloore y Boag, 1981; Fernández-Martín, 1972; Ibarz Ribas *et al.*, 1987; Newstead *et al.*, 1978; Randhahn, 1973; Rao *et al.*, 1962; Rohm, 1988; Vélez-Ruiz *et al.*, 1988]. Posteriormente, se incorporaron los análisis estructurales [Alvarez de Felipe *et al.*, 1991], la caracterización viscoelástica [Patil y Patel, 1992], el análisis de propiedades termofísicas [Reddy y Datta, 1994] y estudios más detallados, analizando diferentes propiedades y variables de proceso [Cosme *et al.*, 1997; Vélez-Ruiz, 1996; Vélez-Ruiz y Barbosa-Cánovas, 1997a, b; Vélez-Ruiz y Barbosa-Cánovas, 1996, 1997].

6.1 Propiedades fisicoquímicas

Durante el almacenamiento de la leche condensada, el llamado “envejecimiento o *age-thickening*”, también mencionado como gelación, es un fenómeno indeseable, ya que la estabilidad alcanzada durante el proceso se va perdiendo con el consecuente aumento en viscosidad y la sedimentación de sólidos que se favorece por temperaturas de almacenamiento superiores a 10°C, haciendo que la leche azucarada o condensada sea rechazada por parte del consumidor [Vélez-Ruiz y Barbosa-Cánovas, 1997]. Samel y Muers [1962b] adicionaron cationes divalentes (calcio y zinc) con lo que lograron disminuir este fenómeno, lo que atribuyeron a la remoción de aniones del suero de la *leche condensada*, particularmente fosfato y citrato. Board *et al.* [1970] desarrollaron un trabajo de investigación microscópica para visualizar los cambios estructurales de *leche evaporada* entera sin y con adición de NaOH durante las diferentes etapas de elaboración (precalentamiento, homogenización, concentración y esterilización).

Para la elaboración de leche en polvo a partir de leche magra concentrada, Buckingham [1978] recomendó no almacenar la *leche concentrada* por más de 2 horas, para evitar problemas de “envejecimiento” de la misma. Ibarz Ribas *et al.* [1987] estudiaron la evolución del comportamiento reológico de *leche condensada* durante diferentes tiempos de almacenamiento. Alvarez de Felipe *et al.* [1991] realizaron un estudio de *age thickening* o gelación en leche condensada almacenada

por 45 días a 37°C, y establecieron relaciones entre los cambios estructurales observados en un microscopio electrónico y los cambios en la respuesta al flujo, medida con un viscosímetro rotacional; el fenómeno involucró agregación micelar y asociación de caseínas con glóbulos de grasa, lo que se observó microscópicamente.

Por otro lado, la cinética del fenómeno de coagulación inducido por calentamiento de la *leche magra concentrada*, fue estudiado por Nieuwenhuijse *et al.* [1992], combinando factores como el contenido proteico y el pH que influyeron en el tiempo y velocidad de coagulación. Patel *et al.* [1996] completaron la evolución de ciertos parámetros fisicoquímicos como el color y el pH de la *leche condensada* durante su almacenamiento a varias temperaturas (7, 15, 30, 45 y 55°C), obteniendo tanto la E_a (energía de activación) como el Q_{10} (factor de cambio en la cinética debido a un cambio en la temperatura de 10°) para la cinética de oscurecimiento, en donde el valor de la energía de activación fue de 45.2 kJ/mol para 7-30°C y de 139.9 kJ/mol para 7-30°C. Cosme *et al.* [1997] completaron la evaluación de propiedades fisicoquímicas (acidez y composición) y físicas (color, densidad, propiedades de flujo y punto de ebullición) de *leche concentrada*, proponiendo correlaciones empíricas para estas seis características en función de la concentración de sólidos (10.9-48.6%) y la temperatura (5-45°C).

6.2 Propiedades físicas

La leche concentrada es una dispersión de los sólidos de la leche, ya sea descremada o entera, y la lactosa-sucrosa saturan la solución en el caso de la leche azucarada o condensada, lo que contribuye a la complejidad de la dispersión láctea; obviamente las propiedades físicas de la leche concentrada, en cualquiera de sus presentaciones, estarán en función del grado de concentración [Vélez-Ruiz y Barbosa-Cánovas, 1997]. Fernández-Martín [1972] desarrolló una ecuación logarítmica para correlacionar la viscosidad aparente en función de la temperatura (0-80°C) y la concentración (< 30%) de *leche concentrada*, descremada, parcialmente descremada y entera. Buckingham [1978] realizó un estudio comparativo de la viscosidad

cinemática medida en *leche magra concentrada* (< 40% p/V), preparada por reconstitución de leche en polvo y por evaporación de leche líquida, sin encontrar diferencias significativas.

Bloore y Boag [1981] desarrollaron una ecuación logarítmica para expresar la viscosidad en función de la temperatura (18-81°C), concentración de sólidos (44-52%) y de proteína (< 40%) para *leche magra concentrada*, con una variación esperada en la viscosidad, la cual aumentó con el contenido de sólidos y de proteína y disminuyó con la temperatura. Ibarz Ribas *et al.* [1987] modelaron el comportamiento tixotrópico de leche condensada y aplicaron dos modelos para este comportamiento no *newtoniano*. Patil y Patel [1992] desarrollaron un estudio del fenómeno de gelación en *leche condensada*, en el que las proteínas se agregan formando una red estructural débil, monitoreando los cambios físicos por medio de parámetros viscoelásticos por medio de un texturómetro. Tobitani *et al.* [1995] estudiaron la gelación inducida por calor en *leche magra concentrada*, empleando tanto determinaciones reológicas como estructurales y elaborando un diagrama de fases.

Vélez-Ruiz y Barbosa-Canovas [1997a] reportaron el efecto de la concentración (12.7-40.4%) y temperatura (20-80°C) en las propiedades reológicas de *leche concentrada*, aplicando tres modelos de flujo. Determinando que su naturaleza fue *newtoniana* hasta 16.2%, a altas temperaturas (70 y 80°C), hasta 27.7% de sólidos; mientras que el comportamiento no *newtoniano* fue ajustado a la ley de potencia y al modelo de Herschel y Bulkley, según existiese esfuerzo de cedencia o no, el índice de flujo fue expresado por una ecuación exponencial y el coeficiente de consistencia por una expresión potencial. Vélez-Ruiz y Barbosa-Canovas [1998] completaron el análisis del efecto de la concentración (12.6-48.6%) y temperatura (5, 15 y 25°C) en las propiedades reológicas de *leche concentrada*, determinadas durante su almacenamiento por cuatro semanas. Concentrados con naturaleza *newtoniana* hasta 22.3% de sólidos, con respuesta reodelgazante o pseudoplástica entre 24.9 y 42.4% de sólidos, mientras que solo los concentrados con 42.4 y 48.6 de sólidos requirieron de un esfuerzo de cedencia. Para estudiar el efecto de las altas presiones hidrostáticas (276-690 MPa) sobre las propiedades de flujo,

viscoelásticas y texturales, así como los cambios estructurales en *leche concentrada* (12.9-47.1% de sólidos). Vélez-Ruiz *et al.* [1998] completaron una serie de experimentos para cuantificar la viscosidad aparente, los módulos elástico y viscoso, los parámetros texturales y para observar sus cambios microscópicos, obteniendo conclusiones muy interesantes en la transición del fluido *no newtoniano* a gel lácteo. Vélez-Ruiz y Barbosa-Canovas [2000] continuaron estudiando la caracterización de flujo de leche concentrada (12.5-46.7%), relacionada a la observación de características estructurales, donde las proteínas fueron observadas como partículas granulares y los glóbulos de grasa como componentes esféricos rodeados de una membrana cuyo grosor aumentó con la concentración de sólidos.

6.3 Estudios recientes relacionados a la leche concentrada/evaporada/condensada

Los estudios sobre este producto lácteo han continuado, debido a la gran importancia económica que tiene y al interés científico por el conocimiento de sus características propias y cambios naturales o inducidos por el procesamiento. Bienvenue *et al.* [2003] realizaron un estudio para conocer la influencia de los minerales en la viscosidad aparente de la *leche magra concentrada* (45%) durante su almacenamiento, encontrando que los sólidos solubles juegan un rol muy importante. Williams *et al.* [2005] realizaron la determinación de la tensión superficial en *leche concentrada*, debido a su importancia en el proceso de atomización de la leche en polvo. La medición de la tensión superficial en leche concentrada con diferente composición, indicó que tanto la grasa como los sólidos afectaron en menor medida que la temperatura. Hwang *et al.* [2007] realizaron una comparación entre las propiedades fisicoquímicas y sensoriales de leche concentrada por congelación y *leche evaporada* durante su almacenamiento, se cuantificó una menor oxidación y un menor sabor a cocido, así como un mejor color en la leche concentrada por congelación, que resultó con mejor evaluación sensorial.

González Cruz *et al.* [2008] desarrollaron una leche condensada, empleando edulcorantes (acetilsulfame, fructosa, sucralosa y xilitol) para sustituir el azúcar de la *leche condensada*, en combinación con dos hidrocoloides (carragenina y xantana); en este estudio, las característi-

cas fisicoquímicas como densidad, humedad, pH y sólidos solubles no cambiaron significativamente, mientras que las propiedades de flujo y texturales sí cambiaron notablemente. La evaluación sensorial estableció diferencias claras entre la leche condensada y la edulcorada, pero no hubo un rechazo total. En la norma mexicana (NOM 243), la incorporación de edulcorantes naturales está contemplada en la especificación de la leche condensada azucarada (definición 3.28) [DGN, 2010].

Continuando con el desarrollo de González Cruz [2008], Marcelin [2012] desarrolló un diseño experimental (siguiendo un modelo de Box Behnken) para obtener leche condensada (50, 55, 60 y 65%) por medio de la mezcla de edulcorantes (isomalt, stevia y sucralosa) a niveles de 4.25, 5.25 y 6.25% y de gomas (carragenina, guar y xantana) a niveles de 0.25, 0.50% y 0.75%, preparando soluciones con leche reconstituida, edulcorantes y gomas, y mezclándolas hasta alcanzar la viscosidad de un producto comercial, fundamentada en el modelo de la suma de efectos viscosos. Las determinaciones de acidez, actividad de agua, adhesividad, deformación, color, densidad, humedad, pH, propiedades de flujo y sólidos solubles, además de realizar una evaluación sensorial. Los sistemas que presentaron una viscosidad similar al producto comercial fueron aquellos desarrollados con leche descremada y semidescremada a una concentración de sólidos de 50% y 55% y diferentes concentraciones de gomas. Algunos sistemas fueron seleccionados para análisis de estabilidad, y durante los 25 días de almacenamiento (a 4°C), la mayoría de las propiedades evaluadas cambiaron, en especial la viscosidad y la textura de los productos, las cuales aumentaron drásticamente por el efecto del almacenamiento [Marcelín y Vélez-Ruiz, 2013]. La sustitución de azúcar en el caso de la leche condensada, está motivada en buena medida por cuestiones nutricionales, disminuyendo el contenido calórico de este producto lácteo [Kleiner, 2016]. Y también por problemas de caries dental en los seres humanos.

En cuanto a aspectos de aplicación de este producto en otras operaciones y/o procesos industriales. Magariños *et al.* [2009] analizaron cambios en las propiedades (color, grasa, índice de sedimentación, proteína, pH) al elaborar leche UAT (ultra alta temperatura) a par-

tir de *leche magra concentrada* preparada por reconstitución. Keng [2011] realizó un estudio para determinar el efecto de las propiedades reológicas de leche concentrada en el flujo de evaporadores de película descendente, con propósitos de diseño ingenieril del equipo. Morison *et al.* [2013] realizaron un trabajo sobre la viscosidad de *leche concentrada*, corroboraron el comportamiento *newtoniano* para concentraciones menores a 20% y su pseudoplásticidad a concentraciones mayores, adicionalmente analizaron y cuantificaron la influencia de cada componente, lactosa, grasa, caseína y proteínas de suero en la viscosidad del concentrado. Enríquez-Fernández *et al.* [2013] completaron un estudio para analizar la influencia de las propiedades de flujo de *leche concentrada* (por reconstitución y evaporación) en las propiedades de la leche en polvo, obteniendo correlaciones experimentales entre el contenido de sólidos de la leche en polvo y el coeficiente convectivo del proceso de secado en función del coeficiente de consistencia de la leche concentrada.

7 Comentario final

Aunque se han estudiado muchos aspectos, propiedades, cambios, efectos de proceso de este producto lácteo, ya sea en su presentación general como leche concentrada o en sus formas particulares de leche evaporada y leche condensada y leche azucarada, y desde el punto de vista ingenieril, se han mejorado los diseños y operación de los evaporadores, como los equipos industriales donde se produce, como proceso central de la transformación de este tipo de leche fluida, aún existen muchos aspectos y efectos de variables de proceso que deben conocerse y analizarse, experimentarse y estudiarse, *por lo que aún hay mucho trabajo por hacer para los nuevos especialistas/investigadores en la Ciencia de los Alimentos.*

Referencias bibliográficas

- ALAIS, C. *Ciencia de la leche*. D.F., México: Edit. CECSA, 1985. 591 p.
- ALVAREZ DE FELIPE, A., MELCÓN, B. Y ZAPICO, J. Structural changes in sweetened condensed milk during storage: an electron microscopy study. *Journal of Dairy Research*, 1991, vol. 58, no. 3, p. 337-344. 10.1017/S0022029900029915
- BIENVENUE, A., JIMÉNEZ-FLORES, R. Y SINGH, H. Rheological Properties of Concentrated Skim Milk: Importance of Soluble Minerals in the Changes in Viscosity During Storage. *Journal of Dairy Science*, 2003/12/01/ 2003, vol. 86, no. 12, p. 3813-3821. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73988-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73988-5)
- BLOORE, C. Y BOAG, I. Some factors affecting the viscosity of concentrated skim milk. *New Zealand Journal of Dairy Science and Technology*, 1981, vol. 16, p. 143-154.
- BOARD, P., BAIN, J.M., GOVE, D. Y MULLETT, J. Structural changes in whole milk during the production of sterile concentrates: An electron microscope study. *Journal of Dairy Research*, 1970, vol. 37, no. 3, p. 513-522.
- BUCKINGHAM, J. Kinematic viscosities of New Zealand skim-milk. *Journal of Dairy Research*, 1978, vol. 45, no. 1, p. 25-35.
- CENGEL, Y.A. Y BOLES, M.A. *Thermodynamics: an engineering approach*. Singapur: Mc Graw-Hill, 2006. 8862 p.
- COSME, A., GUERRERO, J. Y VÉLEZ-RUIZ, J.F. Evaluacion de propiedades fisicoquímicas de leche concentrada. *Información Tecnológica*, 1997, vol. 8, no. 1, p. 35-40.

CHANDAN, R.C. History and consumption trends. En: CHANDAN, *et al. Manufacturing yogurt and fermented milks*. Oxford, Inglaterra.: Blackwell Publishing Ltd., 2006a, p. 3-16.

CHANDAN, R.C. Milk composition, physical and processing characteristics. En: CHANDAN, *et al. Manufacturing yogurt and fermented milks*. Oxford, Inglaterra.: Blackwell Publishing Ltd., 2006b, p. 17-40.

DGN. Productos y Servicios. Leche, formula lactea, producto lácteo combinado y derivados lácteos. Disposiciones y Especificaciones Sanitarias. En: *Métodos de Prueba*. México: Dirección General de Normalización, 2010, vol. Norma Oficial Mexicana NOM-243-SSA1-2010.

ENRÍQUEZ-FERNÁNDEZ, B., CAMARILLO-ROJAS, C. Y VÉLEZ-RUIZ, J.F. Influence of reconstituted milk properties on spray dried milk and parameters design. *Journal of Food Process Engineering*, 2013, vol. 36, no. 1, p. 87-94.

FERNÁNDEZ-MARTÍN, F. Influence of temperature and composition on some physical properties of milk and milk concentrates. II. Viscosity. *Journal of Dairy Research*, 1972, vol. 39, no. 1, p. 75-82. 10.1017/S0022029900013868

GEANKOPLIS, C. *Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias*. D.F., México: Edit. CECSA, 2006. 1024 p.

GONZÁLEZ CRUZ, A. Efecto de la sustitución de sacarosa en las propiedades de leche condensada azucarada. Tesis de Licenciatura en Ingeniería de Alimentos. Puebla, México.: Universidad de las Américas Puebla, 2008.

GONZÁLEZ CRUZ, A., ME, S.M. Y VÉLEZ-RUIZ, J.F. Efecto de la sustitución de sacarosa por otros edulcorantes en las propiedades de leche condensada-azucarada. En: *CICTA II. Conferencia Internacional sobre Ciencia y Tecnología de los Alimentos*, La Habana, Cuba, 13-17 de Octubre, 2008.

- HARPER, W.J. Y HALL, C.W. *Dairy technology and engineering*. Westport, CT, EU: AVI Publishing Co., Inc., 1976.
- HOLLAND, C.D. Evaporation. En: HOLLAND. *Fundamentals and modeling of separation processes: absorption, distillation, evaporation and extraction*. Englewood Cliffs, NJ. EU: Ed Prentice-Hall, 1975, p. 5-42.
- HWANG, J., LEE, S., PARK, H., MIN, S., KWAK, H., THANARAJ, T., DHARMASENA, N. Y SAMARAJEEWA, U. Comparison of physicochemical and sensory properties of freeze-concentrated milk with evaporated milk during storage. *Asian-Australian Journal of Animal Science*, 2007, vol. 20, no. 2, p. 273-282.
- IBARZ, A. Y BARBOSA-CANOVAS, G. Evaporation. En: IBARZ Y BARBOSA-CANOVAS. *Unit Operations in Food Engineering*. Boca Raton, FL, EU: CRC Press, 2003, p. 625-670.
- IBARZ RIBAS, A., GARCÍA, J. Y PAY LORENS, J. Análisis tixotrópico de leches condensadas. *Alimentaria: Revista de tecnología e higiene de los alimentos*, 1987, vol. Oct., no. 186, p. 35-38.
- KENG, L. Investigation of rheological properties of concentrated milk and the effect of these properties on flow within falling film evaporators. Tesis de Maestría en Ingeniería Química. Nueva Zelanda.: Universidad de Canterbury, 2011.
- KERN, D. *Process of Heat Transfer*. Tokyo, Japón: McGraw Hill, 1983.
- KESSLER, H. *Food Engineering and Dairy Technology*. Freising, Alemania: Verlag A. Kessler, 2002. 694 p.
- KLEINER, L. Sugar Reduction in Confectionery and Related Applications. *Journal of Nutritional Health & Food Engineering*, 2016, vol. 4, no. 2, p. 125-126.

KOSIKOWSKI, F. Y MISTRY, V.V. *Cheese and fermented milk foods*. NY, USA: FV Kosikowski LLC, 1997.

MACEDO , C. Y VÉLEZ-RUIZ, J.F. Evaluación del coeficiente convectivo para un evaporador de doble efecto a nivel planta piloto. En: *COPANIA (Congreso Panameño de Ingeniería de Alimentos)*, Panamá, Panamá, 18-22 de Abril de 2016, 2016.

MAGARIÑOS, H., VARGAS, M., ROMERO, A., CARRASCO, E. Y SELAIVE, S. Use of reconstituted concentrated nonfat milk for the production of UHT milk: physical and chemical effects and stability. *International Journal of Dairy Technology*, 2009, vol. 62, no. 2, p. 182-188.

MARCELIN, M. Diseño y desarrollo de una leche condensada edulcorada baja en calorías, con base en la determinación de la viscosidad usando edulcorantes no energéticos y gomas. Tesis de Maestría en Ciencia de Alimentos. Puebla, México: Universidad de las Américas Puebla, 2012.

MARCELÍN, M. Y VÉLEZ-RUIZ, J.F. Development of a sweetened condensed milk with addition of low caloric sweeteners and gums: flow properties analyses. En: *IFT Annual Meeting 2013*, Chicago Illinois, EU, Julio 13-16, 2013.

MCCABE, W., SMITH, J. Y HARRIOT, P. Evaporation. En: *Unit Operations of Chemical Engineering*. Tokyo, Japón: McGraw Hill, 2008.

MILLER, G.D., JARVIS, J.K. Y MCBEAN, L.D. *Handbook of dairy foods and nutrition*. Boca Raton, Fl., EU: National Dairy Council Rosemont, Illinois. CRC Press, 2006.

MORISON, K.R., PHELAN, J.P. Y BLOORE, C.G. Viscosity and non-Newtonian behaviour of concentrated milk and cream. *International Journal of Food Properties*, 2013, vol. 16, no. 4, p. 882-894.

- NEWSTEAD, D., BALDWIN, A. Y HUGHES, I. Factors affecting the viscosity of recombined sweetened condensed milk. *New Zealand Journal Dairy Science and Technology*, 1978, vol. 13, p. 63-70.
- NIEUWENHUIJSE, J., VAN VLIET, T. Y WALSTRA, P. Kinetic aspects of the heat-induced coagulation of concentrated skim milk. *Netherlands Milk and Dairy Journal*, 1992, vol. 46, p. 45-68.
- PATEL, A., GANDHI, H., SINGH, S. Y PATIL, G. Shelf-life modeling of sweetened condensed milk based on kinetics of Maillard browning. *Journal of Food Processing and Preservation*, 1996, vol. 20, no. 6, p. 431-451.
- PATIL, G. Y PATEL, A. Viscoelastic properties of sweetened condensed milk as influenced by storage. *Milchwissenschaft*, 1992, vol. 47, no. 1, p. 12-14.
- RANDHAHN, H. Flow properties of milk and milk concentrates. *Milchwissenschaft*, 1973, vol. 28, no. 10, p. 620-628.
- RAO, G., NICKERSON, T. Y DUNKLEY, W. Rheology of concentrated milk. *Journal of Dairy Science*, 1962, vol. 47, p. 460.
- REDDY, C.S. Y DATTA, A. Thermophysical properties of concentrated reconstituted milk during processing. *Journal of Food Engineering*, 1994, vol. 21, no. 1, p. 31-40.
- RIBEIRO JR, C. Y CAÑO ANDRADE, M. A heat transfer model for the steady-state simulation of climbing-falling-film plate evaporators. *Journal of Food engineering*, 2002, vol. 54, no. 4, p. 309-320.
- ROHM, H. Viscosity of recombined sweetened condensed milk. *Milchwissenschaft*, 1988, vol. 43, no. 5, p. 303-306.

- SAMEL, R. Y MUERS, M. The age-thickening of sweetened condensed milk: I. Rheological properties. *Journal of Dairy Research*, 1962a, vol. 29, no. 3, p. 249-258.
- SAMEL, R. Y MUERS, M. The age-thickening of sweetened condensed milk: I. Rheological properties. *Journal of Dairy Research*, 1962b, vol. 29, no. 3, p. 269-278.
- SCHMIDT, D., BUCHHEIM, W. Y KOOPS, J. Electron-microscopical study of the fat-protein complexes in evaporated milk, using the freeze-etching technique. *Netherlands Dairy Journal*, 1971, vol. 25, p. 200-216.
- SMIT, G. *Dairy Processing: Improving Quality*. Boca Raton, FL., EU: Publishing Limited and CRC Press, 2003. 536 p.
- TOBITANI, A., YAMAMOTO, H., SHIOYA, T. Y ROSS-MURPHY, S.B. Rheological and structural studies on heat-induced gelation of concentrated skim milk. *Journal of Dairy Research*, 1995, vol. 62, no. 2, p. 257-267.
- VÉLEZ-RUIZ, J.F. Rheological Properties of Concentrated Milk. Tesis de Doctoral en Ingeniería de Alimentos. WA., Estados Unidos.: Washington State University, 1996.
- VÉLEZ-RUIZ, J.F. Evaporation of Liquid Foods. En: SOSA MORALES Y VÉLEZ-RUIZ. *Food Processing and Engineering Topics*. NY., EU: Editorial Nova Science Publishers, Inc., 2009, p. 181 - 216.
- VÉLEZ-RUIZ, J.F. Food Products Evaporation. En: VARZAKAS Y TZIA. *Food Engineering Handbook*. Boca Raton, FL., EU: CRC Press, 2014, p. 369-426.
- VÉLEZ-RUIZ, J.F. *Apuntes de Ingeniería de Alimentos II (Procesos de Transferencia de Energía Térmica)*. Cholula, Puebla, México: Universidad de las Américas Puebla, Inéditos, 2016.

- VÉLEZ-RUIZ, J.F. *Apuntes de Tecnología de Alimentos de Origen Animal (Lácteos)*. Cholula, Puebla, México: Universidad de las Américas Puebla, Inéditos, 2017.
- VÉLEZ-RUIZ, J.F. Y BARBOSA-CANOVAS, G. Effect of concentration and temperature on the rheology of concentrated milk. *Transactions of the ASAE*, 1997a, vol. 40, no. 4, p. 1113 - 1118.
- VÉLEZ-RUIZ, J.F. Y BARBOSA-CANOVAS, G. Flow and structural characteristics of concentrated milk. En: *IFT Annual Meeting*, 1997b. p. 315-333.
- VÉLEZ-RUIZ, J.F. Y BARBOSA-CANOVAS, G. Rheological properties of concentrated milk as a function of concentration, temperature and storage time. *Journal of Food Engineering*, 1998, vol. 35, p. 177-190.
- VÉLEZ-RUIZ, J.F. Y BARBOSA-CANOVAS, G. Flow and structural characteristics of concentrated milk. *Journal of Texture Studies*, 2000, vol. 31, no. 3, p. 315-333.
- VÉLEZ-RUIZ, J.F. Y BARBOSA-CÁNOVAS, G. Rheology of Concentrated Milk: Effect of Solids Content, Temperature and Storage Time (Poster D28). En: *Annual Meeting of the American Dairy Science Association*, Corvallis, Oregon, EUA, Julio Oregon State University, 1996.
- VÉLEZ-RUIZ, J.F. Y BARBOSA-CÁNOVAS, G. Rheological properties of selected dairy products. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1997, vol. 37, no. 4, p. 311 - 359.
- VÉLEZ-RUIZ, J.F., GONZÁLEZ, J. Y ROJAS, J. Evolución de las propiedades reológicas de la leche durante el proceso de evaporación. En: *XIX Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos* San Luis Potosí, México, 1988.

- VÉLEZ-RUIZ, J.F. Y SORIANO MORALES, A. Evaluación de propiedades físicas de alimentos utilizando un programa de computadora. *Revista Internacional Información Tecnológica*, 2003, vol. 14, no. 4, p. 23-28.
- VÉLEZ-RUIZ, J.F., SWANSON, B. Y BARBOSA-CÁNOVAS, G. Flow and viscoelastic properties of concentrated milk treated by high hydrostatic pressure. *LWT-Food Science and Technology*, 1998, vol. 31, no. 2, p. 182-195.
- WALSTRA, P., WOUTERS, J.T. Y GEURTS, T.J. *Dairy science and technology*. Boca Raton, FL. USA: CRC press, 2006. 768 p.
- WEBB, B. Y JOHNSON, A. *Fundamentals of Dairy Science*. Co., EU: AVI Publishing, 1987.
- WILLIAMS, A.M., JONES, J., PATERSON, A. Y PEARCE, D. Milks and milk concentrates: surface tension measurement. *International Journal of Food Engineering*, 2005, vol. 1, no. 1, p. 1-6.

Capítulo 2

AREQUIPE O DULCE DE LECHE

Carlos Fernando Novoa Castro
<https://orcid.org/0000-0003-1688-4624>

1 Definición y características generales del dulce de leche o arequipe

En Colombia el dulce de leche se conoce con el nombre de arequipe y se define como el producto higienizado obtenido por la concentración térmica de una mezcla de leche y azúcares. Debe estar exento de sustancias tales como grasa vegetal o animal diferente a la láctea. Debe tener un contenido mínimo de 7% de grasa y 17% de sólidos lácteos no grasos (SLNG) y un contenido máximo de 30% de humedad y 2% de cenizas. No debe contener almidones a diferencia del manjar blanco, al cual se le permite un contenido de hasta 4% de almidón en producto final [ICONTEC, 2008; MinSalud, 1986].

Figura 1. *Arequipe.*



Tomado de: <https://goo.gl/cYdCW8>

Según el reglamento técnico de Mercosur, de identidad y calidad del dulce de leche, se entiende por dulce de leche el producto, con o sin adición de otras sustancias alimenticias, obtenido por concentración y acción del calor a presión normal o reducida de la leche o leche reconstituida, con o sin adición de sólidos de origen lácteo y/o crema, y adicionado de sacarosa (parcialmente sustituida o no por monosacáridos y/u otros disacáridos). Las características sensoriales que debe tener el dulce de leche según el mismo reglamento son: consistencia cremosa o pastosa, sin cristales perceptibles sensorialmente, la consistencia podrá ser más firme en el caso del dulce de leche para confitería y/o heladería. Puede presentar consistencia semisólida o sólida y parcialmente cristalizada cuando la humedad no supere el 20% m/m. Su color es castaño acaramelado, proveniente de la reacción de Maillard. El color del dulce de leche para heladería puede corresponder al colorante adicionado; el sabor y olor es dulce característico, sin sabores ni olores extraños. Los requisitos fisicoquímicos exigidos para el dulce de leche por Mercosur son los siguientes: humedad máx. 30%, materia grasa 6,0 a 9,0%, cenizas máx. 2,0% y proteínas mín. 5,0% [Mercosur, 1996].

El dulce de leche es conocido como un dulce tradicional en varios países de América Latina y en el mundo; en Chile se le denomina manjar, manjar de leche o manjar blanco; en Colombia y Venezuela, arequipe; en Argentina, dulce de leche, en Estados Unidos, *milk caramel*, en Francia *confiture de lait*, en Brasil, *doce de leite* y en México y Centroamérica, cajeta (derivado de la caja de madera que se utilizaba para empacarlo [Mojica *et al.*, 2007]).

El dulce de leche o arequipe se utiliza como postre o como un ingrediente alimenticio en pastelería, heladería o acompañando otros alimentos como quesos, natillas, obleas, frutas, etc. La diversidad de ingredientes y procesos de producción permiten obtener varios tipos de dulces de leche [Cortés Yáñez *et al.*, 2018; Molognoni *et al.*, 2016].

La producción industrial del dulce de leche se inició en Argentina, en 1902 utilizando recipientes artesanales del periodo colonial español, en la estancia la Caledonia, Cañuelas, provincia de Buenos Aires, donde se organiza anualmente la feria del dulce de leche [Zalazar y Perotti, 2011].

Su origen es motivo de disputa entre varios países; la leyenda argentina cuenta que, en 1829, en la estancia La Caledonia (en Cañuelas), una criada de Juan Manuel de Rosas preparaba la lechada, un postre de leche hervida con azúcar, pero hirvió más de lo necesario y así quedó en la olla un dulce espeso y marrón [Valleboni, 2017].

En Argentina, se producen unas 130 000 toneladas de dulce de leche por año. En 2012 superó las 143 000 toneladas. De acuerdo con datos de la subsecretaría de lechería del Ministerio de Agroindustria, hay unas 70 empresas en Argentina que se dedican a la elaboración de dulce de leche entre pequeños y grandes productores. Del total producido a nivel local, 125 898 se destinan a consumo interno y 4 000 toneladas se exportan. Sin embargo, solo 35 000 toneladas del consumo en el país corresponden a hogares. El resto –casi el 60% del total– se vende a granel como ingrediente de otras industrias. En Argentina, el consumo de dulce de leche ocupa el cuarto lugar en la compra de lácteos (después de leche, queso y yogur). En 2015, Argentina exportó 3 590 toneladas de dulce de leche por un valor de US\$ 8.6 millones [Valleboni, 2017].

En Colombia anualmente, el mercado de arequipe asciende a 40 000 millones de pesos, mientras que el de la leche condensada es del orden de los 55 000 millones [Revista Portafolio, 2010]. Alpina sigue conservando cerca del 80 por ciento del mercado, seguida por Proleche. Alpina entró en el negocio en 1980 con la primera fórmula industrial de distribución nacional. Su experimento, el arequipe con brevas, fue suspendido porque la empresa concluyó que lo que la gente quería era brevas con dulce y no lo contrario. El mercado del arequipe sigue creciendo en Colombia, pero el desplazamiento del arequipe casero al industrial es cada vez mayor y seguirá creciendo rápidamente. Actualmente el mercado del arequipe produce 150 toneladas mensuales, una cifra alta pero aún inferior que la de Argentina o México, donde el consumo del dulce de leche o cajeta es de frecuencia diaria y por ser menos viscoso, se consume como complemento de galletas de sal y panes para untar [El Tiempo, 1995].

Tecnológicamente el dulce de leche cae en la categoría de productos lácteos conservados por evaporación y adición de azúcar, lo que

causa una disminución de la actividad de agua (a_w), lo que permite conservarlo a temperatura ambiente por periodos cercanos a los seis meses. Usualmente tiene consistencia homogénea, cremosa o pastosa, una textura untuosa, color caramelo brillante u opaco y un sabor dulce entre lácteo y acaramelado característico [da Silva *et al.*, 2015].

Algunos arequipes deben tener una apariencia brillante, otros son opacos y color marrón claro u oscuro. En la mayoría de arequipes la textura debe ser lisa sin presentar grumos ni cristales evidentes y en ningún caso puede presentar mohos ni sinéresis. Su consistencia debe ser suave, no debe ser muy fluida ni muy pastosa, pero ésta dependerá del uso que se le dé al arequipe, encontrando desde tipo salsa de arequipe que es bastante fluida hasta arequipes para aplicaciones de panadería que deben ser muy consistentes [Novoa y Osorio, 2009].

Durante la concentración y calentamiento de la leche se presentan cambios químicos y físicos que van a causar oscurecimiento y formación de un gel, que definen en gran parte las características sensoriales del arequipe. El oscurecimiento se genera por las reacciones de Maillard y por caramelización de los azúcares, mientras que la formación del gel, se presenta por la desnaturalización de las proteínas séricas y por la interacción de las proteínas en general con los azúcares [Novoa y Osorio, 2009].

2 Reacciones de Maillard

También conocidas como reacciones de pardeamiento no enzimático; se inician cuando los grupos carbonilo de los azúcares reductores condensan grupos amino de los aminoácidos, principalmente lisina. Estas reacciones generan una serie de productos complejos usualmente conocidos como productos de Maillard. Las reacciones de Maillard ocurren en muchos tipos de alimentos durante los tratamientos térmicos y el almacenamiento en condiciones adversas generando diferentes productos dependiendo de la etapa de la reacción.

Comúnmente se consideran tres etapas: temprana, intermedia y final. En la etapa temprana, después de la formación de glicosilaminas se presen-

ta un re-arreglo que lleva a la formación de los compuestos de Amadori. La etapa intermedia involucra cambios que llevan a la formación de diferentes productos como resultado de reacciones como deshidratación de azúcares y fragmentación y degradación de aminoácidos. En la etapa final, el pardeamiento resulta evidente debido a la formación de polímeros color pardo llamados melanoidinas [Rozycki *et al.*, 2010].

Varios factores tienen efectos en el desarrollo de las reacciones de Maillard y por tanto en la formación de sus productos. Entre estos factores se pueden mencionar el pH, la a_w , temperatura y tiempo de calentamiento, propiedades físicas del sistema y la estructura química y concentración de los reactantes. Estos cambios de color producidos por pardeamiento no enzimático son deseables en muchos alimentos procesados como chocolate, café, tostadas, cerveza y por supuesto el arequipe [Rozycki *et al.*, 2010].

Con referencia a la formación de productos de Maillard y particularmente aquellos con actividad antioxidante, existe una fuerte relación con los tiempos del tratamiento térmico. En los sistemas donde la reacción es más lenta, el tiempo más largo contribuye a la formación de más productos. Por lo tanto, una mayor velocidad de reacción no necesariamente significa un color más intenso [Cortés Yáñez *et al.*, 2018]. En los casos de concentración a presión atmosférica, la temperatura de concentración será función de la altura sobre el nivel del mar y de la concentración de sólidos solubles de la mezcla de leche, azúcar y aditivos [Rozycki *et al.*, 2010].

Las reacciones de Maillard, además del oscurecimiento del color, generan una disminución en el valor nutritivo de las proteínas, formación de compuestos reductores, descenso del potencial de oxido-reducción, lo que protege las grasas contra la oxidación. Las pentosas son los azúcares que más fácilmente forman reacciones de Maillard, le siguen las hexosas (galactosa y glucosa), mientras que los disacáridos reaccionan en menor grado, por tanto la leche deslactosada presentará mayor intensidad de pardeamiento que la no deslactosada.

3 Gelificación

Debido al calentamiento de la leche, durante la elaboración del arequipe, además de las reacciones de Maillard, también se presenta gelificación, por interacción de las proteínas con los azúcares, contribuyendo a dar consistencia al arequipe. La temperatura es la variable que más influye en la gelificación de la leche en presencia de sacarosa. A temperaturas cercanas al punto de ebullición a presión atmosférica, tanto los procesos de gelificación como de pardeamiento son lentos e incluso, por debajo de cierta proporción de sólidos lácteos no hay un buen sistema de gelificación. También, la presencia de sacarosa incrementa la rata de gelificación y su dependencia de la temperatura. El pH tiene un notorio efecto en la firmeza y densidad estructural de los geles lácteos. El sistema de gelificación se presenta más pronto que el desarrollo de un color pardo notable [Rozycki *et al.*, 2010].

El calentamiento por encima de 85°C, provoca desnaturalización de las proteínas séricas, principalmente β -lactoglobulina, con aparición de grupos SH⁻ activos y de compuestos sulfurados libres y desnaturalización e inactivación de aglutininas; esto se traduce en sabor a cocido, incremento de la capacidad reductora y formación de un gel, también se presenta destrucción de vitaminas, principalmente la B₁ y C.

4 Tipos de arequipe

El arequipe se produce de varios tipos según la utilización a que se destine:

Arequipe tradicional: es un producto pastoso, color pardo-caramelo, utilizado como postre o como golosina o como relleno de otros postres.

Salsa de arequipe: Se trata de un arequipe bastante fluido, con menor grado de concentración que el tradicional, usualmente no pasa los 60 grados Brix (°Bx).

Arequipe light: puede fabricarse arequipe bajo en calorías, reduciendo la grasa o reemplazando total o parcialmente la sacarosa y la glucosa por edulcorantes no calóricos. En este caso es necesario tener en cuen-

ta la termoestabilidad del edulcorante para determinar el momento de adición, si deja o no sabor residual y habrá que agregar una sustancia que aporte sólidos totales como la polidextrosa o las maltodextrinas.

El arequipe para pastelería y panadería puede variar mucho en requerimientos funcionales dependiendo de la aplicación, algunos rellenos exigen que permanezca unido a las caras del pastel, otros que den excelente brillo y textura suave durante mucho tiempo, o que se dejen inyectar con una boquilla, o que sea extra duro para rellenos sin que sufran sinéresis, o que se dejen esparcir fácilmente, o también se requieren tipo salsa [Santillana, 2018]. Los arequipes para pastelería y panadería se pueden dividir en tres clases: de decoración (tipo milhojas), de relleno sin someter a calor (por ejemplo, para gansito o tortas), de relleno que son sometidos a cocción (tipo churro o roscón de arequipe).

El arequipe para pastelería debe tener como máximo 60°Bx y estar libre de almidones. El de panadería debe tener más consistencia y generalmente lleva almidón y tiene más de 70°Bx; en caso de llevar almidón, en Colombia, se debe llamar manjar blanco y no arequipe).

La vida útil del arequipe conservado en empaque hermético y a temperatura ambiente varía entre 2 y 6 meses.

La composición del arequipe es bastante variable dependiendo de la formulación. Su composición se presenta dentro de los siguientes rangos: grasa: 7 a 12%; proteína: 6 a 10%; carbohidratos: 60 a 65%; cenizas: 1.4 a 2.0%; humedad: 16 a 30%; sólidos lácteos no grasos: 17 a 28% [Novoa y Osorio, 2009].

5 Materias primas y aditivos

En Colombia se permiten los siguientes ingredientes: leche, leche condensada, leche en polvo, suero en polvo, crema de leche, azúcares, frutas o concentrados de frutas, jaleas de frutas, derivados del cacao y proteínas de leche [MinSalud, 1986].

En la reglamentación de Mercosur, los ingredientes obligatorios son: leche y/o leche reconstituida, sacarosa en un máximo de 30 kg/100 litros de leche. Los ingredientes opcionales son crema de leche, sólidos de origen lácteo, mono y disacáridos que sustituyan a la sacarosa en un máximo de 40% m/m, almidón o almidones modificados en una proporción no superior a 0.5g/100 ml de leche, cacao, chocolate, coco, almendras, maní, frutas secas, cereales y/u otros productos alimenticios solos o en mezclas en una proporción entre el 5 y el 30% m/ m del producto final [Mercosur, 1996].

5.1 Materias primas

5.1.1 Leche

La leche utilizada para la elaboración de arequipe debe ser de óptima calidad, debe cumplir todos los requerimientos de calidad composicional, higiénica y sanitaria establecidos en la reglamentación sanitaria, estar libre de residuos de medicamentos, plaguicidas y aflatoxina M1 [MinSalud, 2006].

Es importante hacer un énfasis especial en el grado de acidez de la leche que no sea mayor a 0.16% (expresada como ácido láctico), pues, aunque el bicarbonato baja la acidez a niveles cercanos a 0.10% (10 grados dornic, °D), cuando se utiliza leche con acidez de 0.17% o más, se puede presentar precipitación de la proteína durante el calentamiento generando grumos que generan una apariencia no homogénea, cortada y sin brillo. Aunque muchos productores no descreman la leche para elaborar arequipe, es recomendable estandarizar la leche, para garantizar el contenido final de grasa en el arequipe, que en Colombia es mínimo 7% [MinSalud, 1986].

La prueba del alcohol (con etanol neutro grado 78% en volumen) debe ser negativa. Esta prueba ayuda a identificar leches inestables, por lo que es bastante útil aplicarla a la leche destinada a la elaboración de arequipe. Existen otras pruebas para identificar leches inestables al calor como el tiempo de coagulación térmica HCT [Huppertz *et al.*, 2004].

El punto crioscópico debe estar en el rango de -0.510 a -0.530°C . Es importante determinarlo para evitar utilizar leches con adición de agua, que bajan el rendimiento y alteran la calidad del arequipe.

Entre más fresca sea la leche es mejor; las leches almacenadas durante mucho tiempo y que presenten alto recuento de bacterias psicrótrofas, pueden producir arequipes con grumos, debido a la actividad proteolítica de estas bacterias.

También es posible utilizar leche reconstituída en vez de leche fresca, o leche fresca adicionada de leche en polvo, pero manteniendo constante la relación sólidos de leche:azúcar.

5.1.2 Sacarosa o azúcar de caña

La sacarosa o azúcar de caña ($\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$) o α -D-Glucopiranosil - β -D-Fructofuranósido, además de impartir sabor dulce, aporta sólidos e influye en la consistencia del arequipe. Sin embargo, es posible reemplazarla parcialmente por glucosa, para bajar la sensación de dulce y para mejorar la consistencia del arequipe. También es posible fabricar arequipe sin sacarosa o reducido en azúcar y calorías, utilizando un edulcorante no calórico como la sucralosa o la estevia. En este caso es necesario hacer el reemplazo, teniendo en cuenta la capacidad endulzante del edulcorante no calórico, si el edulcorante soporta o no calentamiento (la sucralosa soporta muy bien el calentamiento al que se somete la leche durante la elaboración del arequipe) y adicionar un sustituto del azúcar que aporte los sólidos totales que no aporta el edulcorante, como es el caso de la polidextrosa o la maltodextrina. La sacarosa se puede mezclar con la leche y con el bicarbonato de sodio desde el inicio del proceso. En la medida que se aumenta la proporción sacarosa:leche, el arequipe quedará más dulce y con menor contenido de sólidos lácteos no grasos y de proteína, de modo que la proporción de sacarosa hay que limitarla pues en Colombia se exige como mínimo 17% de sólidos lácteos no grasos y en el caso de Mercosur se permite como máximo 30 kg de azúcar por cada 100 litros de leche .

5.1.3 Glucosa

La glucosa ($C_6H_{12}O_6$), contribuye a retardar el crecimiento de los cristales de lactosa, que causan arenosidad en el arequipe, a bajar la sensación de dulzor y a dar una textura más suave. Se debe agregar a la mezcla leche-sacarosa-bicarbonato, después que se ha concentrado al menos a unos $50^\circ Bx$, para evitar un pardeamiento excesivo, pues se trata de un azúcar reductor que se involucra en las reacciones de Maillard. Puede usarse en forma de polvo o en jarabe de $80^\circ Bx$. Generalmente se reemplaza entre el 10 y el 25% de sacarosa por glucosa.

5.2 Aditivos

Los aditivos permitidos en las concentraciones máximas indicadas en el producto final, en la reglamentación de Mercosur son los siguientes:

Conservantes: Acido sórbico y sus sales de Na, K, 600 mg/kg (como ácido sórbico); en dulce de leche para uso industrial: ácido sórbico y sus sales de Ca en dosis máxima de 1000 mg/kg (como ácido sórbico); natamicina (en superficie libre) máximo 1 mg/dm².

Texturizantes: lactato de calcio, en dosis según buenas prácticas de fabricación (b.p.f.).

Aromatizantes: vainilla, vainillina y/o etilvainillina solos o en mezclas (b.p.f.).

Estabilizantes: Citrato de sodio (b.p.f.).

Humectante: Sorbitol 5g/100g.

Colorantes: Caramelo (INS 150, b.p.f.).

Espesantes (solos máximo 5000 mg/kg, en mezclas, la suma no podrá ser superior a 20 000 mg/kg de producto final): ácido algínico, alginato de amonio, alginato de calcio, carragenina incluida furcellerán y sus sales de sodio y potasio, pectina y pectina amidada, alginato de potasio, alginato de propilenglicol, alginato de sodio, agar, carboximetilcelulosa, carboximetilcelulosa sódica, metilcelulosa, metiletilcelulosa, hidroxipropilcelulosa, goma arábica, goma xántica, goma garrofín, goma karaya, goma gellán, goma tragacanto, goma konjac, gelatina, celulosa microcristalina.

Coadyuvantes de tecnología de elaboración (en dosis reguladas por b.p.f.): β -galactosidasa, bicarbonato de sodio, hidróxido de sodio, hidróxido de calcio, carbonato de sodio. Cuando en la elaboración no se utilicen almidones o almidones modificados, podrá indicarse en el rótulo la expresión “Sin Almidón” o “Sin Fécula” [Mercosur, 1996].

En Colombia, se permite la utilización de bicarbonato de sodio (NaHCO_3) en cantidad máxima de 5 g/kg de leche, ácido benzoico y sus sales de calcio, potasio y sodio en cantidad máxima de 1000 mg/kg expresado como ácido benzoico, ácido sórbico y sus sales de calcio, potasio y sodio en cantidad máxima de 1000 mg/kg expresado como ácido sórbico. Cuando se emplea mezcla de ellos su suma no debe exceder de 1250 mg/kg [MinSalud, 1986].

El bicarbonato de sodio baja el nivel de acidez de la leche, confiriendo estabilidad al calor y propiciando las reacciones de pardeamiento no enzimático o sea generación de color. La dosis aproximada es del orden de 1.3 g/kg de leche si no se realizó hidrólisis de lactosa y 0.065 g/L de leche si se hidrolizó la lactosa, pero esta dosis es apenas un punto de partida, pues dependiendo de la acidez inicial de la leche, de la formulación y del tiempo de calentamiento, habrá que ajustar la dosis de bicarbonato de sodio hasta conseguir el color deseado. Otra manera de dosificar el bicarbonato de sodio es agregando la cantidad necesaria para bajar la acidez de la leche a 0.12% o sea 12°D, o menos dependiendo de las condiciones mencionadas anteriormente. La reglamentación colombiana permite la utilización de bicarbonato de sodio en cantidad máxima de 5 g/kg de leche.

Con relación a los estabilizantes, la reglamentación de Mercosur permite el uso de citrato de sodio en dosis acordes con las b.p.f.. El citrato al darle estabilidad a las micelas de caseína, previene en parte la formación de grumos que se presentan en algunas leches inestables. Estos grumos le quitan brillo al arequipe, aunque existen algunos arequipes “cortados” que tienen buena aceptación en algunos grupos de consumidores, especialmente por su sabor, que no se afecta con la formación de grumos. La dosis de citrato de sodio puede estar alrededor de 0.5 g/litro de leche, pero en Colombia no está dentro de los aditivos permitidos en arequipe.

En cuanto a los conservantes, el arequipe por tener un tratamiento térmico tan intenso y por presentar una actividad de agua muy baja, tiende a conservarse bastante bien a temperatura ambiente, siempre que esté en envase hermético. Sin embargo, durante el envasado puede contaminarse con mohos y levaduras, dependiendo de la forma de envasado que se aplique. Para prevenir este problema se recomienda mantener muy limpia la sala de procesamiento y de envasado, envasar en caliente o utilizar conservantes permitidos. En Colombia se permite la adición de los siguientes conservantes: ácido benzoico y sus sales de calcio, potasio y sodio en cantidad máxima de 1000 mg/kg expresado como ácido benzoico; ácido sórbico y sus sales de calcio, potasio y sodio en cantidad máxima de 1000 mg/kg expresado como ácido sórbico. Cuando se empleen mezcla de ellos su suma no deberá exceder de 1250 mg/kg [MinSalud, 1986].

En Mercosur pemiten además el uso de natamicina, pero solo aplicada en la superficie del producto en cantidad máxima de 1 mg/dm² y no se debe encontrar en el interior del arequipe [Mercosur, 1996].

6 Formulación de ingredientes

Existe una gran variedad de formulaciones de ingredientes para elaborar el arequipe, dependiendo de la región, del tipo de tecnología aplicada y el tipo de arequipe que se desea producir, encontrando desde fórmulas artesanales empíricas basadas en la tradición hasta fórmulas calculadas para cumplir con restricciones técnicas y legales.

Los ingredientes generalmente utilizados son leche fluida (entera o estandarizada), sacarosa y bicarbonato de sodio. Se puede hacer reemplazos de parte de la sacarosa por glucosa, o por otros mono y disacáridos, o reemplazar parcial o totalmente la leche fluida por leche reconstituida.

Muchas de las formulaciones tradicionales se encuentran dentro de los siguientes rangos: leche entera: 82-86%, sacarosa: 13-18%, bicarbonato de sodio: 0.04-0.12% o el necesario para bajar la acidez de la leche 0.10 – 0.12 % (10-12°D).

Sin embargo, en algunos casos pueden encontrarse formulaciones con una proporción de azúcar mucho mayor, por ejemplo, sin considerar el bicarbonato de sodio: leche entera: 77%; sacarosa: 23%. Hay un límite para la proporción de sacarosa, pues si se aumenta demasiado, se bajan los sólidos lácteos no grasos, a niveles inferiores a 17% que es el mínimo que se exige en Colombia, o en el caso de Mercosur, el máximo de sacarosa permitido por cada 100 litros de leche es 30 kg, que corresponde a 77% de leche y 23% de sacarosa.

Cuando se considera la proporción *leche:azúcar*, es necesario tener en cuenta que a medida que se aumenta la proporción de azúcar, la mezcla aumenta los sólidos totales y da mayor rendimiento, pero el producto puede quedar muy dulce, con muy bajo contenido de sólidos lácteos no grasos, lo que se traduce en bajo sabor lácteo y falta de consistencia. La consistencia se podría incrementar con adición de almidones, pero estos no le confieren sabor lácteo y en el caso de Colombia solo se permite utilizar en manjar blanco, no en arequipe.

Por el contrario, si se utilizan niveles de sacarosa por debajo de 12%, se baja el rendimiento y se incrementa el nivel de sólidos grasos no lácteos, a un punto que puede generar defectos de textura, por ejemplo, aparición de grumos. Por esta razón los mejores resultados se obtienen cuando la proporción de sacarosa en la mezcla está entre 14.8 y 17.6% de la mezcla *leche:azúcar* antes de concentrar.

A un nivel más técnico, es preferible calcular la formulación a partir de un balance de materia para que el producto ya concentrado cumpla con las restricciones que la legislación y los requerimientos técnicos establecen. Por ejemplo, podríamos definir las siguientes restricciones: contenido de grasa: 7%, contenido de SLNG: 22%, y contenido de humedad: 25%

Por tanto, el contenido de sacarosa será: $100-(7+22+25) = 46\%$. Luego fijamos los ingredientes que deben aportar dichos componentes, por ejemplo:

(L) Leche fluida de 8.8% de SLNG. El valor al cual se debe estandarizar la grasa de la leche, se debe calcular del balance de grasa, para

cumplir con el requerimiento del 7% de grasa en el producto final.

(A) Azúcar de caña con 99% de sacarosa.

(B) Bicarbonato de sodio. La cantidad de bicarbonato de sodio puede estar en función de la cantidad de la leche por ejemplo 0.001kg/kg de leche, o también puede establecerse la cantidad necesaria para ajustar la acidez de la mezcla en un valor determinado, por ejemplo 12°D. Como se mencionó antes, la proporción del bicarbonato hay que ajustarla experimentalmente, en las condiciones de proceso, ya que el tiempo, la altura sobre el nivel del mar y la formulación influyen en la intensidad de pardeamiento.

Ahora planteamos los balances de materia, para producir 100 kg de arequipe, por ejemplo.

Balance general:

$$L + A + B = 100 + V$$

Donde V= vapor de agua producido durante la concentración

Balance de SLNG:

$$0.088 L + 0 \cdot A + 0 \cdot B = 100 \cdot 0.22 \cdot 0.22 + V \cdot 0$$

Por tanto, $L = 250$ kg

Ahora calculamos el contenido de grasa al cual se deben estandarizar los 250 kg de leche

Balance de grasa:

$$250 G = 100 \cdot 0.07$$

Donde G es el contenido de grasa de la leche en kg de grasa/kg de leche

Por tanto, $G = 0.028$ kg de grasa/kg de leche que corresponde a 2.8% de grasa

Balance de sacarosa:

$$0.99 A = 100 * 0.46$$

Por tanto, $A = 46.5$ kg

Cantidad de bicarbonato de sodio: $0.001 * 250 = 0.250$ kg

Así queda definida la formulación de ingredientes para producir 100 kg de arequipe:

- Leche de 2.8% de grasa 250 kg
- Azúcar de caña: 46.5 kg
- Bicarbonato de sodio 0.250 kg

Llevando esta formulación a porcentaje daría:

- Leche 84.25%
- Azúcar de caña: 15.67%
- Bicarbonato: 0.08%

Obsérvese que esta formulación cae en el rango que utilizan las formulaciones empíricas.

En este caso el azúcar de caña, podría sustituirse parcialmente (en un 10 ó 20%) por glucosa que tiene menor poder edulcorante que la sacarosa; así se obtendrá un producto menos dulce y con una textura más lisa. La cantidad de bicarbonato calculada sería apenas un punto de partida pues si el tiempo de concentración es muy largo, el arequipe quedará más oscuro y habrá que bajarle a la dosis de bicarbonato de sodio, lo mismo sucede si se utiliza leche deslactosada.

A manera ilustrativa, a continuación, se muestran varias formulaciones típicas de arequipe y de manjar blanco.

Tabla 1. *Fórmulas típicas de arequipe y manjar blanco.*

Ingredientes	Arequipe			Manjar blanco		
	%	%	%	%	%	%
Leche entera 3,5% grasa	64.62	67.76	62.47	81.92	81.02	64.96
Leche descremada	21.54	16.94	20.82	0.00	0.00	16.66
Azúcar de caña	11.03	12.20	13.33	18.02	15.78	16.66
Glucosa	2.76	3.05	3.33	0.00	2.76	0.00
Bicarbonato de sodio	0.056	0.055	0.054	0.053	0.053	0.054
Fécula	0.00	0.00	0.00	0.00	0.39	1.67
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Grados brix finales	69	74	74	74	69	70
Monoestearato (antiespumante)	Opcio- nal	Opcio- nal	Opcio- nal	Opcio- nal	Opcio- nal	Opcio- nal

Nota: la dosis de bicarbonato está calculada para leche deslactosada; en caso de no deslactosar, hay que aumentarla hasta lograr el color deseado. El antiespumante es opcional para todas las formulaciones y su dosis es del orden de 4.1 mg/kg de mezcla de ingredientes, los grados brix finales se pueden cambiar dependiendo de la consistencia deseada.

6.1 Utilización de leche reconstituida

El cálculo para reconstituir la leche en polvo entera se hace de la siguiente manera: por ejemplo, se está trabajando la siguiente formulación: leche 100 kg, sacarosa 18 kg, bicarbonato de sodio 0.065 kg. Se quiere reemplazar la leche por leche reconstituida. La leche en polvo entera tiene 70% de SLNG y 26% de grasa; para reconstituir la leche en polvo entera se pueden balancear los sólidos lácteos no grasos (SLNG) así:

$$\begin{aligned}P + A &= 100 \\0.7P + 0A &= 100 * 0.09\end{aligned}$$

Donde: P: leche en polvo entera, A: agua.

Por tanto,

$$\begin{aligned}P &= 9/0.7 = 12.86 \text{ kg} \\A &= 100 - 12.86 = 87.14 \text{ kg}\end{aligned}$$

Kg de SLNG: 9

Kg de sacarosa: 18

Relación sacarosa: SLNG = $18/9 = 2.0$

Para ahorrar tiempo y energía no es necesario hidratar la leche en polvo hasta llevarla a 9% de SLNG (como la leche fluida), sino que se puede hidratar en menor grado, por ejemplo, a 20% de SLNG, pero en este caso es necesario calcular la formulación manteniendo constante la relación

Sacarosa:sólidos lácteos no grasos.

- Sacarosa: 18 kg (los mismos)
- SLNG: 9 (los mismos)
- Cantidad de leche reconstituida al 20% de SLNG = $9 * 100/20 = 45$
- Balance para calcular la leche reconstituida al 20%

$$\begin{aligned}P + A &= 45 \\0.7P + 0A &= 45 * 0.2\end{aligned}$$

Por tanto,

$$\begin{aligned}P &= 12.86 \text{ kg} \\A &= 45 - P = 45 - 12.86 = 32.14 \text{ kg}\end{aligned}$$

Obsérvese que la formulación lleva la misma cantidad de leche en polvo y de sacarosa, pero 55 kg menos de agua, lo cual ahorrará

tiempo y energía. Como se gastará menos tiempo en el proceso de concentración, es posible que el color quede menos intenso, por tanto, será necesario aumentar la dosis de bicarbonato y/o adicionar un colorante en caso que la legislación lo permita, como ocurre en el cono sur con el colorante Caramelo INS 150.

Otra alternativa para ahorrar tiempo y energía trabajando con leche líquida, es adicionándole leche en polvo. En este caso es necesario agregarle más azúcar y más bicarbonato de sodio, los cuales se calculan de la siguiente manera:

Ejemplo:

Formulación tradicional: 100 kg de leche; 18 kg de azúcar, y 0.065 kg de bicarbonato de sodio.

Se quiere adicionar 5 kg de leche descremada en polvo. ¿Cuánta azúcar se debe agregar para que el arequipe no cambie en su composición?

La leche líquida tiene aproximadamente 9% de SLNG, mientras que la leche descremada en polvo tiene 95% de SLNG.

Los 100 kg de leche contienen 9 kg de SLNG que necesitan 18 kg de azúcar, los 5 kg de leche en polvo contienen $5 \cdot 0.95 = 4.75$ kg de SLNG. Por tanto, si a 9 kg de SLNG se deben adicionar 18 kg de azúcar, a los 4.75 kg de SLNG adicionales se deberán agregar 9.5 kg de azúcar.

Lo mismo se hace con el bicarbonato de sodio: los 100 kg de leche contienen 9 kg de SLNG, que llevan 0.065 kg de bicarbonato de sodio, los 4.75 kg de SLNG adicionales 0.034 kg de bicarbonato de sodio. Sin embargo, como se disminuye el tiempo de concentración porque la mezcla inicia con mayor contenido de sólidos totales, es posible que sea necesario ajustar la dosis de bicarbonato de sodio experimentalmente.

Otra manera de calcular el azúcar y el bicarbonato adicionales por colocar leche en polvo a la leche, es calcular esa leche en polvo a cuánta leche líquida equivale y mantener las proporciones. En el ejemplo anterior, 5 kg de leche descremada en polvo equivale a:

$5 * 0.95 / 0.09 = 53$ kg de leche líquida, por tanto, se agregan los ingredientes que corresponden a esta cantidad de leche adicional.

$$53 * 0.18 = 9.5 \text{ kg de azúcar}$$

$$53 * 0.065 = 0.034 \text{ kg de bicarbonato de sodio}$$

7 Tecnología de elaboración

El proceso de elaboración puede variar dependiendo de la infraestructura que se disponga; básicamente se pueden diferenciar dos procedimientos: concentración a presión atmosférica y concentración a condición de vacío complementada con presión atmosférica.

En el primer caso, después de calcular la cantidad de ingredientes, se procede a mezclar la leche con la sacarosa y el bicarbonato de sodio, la glucosa se incorpora al final del proceso de concentración. Se determina el contenido de sólidos solubles o grados brix. Al iniciar el proceso, la mezcla tiene una concentración de sólidos solubles cercana a 25°Bx, pero este valor depende de la formulación; a medida que se produce la evaporación se van incrementando los grados brix. Cuando se alcancen los 50°Bx, se adiciona la glucosa. Los grados Brix finales van a depender de la formulación y de la consistencia que se desee en el arequipe, generalmente se para la concentración en 70-75°Bx.

Durante la concentración es importante controlar la fuente de calentamiento para evitar que se desborde la mezcla del recipiente, pues el bicarbonato hace producir bastante espuma, principalmente al inicio de la ebullición; sin embargo, es importante mantener la ebullición todo el tiempo.

En lo posible es preferible que el equipo tenga agitación mecánica, de lo contrario se debe agitar manualmente el producto, principalmente cuando la concentración está avanzada. En caso que el producto se empiece a caramelizar en las paredes del recipiente, no se deben incorporar las partículas quemadas al producto, pues se deteriora el aspecto del arequipe [Novoa y Osorio, 2009].

Cuando se alcancen los grados Brix finales, se suspende la fuente de calentamiento y se continúa agitando durante unos cinco a diez minutos más, para permitir que se desprenda el vapor ya formado y se enfríe un poco el producto. En este momento se pueden colocar aditivos permitidos, como es el caso del sorbato de potasio o del benzoato de sodio. Luego se procede al envasado cuando el producto todavía está caliente, pues muy frío aumenta demasiado la viscosidad y se dificulta el envasado. Cuando no se dispone de refractómetro de brix, se pueden utilizar algunas técnicas empíricas para verificar que el arequipe ya está listo para el envasado, por ejemplo, colocar una gota de producto en un vaso con agua fría; si la gota llega hasta el fondo sin deshacerse, se considera que el arequipe ya está listo para envasar [Novoa y Osorio, 2009].

La segunda alternativa tecnológica es concentrar la leche en un evaporador a condición de vacío, el mismo que se utiliza para elaborar leche condensada, hasta un nivel cercano a los 30°Bx. Luego se le agrega el azúcar en forma de jarabe de 70°Bx y se termina de concentrar en marmita a presión atmosférica donde generará el color y la consistencia. Este proceso ahorra energía y tiempo, pero solamente lo pueden aplicar las fábricas que cuenten con un evaporador a vacío, por ejemplo, un evaporador de película descendente.

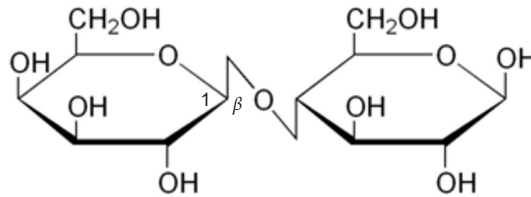
8 Defectos en la producción de arequipe y métodos de prevención

8.1 Arenosidad

La lactosa es un disacárido compuesto por D-galactosa y D-glucosa. El grupo aldehídico de la galactosa está unido al grupo C-4 de la glucosa mediante un enlace β -1,4-glicosídico (Fig. 2). Ambas mitades del azúcar están predominantemente en forma de anillo piranósico. En las principales reacciones de la lactosa participan el grupo hemiacetal entre los enlaces C-1 y C-5 de la glucosa, el enlace glicosídico, los grupos hidroxilo y los enlaces -C-C-. Su estructura molecular imparte a la lactosa unas características especiales, es un azúcar reductor o sea

que cuando la molécula está en su forma aldehídica de cadena abierta, el grupo aldehído puede reaccionar; la lactosa tiene también la capacidad de mutarrotación, que significa que los anómeros α y β pueden pasar de una forma a la otra [Walstra *et al.*, 2006].

Figura 2. *Fórmula estructural de la lactosa.*



Fuente: <https://goo.gl/U6oHrE>

La leche tiene un contenido de lactosa entre 4.6 y 4.8%, luego al mezclarse con el azúcar y los demás ingredientes del arequipe, desciende a cerca de 4.1%, pero al concentrar esta mezcla para obtener el arequipe, (aproximadamente de 23 a 74°Bx), el contenido de lactosa se incrementa a cerca del 13%. Si se tiene en cuenta que el arequipe tiene cerca de 17% de humedad, tenemos 13 gramos de lactosa por cada 17 gramos de agua o sea 76 gramos de lactosa/100 g de agua, mientras que la solubilidad de la lactosa a 20°C es solo de 18 g/100 g de agua.

Las soluciones de lactosa se sobresaturan fácilmente o en otras palabras, la nucleación no acaece fácilmente. A concentraciones unas 2.1 veces la solubilidad final tiene lugar la cristalización espontánea probablemente por una nucleación espontánea. A una sobresaturación relativa, por debajo de aproximadamente 1.6, generalmente se requiere la siembra con cristales de lactosa para inducir cristalización, salvo que se espere muchísimo tiempo, por tanto, la solución es metaestable. En el rango de concentraciones intermedias la cristalización depende de diversos factores como la composición y el tiempo [Walstra *et al.*, 2006].

La cristalización de la lactosa tiene gran importancia en la definición de la textura del arequipe; como la nucleación corrientemente es len-

ta, implica que se forman pocos cristales y que son grandes. Si hay cristales de un tamaño mayor de 15 micrómetros, la boca los percibe y se dice que el producto es arenoso. Para evitar la aparición de arenosidad, corrientemente deben adicionarse numerosos cristales diminutos antes de la cristalización. Otra implicación es la mutarrotación; si se hace cristalizar una solución de lactosa a baja temperatura se prolonga el crecimiento de los cristales debido a que la separación de la α -lactosa de la solución va seguida de la conversión de la β -lactosa en α -lactosa; de aquí que la solución permanezca mucho tiempo en un estado de sobresaturación baja. Cuando las demás condiciones (tamaño del cristal, composición y temperatura) son iguales, la velocidad de crecimiento del cristal es aproximadamente proporcional al cuadrado de la sobresaturación absoluta (concentración menos solubilidad de la α lactosa) [Walstra *et al.*, 2006].

Generalmente la α -lactosa cristaliza como hidrato que contiene cantidades equimolares de lactosa y agua. Los cristales son bastante duros y no higroscópicos; por encima de 93.5°C cristaliza la β -lactosa anhidra. A temperatura ambiente la β -lactosa se disuelve mucho mas rapidamente que el hidrato α -lactosa y su solubilidad es unas diez veces mayor, siendo sus cristales corrientemente menores pero con una mayor area superficial.

Otra manera de prevenir la arenosidad del arequipe es hidrolizando enzimáticamente la lactosa total o parcialmente, utilizando la enzima β -D Galactosidasa o lactasa, para desdoblarla en galactosa y glucosa.

Después de colocar la enzima en la leche, ésta se mantiene en incubación a 37 – 40°C durante tres o cuatro horas, o 12 horas a 4°C, o el tiempo necesario para alcanzar determinado grado de hidrólisis. Para controlar el porcentaje de hidrólisis se puede determinar el índice crioscópico o sea el punto de congelación de la leche, el cual disminuye a medida que se hidroliza la lactosa.

Si el índice crioscópico inicial de la leche en valor absoluto de grados horvert ($^{\circ}\text{H}$) es 0.530°H , y si X es el punto crioscópico de la leche después de deslactosar, el porcentaje de hidrólisis de la leche Y será:

$$(Y) = 353.41X - 187.28$$

por ejemplo: Índice crioscópico (valor absoluto): 0.720°H , por tanto:

$$Y = 353.41(0.720) - 187.28$$

$$Y = 67 \% \text{ de hidrólisis.}$$

Ahora, si el índice crioscópico inicial de la leche es 0.520°H , y si X es el punto crioscópico de la leche después de deslactosar, el porcentaje de hidrólisis de la leche Y será:

$$(Y) = 353.44X - 183.8$$

por ejemplo: Índice crioscópico (valor absoluto): 0.720°H , por tanto

$$Y = 353.44(0.720) - 183.8$$

$$Y = 70.7 \% \text{ de hidrólisis.}$$

Generalmente con un 50% de hidrólisis se obtienen buenos resultados para prevenir el defecto de arenosidad en el arequipe. Si se desea aumentar el porcentaje de hidrólisis se puede aumentar la concentración o el tiempo de acción de la enzima, recordemos que los factores que influyen en el grado de hidrólisis de la lactosa son la temperatura, el tiempo y la concentración de la enzima β - D galactosidasa.

Si se tiene por ejemplo leche deslactosada al 75%, se puede inactivar la enzima con calor y luego mezclarla con leche sin deslactosar para bajarla a un determinado porcentaje de hidrólisis, por ejemplo al 50%.

La leche deslactosada es más dulce y pardea más rápidamente por lo que es necesario disminuir la dosis de neutralizante (bicarbonato de sodio) con relación al proceso donde no se hidroliza para evitar que el producto quede muy oscuro.

Es importante leer las instrucciones del fabricante de la enzima, para determinar la dosis correcta, y las condiciones de almacenamiento de la enzima, que generalmente se recomienda a 4°C .

8.2 Presencia de grumos y pérdida de brillo

Se presenta por utilización de leches con alto nivel de acidez o por leches inestables. Para prevenir este defecto se debe utilizar leche con acidez de 0.13 a 0.14% en lo posible y como máximo 0.16% de acidez. La leche debe dar negativa a la prueba del alcohol grado 78% en volumen.

8.3 Presencia de mohos

Se debe monitorear frecuentemente la calidad microbiológica del ambiente y de los equipos de la planta y tomar las medidas de limpieza y desinfección pertinentes. Es importante controlar el nivel de humedad y de temperatura de la zona de procesamiento. Como última alternativa se pueden emplear conservantes permitidos.

8.4 Sinéresis

Es la expulsión de líquido del producto; se presenta por mala formulación de los ingredientes o por excesiva inversión de azúcares durante la concentración. Revise la formulación para ver si se cumplen los parámetros dados.

8.5 Color muy claro o muy oscuro

Por falta o exceso de bicarbonato de sodio respectivamente. Ajuste la dosis y mantenga constante el volumen a procesar y el tiempo de concentración

8.6 Falta o exceso de consistencia

Por falta o exceso de grado de concentración o por mala formulación de ingredientes; se deben ajustar los grados brix finales del arequipe y revisar la formulación, principalmente en el contenido de sólidos no grasos o de proteína. En caso de reemplazar leche por lactosuero, revisar el porcentaje de reemplazo.

8.7 Presencia de partículas quemadas o más oscuras

Se presenta por caramelización excesiva de parte del arequipe en las paredes de donde se concentra el arequipe. Revise la presión de vapor, el diseño de la marmita y principalmente el sistema de agitación y de raspado.

9 Equipos para la producción de arequipe

Para elaborar arequipe tradicionalmente en las fábricas artesanales se utilizan hornillas o estufas de leña o a gas y pailas de cobre, pues debido a conductividad térmica del cobre se evita que el calor se concentre encima de la llama provocando caramelización excesiva y quemado del producto. En fábricas, más modernas se utilizan marmitas de acero inoxidable calentadas con vapor; estas marmitas tienen doble camisa, a través de las cuales circula el vapor, también disponen de agitador con raspadores de teflón; el agitador está accionado por un motor con reductor de velocidad. Es importante que la marmita sea de boca ancha para tener bastante superficie de evaporación y en lo posible que tenga como recoger los vapores que salen de la leche y llevarlos al exterior o aprovecharlos en otro proceso.

En fábricas muy grandes ya se justifica invertir en un evaporador al vacío, por ejemplo, de película descendente, para concentrar la mezcla leche hasta cierto punto y posteriormente terminar de concentrarla en marmita convencional a presión atmosférica; este método ahorra energía.

Figura 3. *Marmita con agitador.*



Tomado de: <https://goo.gl/sCDosJ>

Referencias bibliográficas

- CORTÉS YÁÑEZ, D.A., GAGNETEN, M., LEIVA, G.E. Y MALEC, L.S. Antioxidant activity developed at the different stages of Maillard reaction with milk proteins. *LWT*, 2018/03/01/ 2018, vol. 89, p. 344-349. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.11.002>
- DA SILVA, F.L., FERREIRA, H.A.L., SOUZA, A.B.D., ALMEIDA, D.D.F., STEPHANI, R., PIROZI, M.R., CARVALHO, A.F.D. Y PERRONE, Í.T. Production of dulce de leche: The effect of starch addition. *LWT - Food Science and Technology*, 2015/06/01/ 2015, vol. 62, no. 1, Part 2, p. 417-423. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.10.062>
- EL TIEMPO. Más arequipe al mercado nacional. En. Bogotá: Redacción El Tiempo, 1995, p. 1-1.
- HUPPERTZ, T., GROSMAN, S., FOX, P.F. Y KELLY, A.L. Heat and ethanol stabilities of high-pressure-treated bovine milk. *International Dairy Journal*, 2004, vol. 14, no. 2, p. 125-133. [10.1016/S0958-6946\(03\)00170-5](https://doi.org/10.1016/S0958-6946(03)00170-5)
- ICONTEC. NTC 3757. Arequipe o dulce de leche y manjar blanco. En. Bogota, Colombia Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, 2008.
- MERCOSUR *Reglamento Técnico Mercosur de identidad y calidad del dulce de leche*. Montevideo, Uruguay: Mercado Común del Sur (MERCOSUR), 1996. 6 p.
- MINSALUD Resolución Numero 2310 de 1986. Bogotá, Colombia: Ministerio De Salud, Republica de Colombia, 1986. 38 p.
- MINSALUD Decreto número 616 de 2006. Bogotá, Colombia: Ministerio de Salud y Protección Social, República de Colombia, 2006. 32 p.
- MOJICA, F.J., TRUJILLO CABEZAS, R., CASTELLANOS, D.L. Y BERNAL, N. *Agenda Prospectiva de Investigación y De-*

- sarrollo Tecnológico de la Cadena Láctea Colombiana*. Bogotá, Colombia: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2007. 168 p.
- MOLOGNONI, L., VALESE, A.C., LORENZETTI, A., DAGUER, H. Y DE DEA LINDNER, J. Development of a LC–MS/MS method for the simultaneous determination of sorbic acid, natamycin and tylosin in Dulce de leche. *Food Chemistry*, 2016/11/15/ 2016, vol. 211, p. 748-756. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.05.105>
- NOVOA, C. Y OSORIO, D. *Guía para la elaboración de algunos productos derivados de la leche*. 1 ed. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia-Facultad de Ingeniería, 2009. 68-72 p.
- REVISTA PORTAFOLIO. Colombina incursiona en producción arequipe. En: *Revista portafolio*. 2010, p. 1-1.
- ROZYCKI, S.D., BUERA, M.P. Y PAULETTI, M.S. Heat-induced changes in dairy products containing sucrose. *Food Chemistry*, 2010/01/01/ 2010, vol. 118, no. 1, p. 67-73. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.04.096>
- SANTILLANA. Arequipe. En. Bogotá, Colombia: Productos Alimenticios Santillana S.A., 2018, p. 1.
- VALLEBONI, C. El negocio del dulce de leche. En. Argentina: Forbes, 2017, p. 1.
- WALSTRA, P., WOUTERS, J.T. Y GEURTS, T.J. *Dairy science and technology*. Boca Raton, FL. USA: CRC press, 2006. 768 p.
- ZALAZAR, C. Y PEROTTI, M. Concentrated dairy products, Dulce de Leche. En: FUQUAY, FOX Y MCSWEENEY. *Encyclopedia of Dairy Sciences*. Elsevier Science, 2011, p. 874–880.

LA CAJETA, UN DULCE DE LECHE DE CABRA

Jorge Fernando Vélez-Ruiz

<https://orcid.org/0000-0003-1526-989X>

1 Aspectos generales

1.1 Características de la cajeta

La *cajeta* es un producto lácteo con características muy particulares que se consume en México y que tiene presentaciones análogas en América Latina, tales como el dulce de leche en Argentina y el arequipe en Colombia, por mencionar algunos. Entre sus principales características está que se elabora con leche de cabra a la que se le agrega glucosa, se le da un tratamiento térmico que contribuye a darle el color y posteriormente se concentra por evaporación. En México, se consume como dulce solo, como endulzante y relleno de pasteles, o bien como saborizante de otros alimentos (bebidas, postres). De acuerdo a la norma mexicana (NMX-F-480-1985) [DGN, 1985] la cajeta puede elaborarse tanto con leche de cabra como con mezcla de leches de cabra y de vaca, adicionando azúcar, ingredientes y aditivos autorizados. Algunos de los ingredientes utilizados son glucosa y sacarosa, canela, bicarbonato de sodio, benzoato de sodio y sorbato de potasio.

La elaboración se hace en caliente, y la evaporación de agua (a presión atmosférica) se detiene hasta obtener la viscosidad y el color deseados, que caracterizan al producto. Adicionalmente, se le puede agregar vainilla o alcohol potable. Se denomina cajeta al producto que contiene 28% de agua, 7.5% de grasa de la leche, 2% de cenizas y 63% o más

de azúcar [INAES, 2007]; aunque García [1999] reporta la siguiente composición como típica de la cajeta: sacarosa 44%, agua 30%, lactosa 10%, proteína y grasa 7%, respectivamente, y cenizas 2% (Figura 1).

Figura 1. *Imágenes de una cajeta envinada, A) en flujo, B) en reposo.*

A) Cajeta en envase presionable, fluyendo.



B) Cajeta “envinada” en reposo.



La tecnología para la elaboración de cajeta está fundamentada en el manejo del azúcar, su principal ingrediente, lo que permite la obtención de una gama de consistencias o texturas, las cuales se logran regulando el estado de cristalización del azúcar y de la humedad. Por el contenido de humedad que conserva (12-30%), se le considera un alimento de humedad intermedia.

1.2 Principales defectos

La cajeta como producto lácteo y como cualquier producto alimenticio terminado, puede desarrollar algunos defectos que deben ser evitados a toda costa, para asegurar un alimento de calidad. Entre los defectos más frecuentes en este tipo de productos están:

1.2.1 Granulación de la cajeta

Se refiere a la existencia de grumos o gránulos en la cajeta y se presenta como consecuencia de alguno de los siguientes tres fenómenos fisicoquímicos [IDEAL, 2013]:

Precipitación de las proteínas relacionada a la acidez de la leche, por lo que solo se debería usar leche fresca con baja acidez (pH 6.6-6.8) en la elaboración de la cajeta. El ácido láctico natural de la leche aumenta su concentración debido al proceso de evaporación con lo cual el pH disminuye y con ello se presenta la posibilidad de alcanzar el punto isoeléctrico de la caseína; esto puede generar la formación de grumos no cristalinos, que se expresa como una textura inadecuada, afectando la calidad de la leche. Una manera relativamente sencilla de evitar este defecto consiste en incorporar compuestos neutralizantes.

Precipitación de la lactosa. En este caso, la solución de lactosa existente en la cajeta alcanza la sobresaturación, lo que ocasiona el fenómeno de cristalización, resultando en una textura arenosa de la cajeta, más o menos fina en función del tamaño de cristales. El defecto ocasionado por la cristalización de la lactosa se diferencia del causado por la coagulación de proteínas, porque los grumos en este último son más o menos elásticos, blandos y gomosos; en el caso de los cristales de lactosa se forman cristales duros que son insípidos o con un sabor ligeramente dulce.

Este problema se puede eliminar si se estabilizan los cristales de lactosa; por un lado, al realizar el enfriamiento rápido de la cajeta a 40-45°C, posterior al cocimiento, o bien, asegurando que la temperatura se mantenga entre 40-45°C, para que el tamaño de los cristales sea muy pequeño o fino; también la adición de pequeños cristales (2-4%) que sirven de “núcleos o guías” lo favorece, así los cristales de lactosa no crecen.

Precipitación del azúcar. De manera semejante al problema anterior, cuando hay un exceso de azúcar por un mal balance en la formulación de cajeta, se pueden formar cristales de sacarosa, los cuales tienen la característica de ser más quebradizos y menos duros que los de lactosa. Para evitarlo, la cantidad o dosis de jarabe de glucosa debe ser controlada con precisión. Por otro lado, una dosificación correcta ayudará no solo a inhibir los cristales de sacarosa, sino los de lactosa también.

Existen empresas que ofrecen aditivos desarrollados y comercializados para evitar estas variantes del problema de formación de grumos/cristales en la cajeta.

1.2.2 Crecimiento de hongos

Otro de los problemas que se suele presentar en este producto lácteo es el crecimiento de hongos en la superficie, lo cual básicamente se debe a descuidos de higiene y limpieza, en las materias primas o en los utensilios, empleados o durante la etapa de envasado. La solución obviamente es asegurar que la limpieza de todos los elementos involucrados, incluida la atmósfera de procesamiento, sea impecable asegurando la ausencia de estos microorganismos, para evitar el empleo de sustancias anti fúngicas.

Debido a su elevada cantidad de azúcar, la cajeta es un producto altamente energético; y aunque la leche que contiene proporciona proteínas, se ha buscado elaborar una cajeta baja en calorías; este es uno de los desarrollos y estudios más comunes. En la actualidad, solo una parte de la producción de cajeta se elabora a partir de leche de cabra, y debido al aumento en el consumo, la mayor parte se elabora con leche de vaca o con mezclas de leche de cabra y vaca. En buena medida porque el volumen producido de leche de cabra es insuficiente para satisfacer la demanda, por un lado, y porque estos dos tipos de leche tienen cierta semejanza en su composición, como se puede apreciar en la Tabla 1; en general, la composición de la leche de varios mamíferos es relativamente semejante.

Tabla 1. *Composición en Porcentaje de la Leche de Algunos Mamíferos.*

Mamífero	Agua	Grasa	Proteínas	Caseína	Suero proteína	Lactosa	Cenizas
Burra	91,5	0,6	1,4	0,7	0,7	6,1	0,4
Cabra	86,8	4,5	2,9	2,5	0,4	4,1	0,8
Camella	86,4	4,5	3,6	2,7	0,9	5,0	0,7
Oveja	80,7	7,3	5,5	4,6	0,9	4,8	1,0
Vaca	87,8	3,4	3,4	2,8	0,6	4,7	0,7
Yegua	88,8	1,9	2,5	1,3	1,2	6,2	0,5

Adaptada de Chandan [2006]

En México, la ciudad de Celaya en el estado de Guanajuato, se conoce como “la capital mundial de la cajeta”, cuya fama se atribuye a una histórica visita de un personaje importante de la época (Maximiliano de Habsburgo), a esta ciudad en 1832; Maximiliano disfrutó la exquisitez de este producto y se llevó varias cajas de este dulce a la ciudad de México. El nombre de cajeta viene de las cajas de madera o “cajetes”, donde se colocaba o se guarda todavía, para diferenciarla de otros productos lácteos, y así transportarla desde el lugar de producción artesanal hacia los sitios de venta o consumo [Delgado y Gutiérrez, 2010].

2 Leche de cabra

La leche de cabra, como la de vaca, es un líquido de color blanco cremoso, ligeramente viscoso, cuya composición y propiedades fisicoquímicas son semejantes, pero cada una tiene sus propias características. Entre los factores que influyen en la composición y características fisicoquímicas se tienen la raza, la alimentación, la estación del año en que se ordeña, las condiciones ambientales y de ordeño, la localidad, el estado de lactación, y la condición saludable de la ubre [Park *et al.*, 2007; SAGARPA, 2011].

Dentro de la composición de la leche de cabra, cuyos componentes son comunes y están presentes en la leche de mamíferos destacamos: el contenido y la composición de la grasa es la variable más importante, en lo que se refiere al costo y características nutritivas, en la grasa el componente mayoritario (~98%) está constituido por los triglicéridos; además de fosfolípidos, diglicéridos, monoglicéridos y ésteres de colesterol. Los glóbulos de grasa de la leche de cabra tienen dos características distintivas, la mayor concentración (80%) y el menor tamaño (5 μm) en comparación con la leche de vaca, que tiene 60% y 100 μm , respectivamente. Características que le confieren propiedades particulares a esta leche de cabra, una condición de homogenización “natural” por su tamaño y distribución; una consistencia más suave por el menor tamaño y amplia distribución de los glóbulos, y una mayor digestibilidad y eficiencia metabólica que facilita la acción de las enzimas digestivas, por la presencia de ácidos grasos de cadena corta [Park *et al.*, 2007; Vélez-Ruiz, 2017]. Todas estas características o propiedades se asocian al sabor típico de la leche de cabra y de dos de sus productos más importantes, como los son la cajeta y el queso fresco [Ramírez-López y Vélez-Ruiz, 2014, 2016]. Aunado a lo anterior, a los ácidos grasos de cadena corta de la leche de cabra se le atribuyen propiedades conservadoras, antibacterianas y antivirales.

La lactosa en la leche de cabra, como en cualquier leche de mamífero, es el principal carbohidrato y representa cerca del 44% de los sólidos, aunque se encuentra en menor concentración (4.1%) que en la leche de vaca (4.7%). Los otros carbohidratos presentes en la leche de cabra son oligosacáridos, glicopéptidos, glicoproteínas y nucleótidos en pequeñas cantidades. Trabajos recientes mencionan que la leche de cabra contiene cuatro a cinco veces más carbohidratos complejos que la de vaca y diez veces más que la de oveja. La importancia de los oligosacáridos de la leche radica en su actividad prebiótica y sus propiedades anti-infecciosas [Jandal, 1996; Park *et al.*, 2007; Silanikove *et al.*, 2010].

Por otro lado, las proteínas como los nutrientes más importantes de la leche de cabra están formando dos fracciones, análogamente a la leche de vaca: caseínas que constituyen más del 80% de la proteína total y

la segunda fracción, la constituyen las suero-proteínas que constituyen el 13-17% complementario. Igualmente, que, en la leche de vaca, las caseínas están constituidas por micelas que están suspendidas y unidas entre sí por fosfato de calcio y pequeñas cantidades de minerales como magnesio y potasio; mientras que las proteínas séricas están en solución, debido a su alta solubilidad y menor complejidad estructural. Las caseínas se pueden precipitar de tres maneras, por acción química disminuyendo el pH (4.6-4.7) o aumentando la acidez; por tratamiento enzimático (quimosina o renina); o por centrifugación, en que la fuerza centrífuga supera las fuerzas de suspensión de la dispersión láctea. Por otro lado, las suero-proteínas son termo sensibles, por lo que un tratamiento térmico favorece su separación y precipitación. En la leche de cabra, se han reportado mayores concentraciones de seis de diez aminoácidos esenciales (treonina, isoleucina, lisina, cisteína, tirosina y valina) y dos aminoácidos libres (ácido glutámico y glicina); estos últimos pueden ser utilizados directamente por el intestino. Las proteínas de la leche de cabra son más digeribles que las de la vaca, debido a que forman una cuajada compacta, suave y más fracturable durante su acidificación en el estómago, lo que facilita la acción digestiva de las proteasas [Greppi *et al.*, 2008; Haenlein, 2004; Park y Haenlein, 2010; Park *et al.*, 2007; Vélez-Ruiz, 2017].

El contenido de minerales de la leche de cabra y oveja son ligeramente mayores a los de la leche de vaca, sobresaliendo sus altos contenidos de cloro y potasio y bajos niveles de sodio. Según las recomendaciones de la FAO, la leche de cabra aporta cantidades adecuadas de vitamina A y niacina, y un exceso de tiamina y riboflavina. Sin embargo, es deficiente en ácido fólico y vitamina B12, comparada con la leche de vaca, que son necesarias para la síntesis de hemoglobina en el humano, y su deficiencia puede causar anemia en infantes. La leche de cabra también es deficiente en piridoxina (B6) y vitaminas C y D [Lucas *et al.*, 2006; Park y Haenlein, 2010; Park *et al.*, 2007; Raynal-Ljutovac *et al.*, 2008].

Se puede concluir que la leche de cabra contiene una mayor proporción de ácidos grasos de cadena corta y media, que son de menor tamaño y no se aglutinan, resultando en su mejor digestión y absorción. El coágulo que se forma durante la digestión de la leche de cabra es

más suave y pequeño que el de leche de vaca, lo que facilita y hace más rápido dicho proceso. El menor contenido de lactosa y de un tipo de caseína, la hace una importante opción como alternativa a la leche de vaca en personas alérgicas a ésta. Y el hecho de que la leche de cabra haya sido la principal materia prima para la elaboración de cajeta en el pasado, yo la veo más ligada con la forma artesanal con la que se fabricó, y justamente su aumento en la demanda y su industrialización, están favoreciendo la combinación de leches de cabra y vaca o la sustitución con leche de vaca. Esto último no es exclusivo de un producto lácteo como la cajeta, también se está presentando en la fabricación/ industrialización de otros productos lácteos como el queso artesanal de cabra [Ramírez-López y Vélez-Ruiz, 2014, 2016].

3 Proceso de elaboración de cajeta

3.1 Principales tipos de cajeta

Existen diferentes tipos de cajeta; la quemada es la presentación tradicional de la cajeta, a la envinada se le añade alcohol en su preparación, a la de sabor vainilla se agrega vainilla en la preparación. En la actualidad, si bien se siguen empleando “cajetes”, se está envasando en recipientes de vidrio y plástico, que son los más utilizados (Figura 2).

Figura 2. Ejemplos de presentaciones de cajeta, envasada en vidrio y plástico.



Fuente: <https://goo.gl/oExSMx>

Además de leche y azúcar, se suele agregar glucosa, que favorece la formación de las redes cristalinas de la sacarosa, lo que permite controlar la cristalización de la misma en bajas cantidades, ayuda a mejorar el brillo y a aumentar la vida de anaquel del producto terminado. El bicarbonato de sodio, es un ingrediente que se utiliza en bajas cantidades con el objetivo de evitar la coagulación de las proteínas. Durante el proceso de elaboración el agua se va evaporando; y como el ácido láctico también se va concentrando, se debe tener un buen control para evitar la precipitación de las proteínas. Cuando se elabora cajeta, se deben controlar tanto el peso de los ingredientes, como los tiempos de las diferentes etapas de proceso, ya que son determinantes para lograr una cajeta de calidad. Una relación básica y del dominio público, está integrada por la siguiente relación de ingredientes: 100 L de leche de cabra, 20 kg de azúcar comercial, 15 kg de glucosa y 75 g de bicarbonato de sodio [SAGARPA, 2011].

3.2 Operaciones Básicas

Recepción de la leche de cabra, con el objetivo de cuantificar el volumen o la masa que permitirá formar el lote correspondiente; adicionalmente se puede realizar un muestreo para la determinación de las propiedades importantes de la leche, tales como la acidez, el conteo microbiano, la humedad, el pH y el porcentaje de grasa, entre otras, las cuales se pueden realizar ya sea por medio de métodos cortos o estándares. En particular la acidez se puede considerar como la determinante más importante, por el rol que juega en la estabilidad de la cajeta y en la cantidad de neutralizante a adicionar.

Filtración de la leche para eliminar cuerpos extraños e impurezas (pelos, basura). Esta operación puede realizarse durante el vertido de la leche, o cuando la leche se bombea/transporta hacia la siguiente operación, o bien en ambas oportunidades.

Calentamiento y evaporación. La leche se va calentando lentamente y se le agrega el bicarbonato de sodio (previamente disuelto en un volumen determinado de leche), hasta ~ 93°C (en Puebla, México), se alcanza el punto de ebullición (la cual depende de la presión at-

mosférica existente en el sitio de elaboración), después de cierto tiempo (alrededor de 10 min), se agrega el azúcar lentamente, evitando la formación de “costra”, como consecuencia de un sobrecalentamiento o de una agitación y mezclado inadecuados. La costra es el material que resulta por el sobrecalentado, quemado o adherido de la leche, a la superficie del equipo calentador, y que actuará como resistencia adicional o aislante, reduciendo la penetración del calor al interior del tanque, recipiente o marmita. Después de que el azúcar se disuelve perfectamente, se agrega la glucosa lentamente. Es muy importante que en este proceso de “cocimiento” a 100°C (a nivel del mar), la agitación sea constante en el tanque con chaqueta de vapor. Durante esta etapa todos los aspectos de una buena transferencia de calor, se deben cuidar y cumplir, ya que es de fundamental importancia para controlar las características de la cajeta que se esté elaborando; de excederse el proceso de concentración, la calidad del producto no será la mejor, aparte de que los rendimientos se reducen. En caso contrario, la falta de calentamiento o concentración contribuye a generar un producto diluido o fluido, sin la consistencia deseada. Además, al agitar la mezcla se favorece el proceso de convección térmica y por ende la evaporación y concentración de la leche o mezcla de leches.

El control del proceso se puede realizar teniendo en cuenta el tiempo de calentamiento o de evaporación con base a la cantidad de agua evaporada, o bien por determinación del nivel de sólidos solubles con un brixómetro (medidor de sólidos solubles o grados Brix) o refractómetro (medidor del índice de refracción), determinación de humedad con alguna balanza especializada, o por determinación de propiedades como la viscosidad con un viscosímetro o reómetro, o bien por la determinación de la densidad con densímetros específicos. Existen algunas pruebas empíricas, por ejemplo, una de ellas consiste en dejar caer una gota de la cajeta/mezcla en un vaso con agua para ver si llega al fondo sin disolverse, si la gota llega integra al fondo indica que se debe retirar el calentamiento, y si la gota no lo hace, entonces el calentamiento debe continuar unos minutos más. Se recomienda, como una práctica de la experiencia, dejar hervir la mezcla hasta que se reduzca a la tercera parte del volumen original; a partir de ese momento se debe realizar la adición de la leche restante, calentada previamente. Teóricamente la cajeta estará lista cuando se

alcancen 76-78°Bx, aunque eso depende del tipo de cajeta que se está elaborando y las particularidades de la empresa que la elabora. Las dos características más importantes y que se desarrollan en esta etapa son el desarrollo de la consistencia o textura y el color. El color en particular, es el resultado de tres tipos de reacción, la de Maillard, la de caramelización y las de oxidación [Greppi *et al.*, 2008; Park y Haenlein, 2010; SAGARPA, 2011; Vélez-Ruiz, 2017].

Terminada la concentración se interrumpe el calentamiento y se continúa agitando el dulce o mezcla líquida, cuyo comportamiento al flujo como material de carácter *newtoniano* o no *newtoniano* va a depender de la temperatura y de la concentración de sólidos; posteriormente se lleva a cabo un enfriamiento hasta que llegar a 60°C. De esta manera se deja salir el vapor de la mezcla, lo que permite la uniformidad característica y evita la apariencia de cortado. El tiempo total de esta etapa, citada comúnmente como *cocción* o *cocimiento*, oscila entre 2 y 3 horas. Se recomienda realizar un tamizado del dulce o mezcla caliente, haciéndolo pasar a través de una tela metálica, para separar los grumos que puedan haberse formado durante la cocción. Por último, se adicionan el sabor, color, alcohol o vainilla.

Después del tratamiento térmico, se transporta el producto al área de *envasado*. Las operaciones de llenado o envasado también tienen características particulares, dependiendo del tipo de cajeta y la compañía o empresa que la produce, ya sea un envasado tradicional con o sin tratamiento térmico final o un envasado aséptico que asegura la esterilidad de los envases; en el proceso tradicional, se envasa la cajeta en frascos de vidrio, con tapa de hojalata en condiciones de vacío. Se transporta la cajeta hacia el área de reposo, para que el producto se enfríe.

Posteriormente el producto se transporta al área de *etiquetado* y *empaquetado*, donde se etiqueta el producto lácteo con ayuda de una máquina etiquetadora e inmediatamente los envases se van depositando en cajas, para realizar el transporte de las cajas al almacén.

Durante su almacenamiento en planta y antes de que se liberen los lotes de cajeta, se llevan a cabo tanto pruebas fisicoquímicas como microbiológicas de calidad, en la cajeta y en el envase [Vélez-Ruiz, 2017].

4 Desarrollo de productos análogos a la cajeta

Probablemente existe un numeroso grupo de estudios relacionados con la cajeta, sin embargo, hay pocos trabajos reportados en revistas científicas. Los estudios realizados, por sentido común, han estado orientados a analizar alguno de los siguientes aspectos: i) sustitución parcial o total de la leche de cabra, empleando mezclas de leche, según la zona/región de México, o el empleo de leche de vaca como materia prima; ii) la sustitución de ingredientes como el azúcar y la glucosa, debido a que la cajeta es un alimento muy calórico, ya sea por medio de edulcorantes, otros carbohidratos o con alimentos naturales como la miel; adicionalmente iii) se han investigado los efectos de cambiar las condiciones del proceso o la incorporación de otros ingredientes, que contribuyen al color del producto. A continuación, se presentan las ideas centrales de los pocos trabajos que han sido reportados y a los cuales pude acceder.

Se desarrolló un trabajo por García [1999] en donde se elaboró cajeta con leche de vaca, estudiando tres diferentes niveles de acidez inicial (11, 13 y 15 grados Dornic, °D), y evaporando a tres concentraciones (65, 70 y 75°Bx), para evaluar la textura y el color de los productos desarrollados y del testigo (cajeta comercial). Se determinó la dureza y la adhesividad mediante un análisis de perfil de textura, así como los parámetros de color L*, a* y b* (ver capítulo 9); del análisis de resultados y comparación de valores, el autor concluyó que la cajeta preparada con *una acidez inicial de 11°D y una concentración de sólidos solubles de 70°Bx, se consideró como la mejor combinación* de variables de estudio para elaborar cajeta con leche de vaca, que fue la más análoga a la cajeta comercial.

En otro estudio reportado por Flores *et al.* [2008], se desarrolló una cajeta baja en carbohidratos, a la cual se adicionó un conservador para alcanzar una vida de anaquel de 9 a 12 meses. Se utilizaron dos formulaciones, que fueron seleccionadas por los autores con base a las mejores propiedades organolépticas; la cajeta “14” elaborada con base en fructuosa, glucosa y miel de maíz y la cajeta “16” elaborada con base en de fructuosa y miel de maíz, con actividades de

agua controladas de 0.81 en la primera y 0.82 en la segunda, con un contenido de carbohidratos totales de 165.78 g y 157.56 g respectivamente, en 290 g de producto.

La preparación de las muestras de cajeta, se realizó siguiendo el procesamiento tradicional, agregando los azúcares y la miel por separado, y cuidando la buena distribución de los ingredientes y su homogenización por medio de una agitación constante. Como una parte importante del trabajo, se probaron tres conservadores (ácido cítrico, sorbato de potasio y benzoato de sodio), los cuales se adicionaron en diferentes concentraciones; *el benzoato de sodio resultó como mejor conservador para la cajeta baja en carbohidratos*. Se realizaron determinaciones de actividad de agua ($A_w > 0.57$), color, conteo microbiano, humedad y pH (4-5.5) de la cajeta, buscando correlacionar la A_w y el contenido de humedad con en el desarrollo de microorganismos a lo largo del estudio. Adicionalmente, se evaluó la aceptación sensorial de las muestras elaboradas, durante 23 días [Flores *et al.*, 2008].

Ortiz y Silva [2006] llevaron a cabo un trabajo de investigación, desarrollando una *cajeta reducida en calorías elaborada con miel de agave y diferentes concentraciones de fructosa*, como una respuesta a la preocupación que existe en materia de salud pública la obesidad en la población. En este caso utilizaron la determinación de la viscosidad (7216-40400 cP) y el nivel de agrado (escala hedónica en porcentaje, 30-65%) como criterios de decisión o parámetros fundamentales. También realizaron conteos microbianos y determinaciones de cenizas, grasa, humedad y proteínas, por medio de métodos de referencia (normas técnicas), y calculando los carbohidratos por diferencia. La industria alimentaria se ha preocupado por ofrecer productos menos calóricos o *light*, que son productos modificados en su composición de tal manera que su contenido de grasa sea menor y/o reducidos en calorías.

En este trabajo, se realizaron varias pruebas preliminares y se seleccionaron las concentraciones de 3 y 6% de fructosa y 10% de miel de agave, para lo cual generaron formulaciones de cajeta con una buena apariencia, sabor, color y olor característicos, así como una

consistencia deseada. Para la medición de la viscosidad se utilizó un viscosímetro Brookfield modelo DVI+ (el cual se operó a 100 rpm durante 30 seg), se utilizó la aguja número 7 y la temperatura se mantuvo entre 24 y 26°C; por lo que la viscosidad experimental representa una viscosidad aparente o bien una viscosidad puntual. Con los resultados de composición, *lograron decrecer el nivel calórico de 358 a 263 kcal/100 g con la formulación de cajeta con 6% de fructosa*. Sin embargo, la viscosidad de las cajetas elaboradas con fructosa fue significativamente menor que la tradicional. Se alcanzaron excelentes condiciones microbiológicas, por lo que se garantizó una vida de anaquel equivalente al de la cajeta tradicional [Ortiz y Silva, 2006].

Más recientemente Vera-López *et al.* [2017], desarrollaron una cajeta o dulce de leche, con el objetivo de formular un postre para personas diabéticas y obesas, bajo en calorías/azúcares. Emplearon leche descremada, adicionada con inulina (20 y 25%), edulcorante (stevia) y colorantes vegetales, realizando el calentamiento y concentración a 70°C. Al producto obtenido se le analizaron las composiciones química y microbiología, así como una evaluación sensorial con panelistas no entrenados; además se determinó el índice glicémico. Con base a los resultados obtenidos, concluyeron que se *desarrolló un producto (20% de inulina, 26% de humedad, entre otros componentes) con buena aceptación sensorial*, que no mostró diferencias significativas con respecto a una cajeta comercial, en cuanto a la apariencia, el color, el olor y sabor, así como la textura. Reportaron un bajo índice glicémico (19.56) y una calidad microbiológica satisfactoria, para lograr una vida de anaquel de tres meses.

5 Utilización de cajeta y desarrollo de alimentos

El uso de la cajeta es muy amplio, si bien tradicionalmente se consume en forma directa, este producto lácteo puede ser empleado de una manera muy variada, ya sea como complemento de cualquier postre o fruta, como ingrediente en la elaboración de helados, panes, rellenos de panes y pasteles, o simplemente adicionada a *hot cakes* y *waffles*, entre otros.

Reconociendo las propiedades viscoelásticas de este producto, su buen valor nutricional, su elevado aporte energético y sobre todo, sus características organolépticas tan atractivas, así como la limitante calórica en sus consumo para cierto grupo de personas. Se pensó en realizar estudios formales, relacionados con la *incorporación de cajeta en otros alimentos*, contribuyendo a la innovación o desarrollo de nuevos alimentos, por lo que *se seleccionaron las bebidas y los postres lácteos* como elementos de complemento [Ramírez-Sucre, 2009; Ramírez-Sucre *et al.*, 2014; Ramírez-Sucre y Vélez-Ruiz, 2009]. A continuación, se presentan las características e ideas fundamentales de tres estudios científicos, uno con una bebida láctea, otro con yogur como bebida fermentada y el tercero, con una natilla, en el que la incorporación de cajeta en diferentes niveles, contribuyó a generar tres nuevos productos con propiedades muy particulares.

Con el objetivo de diversificar los sabores existentes en bebidas lácteas no fermentadas y de modificar sus propiedades fisicoquímicas y de flujo, Ramírez-Sucre y Vélez-Ruiz [2011], formularon y analizaron una *bebida láctea sabor cajeta*. Se prepararon las bebidas de acuerdo a un diseño experimental de tipo Box Behnken (BB), con tres variables de estudio, tipo de leche (o cantidad de grasa: 0.18, 1.67 y 3.16% p/p), nivel de cajeta (o de *flavor*: 8, 10 y 12% p/p) y concentración de goma carragenina (0, 0.02 y 0.04% p/p). Las quince bebidas preparadas o sistemas, indicados por el tipo de diseño experimental BB, que mostraron variaciones como consecuencia de la formulación y que fueron analizados durante tres semanas de almacenamiento, determinando propiedades como la acidez (1.44-1.7 g/L), el color (parámetros a, b y L), la densidad (1049-1089 kg/m³), las propiedades de flujo, la humedad (82.4-88.4%) y el pH (6.36-

6.52). La densidad y la humedad de las bebidas se mantuvieron estables durante el almacenamiento en contraste a la acidez, el color, el pH y las propiedades de flujo. El cambio neto de color como parámetro global, mostró el siguiente rango de valores, de 1.14 a 2.83, lo que expresó la estabilidad de color de las bebidas de cajeta.

La leche saborizada mostró una naturaleza no newtoniana, con presencia de un esfuerzo de cedencia bajo, por lo que se ajustó al modelo de Herschel y Bulkley, correspondiendo a la goma utilizada un efecto significativo en la respuesta al flujo. El índice de comportamiento al flujo (n) mostró un incremento con respecto al tiempo de almacenamiento en 11 de las 15 bebidas; respuesta contraria, se registró para el coeficiente de consistencia (K) en 8 de 15 y para el esfuerzo de cedencia (t_0) en 10 de 15 sistemas, respectivamente. Y como relaciones prácticas se generaron los diagramas y las ecuaciones correspondientes por la metodología de superficie de respuesta, para expresar las propiedades de flujo en función de las variables estudiadas, las cuales se expresan enseguida [Ramírez-Sucre y Vélez-Ruiz, 2011]:

$$n = 0.9537 - 11.7003 B - 0.0035 D + 84.2857 B^2 + 0.1445 B D \quad (R^2 = 0.75) \quad (1)$$

$$K = 41.4 - 5.1 A + 1485.9 B + 24.2 C - 3.7 D + 20265.7 B^2 - 6.2 C^2 + 0.4 A D \quad (R^2 = 0.88) \quad (2)$$

$$t_0 = -113 + 13 A - 2753 B - 10 C + 12 D + 135559 B^2 - 1 A D + 1552 B C \quad (R^2 = 0.89) \quad (3)$$

Donde: n es el índice de flujo (adimensional), K es el coeficiente de consistencia (mPa s^n), t_0 es el esfuerzo de cedencia (mPa), A es el contenido de cajeta (8, 10 o 12% p/p), B es el contenido de carragenina (0, 0.02 o 0.04% p/p), C es contenido de grasa (0.18, 1.67 y 3.16% p/p) y D es el tiempo de almacenamiento (días, particularmente 1, 8, 15 o 22).

Por otro lado, la evaluación sensorial indicó que las bebidas, como se esperaba, fueron bien aceptadas, con niveles de aceptación en una escala hedónica (1-10) de 6.2-7.5 para el *flavor*, de 6.4-7.9 para la aceptabilidad global, de 6.4-7.8 para la consistencia y de 6.9-8.0 para el color, que fueron resultados de aceptabilidad directamente relacionados al nivel de

cajeta presente en la formulación de la bebida sabor cajeta [Ramírez-Sucre y Vélez-Ruiz, 2011].

Ramírez-Sucre y Vélez-Ruiz [2013] continuaron analizando la influencia de la cajeta como ingrediente en los productos lácteos, por lo que desarrollaron y analizaron *su incorporación en un yogur bebible*. En este estudio, se siguió un diseño experimental factorial semejante al utilizado en la bebida saborizada con cajeta, con tres niveles de grasa (0.2, 1.7 y 3.6% p/p), ausencia o presencia de carragenina (0.2% p/p) y concentración de cajeta (10.0, 12.5 y 15.0% p/p). Se prepararon, siguiendo un diseño factorial (3 x 2 x 3), 18 sistemas de yogur con cajeta y un control con 3.2% de grasa, sin goma y sin cajeta, realizando los análisis fisicoquímicos (acidez, color, humedad, pH, sinéresis y sólidos solubles) y reológicos a lo largo de cuatro semanas de almacenamiento; estas cambiaron en función tanto de la formulación como del almacenamiento. La acidez del yogur fresco fue de 0.45-0.63 g/100 g de yogur, mientras que la luminosidad fue > 68, en un rango de humedad de 80.6 a 84.8%, con un pH entre 4.5 y 4.9, una sinéresis > 48% y con una gama de 12.5-20.4% de sólidos solubles. Aunque la respuesta del comportamiento no *newtoniano* fue bien ajustada al modelo de Herschel y Bulkley, en esta bebida fermentada, la grasa se constituyó en el factor crítico en su flujo, aumentando el esfuerzo de cedencia y el coeficiente de consistencia. Similarmente a la bebida con sabor a cajeta, se registró un aumento en el coeficiente de consistencia y en el esfuerzo de cedencia con el tiempo de almacenamiento, y un decremento en el índice de flujo. Por otro lado, las pruebas dinámicas mostraron la estructura de gel débil de este producto lácteo, el módulo viscoso (G'') resultó superior al módulo de elasticidad (G').

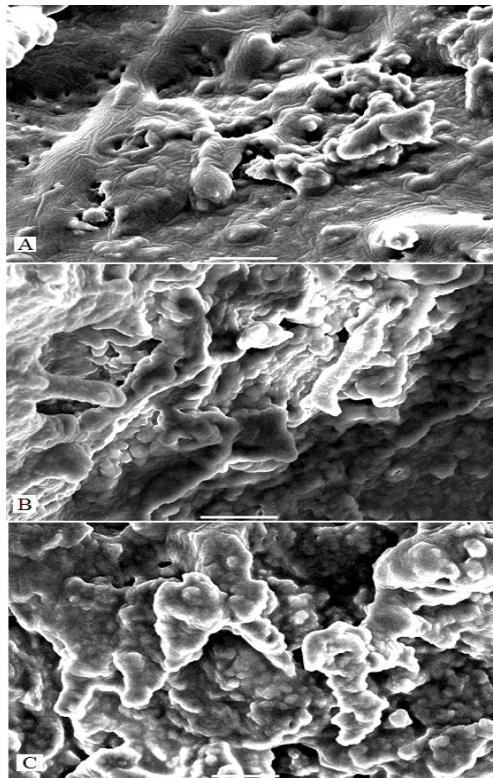
Se llevaron a cabo observaciones microscópicas de algunos sistemas de yogur con cajeta en un microscopio electrónico, observando que la microestructura del yogur consistió de una red tridimensional de agregados de micelas de caseína con una forma globular con espacios huecos donde está inmerso el suero. Algunos de los detalles de esta bebida fermentada con sabor a cajeta, se pueden apreciar en la Figura 3.

Se aprecia que el aumento de cajeta contribuye a una red estructural con mayor número de agregados (Fig. 3C), la Fig. 3B resulta ser una red tridimensional intermedia, entre la Fig 3A con bajo contenido

de grasa y la 3C que posee los niveles altos tanto de grasa como de cajeta [Ramírez-Sucre y Vélez-Ruiz, 2013].

Mientras que la bebida saborizada y el yogur agitado con cajeta, son dos productos lácteos de naturaleza líquida o semilíquida, una natilla es un producto lácteo de carácter sólido o semisólido; por lo que Ramírez-Sucre y Vélez-Ruiz [2014] completaron otra investigación, formulando *natillas sabor cajeta*. Se siguió un esquema semejante para conocer el efecto de la formulación y el tiempo de almacenamiento en las propiedades de la natilla.

Figura 3. Microestructura del yogur con diferentes concentraciones de cajeta y grasa, sin goma: (A) yogur con 0.2% de grasa y 15% de cajeta, (B) yogur con 3.2% de grasa y 10% de cajeta, (C), yogur con 3.2% de grasa y 15% de cajeta. La barra de escala denota 50 μm de longitud (350X).



El diseño experimental incluyó tres factores, cada uno con tres niveles, la concentración de almidón de maíz (3, 4, 5% p/p), de cajeta (8, 9, 10 % p/p) y de proteína de suero (4, 5, 6% p/p). El efecto de cada variable de estudio fue diferente y particular sobre las propiedades de flujo y fisicoquímicas. La acidez y la humedad resultaron influenciadas por la formulación, la acidez aumentó con la proteína y la cajeta, la luminosidad disminuyó con la cajeta, mientras que la sinéresis disminuyó con el almidón y la cajeta. Por otro lado, la humedad se mantuvo estable (75-86% en las muestras frescas, 76-85% en las muestras almacenadas tres semanas), mientras que el pH (6.45-6.84 en las muestras frescas, 6.39-6.81 en las muestras almacenadas tres semanas) y la luminosidad decrecieron, a diferencia de la acidez (0.18-0.23 g/L en las muestras frescas, 0.14-0.22 g/L en las muestras almacenadas tres semanas), grado de amarillo y de rojo que aumentaron con respecto al almacenamiento.

Análogamente a los otros dos fluidos lácteos (bebida y yogur sabor cajeta) el comportamiento no *newtoniano* se hizo patente en la *tixotropía de las natillas*; se cuantificó el área bajo la curva y se ajustó a dos modelos, el de Herschel y Bulkley para la curva de flujo ascendente (índice de flujo: 0.19-0.66, coeficiente de consistencia: 8-247.9 Pa·sⁿ y esfuerzo de cedencia: 9-126 Pa, para las propiedades de flujo de las natillas frescas) y el de plástico de Bingham para la curva de flujo descendente (esfuerzo de cedencia: 0.4-93.3 Pa y viscosidad plástica: 1.5-25.1 Pa·s, para las propiedades de flujo de las natillas frescas). La consistencia de las natillas aumentó con la incorporación de mayor concentración de componentes y disminuyó durante el almacenamiento, como resultado de los cambios estructurales del gel [Ramírez-Sucre y Vélez-Ruiz, 2014].

6 Comentarios Finales

En este capítulo queda manifiesta la situación existente entre la producción industrial y el conocimiento científico de un producto lácteo como es la cajeta; por un lado, la industria ha desarrollado lo necesario y sigue innovando este producto para producir un alimento de gran aceptabilidad y consumo; y por otro la investigación científica, que ha realizado pocos estudios técnicos y cuya difusión es limitada. Una innovación reciente, que a mi juicio es de enorme utilidad lo constituye la cajeta fluida o *squeezable*, que ha venido a resolver una problemática de consumo de la cajeta, ya que su dureza o gran viscosidad representaba una restricción muy grande para el consumo e incorporación de este producto lácteo en otros alimentos. Sin embargo, hay muy poca información científica publicada al respecto.

Esta situación en la cajeta y otros alimentos, representa la prevalencia de los valores materiales y la escasez de los valores científicos; existe por lo tanto mucho camino por recorrer para los jóvenes interesados en la Ciencia de los Alimentos, y también mucha experimentación científica por completar y que necesariamente deberá ser publicada en documentos formales, ya sea como artículos en revistas científicas o como información ilustrativa en libros técnicos especializados, para el conocimiento de la gente interesada.

Referencias bibliográficas

- CHANDAN, R.C. History and consumption trends. En: CHANDAN, *et al.* *Manufacturing yogurt and fermented milks*. Oxford, Inglaterra.: Blackwell Publishing Ltd., 2006, p. 3-16.
- DELGADO, M. Y GUTIÉRREZ, V. Un mercado para la cajeta mexicana. Tesis de Tesina de Licenciatura en Ingeniería Industrial. México, D.F., México: Instituto Politécnico Nacional, 2010.
- DGN. Alimentos para uso humano. Alimentos regionales. Cajeta de leche. En: *Normas Mexicanas*. Bogota, Colombia Dirección general de normas, 1985, vol. Norma Mexicana NMX-F-480-1985.
- FLORES, M.R., AGUILAR, M.J., MÉNDEZ, M.C., ELTON, E., OROZCO, E., RODRÍGUEZ, I. Y OLMOS, J.L. *Elaboración de una cajeta baja en carbohidratos (utilizando diferentes conservadores)*. Estudio Interno. Querétaro, México: Universidad Autónoma de Querétaro, 2008.
- GARCÍA, R. Evaluación de las características de textura y color en cajeta de leche de vaca. Tesis de Licenciatura en Ingeniero Industrial. Chapingo, México: Universidad Autónoma de Chapingo, Ingeniería Agroindustrial, 1999.
- GREPPI, G.F., RONCADA, P. Y FORTIN, R. Protein components of goat's milk. En: CANNAS, PULINA Y FRANCESCONI. *Dairy Goats Feeding and Nutrition*. CABI, 2008, p. 71-94.
- HAENLEIN, G.F.W. Goat milk in human nutrition. *Small Ruminant Research*, 2004, vol. 51, no. 2, p. 155-163.
- IDEAL *Elaboración de Cajeta*. Boletín Técnico. México: Ingeniería y Desarrollo Alimentario, 2013.

INAES *Guía Empresarial. Estudio de Mercado de Cajeta*. México: Instituto Nacional de la Economía Social. Gobierno de México, 2007. 193 p.

JANDAL, J.M. Comparative aspects of goat and sheep milk. *Small Ruminant Research*, 1996, vol. 22, no. 2, p. 177-185.

LUCAS, A., ROCK, E., CHAMBA, J.-F., VERDIER-METZ, I., BRACHET, P. Y COULON, J.-B. Respective effects of milk composition and the cheese-making process on cheese compositional variability in components of nutritional interest. *Le Lait*, 2006, vol. 86, no. 1, p. 21-41.

ORTIZ, T.B. Y SILVA, J.M. Evaluación de la viscosidad y nivel de agrado de cajeta reducida en calorías elaborada con miel de agave y diferentes concentraciones de fructosa. Tesis de Licenciatura en Ingeniero Químico en Alimentos. Gómez Palacio, Dgo. México: Universidad Juárez del estado de Durango, 2006.

PARK, Y.W. Y HAENLEIN, G.F.W. Milk production. En: SOLAIMAN. *Goat science and production*. Ames, Iowa, E.U.: Wiley-Blackwell, 2010, p. 275-292.

PARK, Y.W., JUÁREZ, M., RAMOS, M. Y HAENLEIN, G.F.W. Physico-chemical characteristics of goat and sheep milk. *Small ruminant research*, 2007, vol. 68, no. 1, p. 88-113.

RAMÍREZ-LÓPEZ, C. Y VÉLEZ-RUIZ, J.F. Caracterización fisicoquímica, textural, reológica y sensorial de quesos tipo Panela elaborados con mezclas de leche de cabra y vaca. En: *CIBIA 9 P-91, Noveno Congreso Iberoamericano de Ingeniería de Alimentos*, Valencia, España, 13 al 16 Enero, 2014.

RAMÍREZ-LÓPEZ, C. Y VÉLEZ-RUIZ, J.F. Aislamiento, caracterización y selección de bacterias lácticas autóctonas de leche

y queso fresco artesanal de cabra. *Revista Información Tecnológica*, 2016, vol. 27, no. 6), p. 115-128.

RAMÍREZ-SUCRE, M.O. Efecto de la Concentración de Distintos Ingredientes en las Propiedades Fisicoquímicas, Reológicas y Sensoriales de Productos Lácteos y Lácteos Simulados. Tesis Doctoral. Cholula, Puebla. México: Universidad de las Américas Puebla, 2009.

RAMÍREZ-SUCRE, M.O., TÁRREGA, A., COSTELL, E. Y VÉLEZ-RUIZ, J.F. Dessert models: Effect of calcium chloride on the rheological and sensory properties of pea protein/k-carrageenan systems. *European International Journal of Science and Technology*, 2014, vol. 3, no. 4, p. 69-86.

RAMÍREZ-SUCRE, M.O. Y VÉLEZ-RUIZ, J.F. Efecto de la incorporación de estabilizantes en la viscosidad de bebidas lácteas no fermentadas. *Revista Temas Selectos de Ingeniería en Alimentos*. Universidad de las Américas, Puebla, 2009, vol. 3, no. 2, p. 4-13.

RAMÍREZ-SUCRE, M.O. Y VÉLEZ-RUIZ, J.F. The physicochemical and rheological properties of a milk drink flavoured with cajeta, a Mexican caramel jam. *International Journal of Dairy Technology*, 2011, vol. 64, no. 2, p. 294-304. 10.1111/j.1471-0307.2010.00657.x

RAMÍREZ-SUCRE, M.O. Y VÉLEZ-RUIZ, J.F. Physicochemical, rheological and stability characterization of a caramel flavored yogurt. *LWT - Food Science and Technology*, 2013, vol. 51, no. 1, p. 233-241. 10.1016/j.lwt.2012.09.014

RAMÍREZ-SUCRE, M.O. Y VÉLEZ-RUIZ, J.F. Effect of formulation and storage on physicochemical and flow properties of custard flavored with caramel jam. *Journal of Food Engineering*, 2014, vol. 142, p. 221-227. 10.1016/j.jfoodeng.2014.06.013

- RAYNAL-LJUTOVAC, K., LAGRIFFOUL, G., PACCARD, P., GUILLET, I. Y CHILLIARD, Y. Composition of goat and sheep milk products: An update. *Small Ruminant Research*, 2008, vol. 79, no. 1, p. 57-72. 10.1016/j.smallrumres.2008.07.009
- SAGARPA *Técnicas para la transformación de leche de cabra en zonas marginales*. Zacatecas, Zacatecas, México: Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, 2011. 176 p.
- SILANIKOVE, N., LEITNER, G., MERIN, U. Y PROSSER, C.G. Recent advances in exploiting goat's milk: Quality, safety and production aspects. *Small Ruminant Research*, 2010, vol. 89, no. 2-3, p. 110-124. 10.1016/j.smallrumres.2009.12.033
- VÉLEZ-RUIZ, J.F. *Apuntes de Tecnología de Alimentos de Origen Animal (Lácteos)*. Cholula, Puebla, México: Universidad de las Américas Puebla, Inéditos, 2017.
- VERA-LÓPEZ, O., ÁVILA-SOSA, R., MORENO-HERNÁNDEZ, M.A., LAZCANO-HERNÁNDEZ, M.A., PÉREZ-FERNÁNDEZ, S., AGUILAR ALONSO, P. Y NAVARRO-CRUZ, A.R. Desarrollo de un postre lácteo (tipo cajeta) sin azúcar añadido y bajo índice glicémico. *Revista Alimentos Hoy*, 2017, vol. 25, no. 42, p. 18-29.

MANJAR BLANCO DEL VALLE

Juan Sebastián Ramírez-Navas
<https://orcid.org/0000-0002-6731-2784>

Diego Fabián Novoa
<https://orcid.org/0000-0002-6370-9186>

1 Introducción

El Manjar Blanco del Valle es un postre lácteo obtenido de la concentración de una mezcla de azúcar blanca de caña y leche de vaca, con adición de harina, principalmente de arroz [ICONTEC, 2008]. Es un producto reconocido como una insignia gastronómica en el Valle del Cauca, y su producción mayoritariamente artesanal, ocupa un renglón importante en la economía de sus habitantes.

En Colombia se cultiva la caña de azúcar en la región del Valle del río Cauca, departamentos del Cauca, Valle del Cauca y Risaralda. En promedio se muelen 20 millones de toneladas anualmente [Asocaña, 2018]. Debido a las condiciones ambientales de esta zona geográfica el cultivo se realiza durante todo el año y no de forma estacional o zafra como en el resto del mundo, convirtiendo al Valle del Cauca en una de las mejores regiones cañeras del planeta.

Los departamentos de Valle del Cauca, Cauca, Nariño y Putumayo producen el 9% de la leche de ganado vacuno [Analc, 2010]; en algunas regiones del país se producen pequeños volúmenes de leche de cabra y otras especies, sin embargo, la industrialización y comer-

cialización de lácteos se enfoca especialmente en la leche de vaca [Ramírez-Navas, 2010c]. Según la Federación de Ganaderos (Fedegan) en 2008, en Colombia, se produjeron 6500 millones de litros de leche, de los cuales la industria procesó alrededor de 3000 millones (46% del total), mientras que lo restante se dividió entre el consumo en finca, la venta informal y la elaboración artesanal de derivados lácteos. El procesamiento industrial de la leche se caracteriza por ser totalmente privado, con una alta cuota de inversión extranjera. En la actualidad, cinco compañías procesan alrededor del 65% del acopio formal de leche [Fedegan, 2010].

2 Historia

En el segundo viaje de Cristóbal Colón, los españoles introducen la caña de azúcar al continente americano [Ortiz, 1973]. Beneficio que se materializa culturalmente en preparaciones culinarias. En Colombia la variedad de productos tradicionales se debe a la fusión de tres fuentes culinarias: indígena, española y africana, cada una de las cuales aporta productos, sistemas de cocción y sazónadores [Estrada, 1987].

Cuenta el antropólogo e historiador de cocina vallecaucana Germán Patiño en su libro *Fogón de Negros*, que el manjar blanco llegó a la región del Valle del Cauca durante la época de la esclavitud, proveniente de las costumbres culinarias españolas, que, a su vez, según el autor, había sido adquirida de los árabes durante sus viajes de intercambios comerciales [Patiño O., 2007].

Originalmente, leche de almendras y azúcar eran los ingredientes que se mezclaban y concentraban lentamente al fuego hasta alcanzar una consistencia gruesa que llamaron manjar blanco [Patiño O., 2007].

En la región más azucarera de Colombia, el Valle del Cauca, se produjo el dulce de leche, que allí se llamó manjar blanco [Estrada, 1987]. Las matronas españolas, durante la colonia, enseñaron la receta a sus esclavas, pero como la leche de almendras era muy costosa y escasa, fue reemplazada por leche de res, que abundaba en la zona. Preparar el manjar con adición de arroz remojado previamente en

agua o en leche fue idea de las cocineras negras quienes ya habían cultivado el cereal en tierras africanas. Amos y esclavos se confundían en el disfrute de esta dulce tradición que aliviaba un poco el trabajo tan duro al que eran sometidos los negros. Seis o más horas tomaba la preparación del manjar, el cual se hacía en una paila de cobre, ideada por los europeos quienes conocían la excelente capacidad de transmisión de calor de este metal [Patiño O., 2007]. Así confeccionaron una receta similar a la del manjar blanco proveniente de España, sirviéndose de los accesorios de cocina criollos; de modo que totumos, cagüingas y mecedores permitieron llegar al punto de la actual receta [Estrada, 1987].

En Colombia, se fortaleció el consumo de este producto en las haciendas vallecaucanas y prontamente otras regiones lo adoptaron y adaptaron a su entorno. Era tradicional en las reuniones y fiestas, se puede decir que la celebración giraba en torno a su preparación [Patiño O., 2007]. Actualmente en el mes de diciembre las empresas productoras de Manjar Blanco del Valle doblan sus esfuerzos puesto que su consumo hace parte de las tradicionales delicias navideñas en el Valle del Cauca e incluso en otras regiones de Colombia.

3 Descripción y composición

La Norma Técnica Colombiana, (NTC-3757, 2008), define al manjar blanco como el producto higienizado obtenido por la concentración térmica de una mezcla de leche, sacarosa u otros edulcorantes y aditivos permitidos por la legislación nacional vigente, con el agregado de harina o almidones [ICONTEC, 2008]. El manjar blanco propio de la región del Valle del Cauca es preparado con harina de arroz o almidón de maíz. Tiene alrededor de 65 °Brix de concentración y un color pardo opaco como resultado de las reacciones de Maillard. Además de ser un producto de agradable sabor y palatabilidad, el manjar blanco es otra forma de conservación de la leche [Neira Bermúdez y López Torres, 2010]. De acuerdo a la normatividad vigente, el periodo de vida útil para este producto presentado en envase no hermético es de 60 a 90 días presetado en envase hermético [ICONTEC, 2008; MinSalud, 1986].

En su mayor parte, la producción de manjar blanco se realiza de manera artesanal. La producción industrial está a cargo de empresas tradicionales que han crecido gracias a la comercialización y a la diversificación de este tipo de productos autóctonos, así como de grandes compañías nacionales pasteurizadoras de leche que han incluido dentro de su portafolio de productos el manjar blanco. La preparación casera se efectúa disponiendo las materias primas en un recipiente al fuego y agitando constantemente con una paleta de madera. A escala industrial se emplean marmitas con agitadores automáticos y en algunos casos evaporadores a vacío. Una vez alcanzada la concentración final, el producto se envasa en cáscaras de totumo¹ previamente higienizadas, las cuales se recubren con papel plástico; también se envasa en recipientes de polietileno en diferentes tamaños y con tapa del mismo material. El producto se almacena y comercializa en condiciones de temperatura y humedad ambientales.

4 Tecnología del manjar blanco

4.1 Materias primas e ingredientes

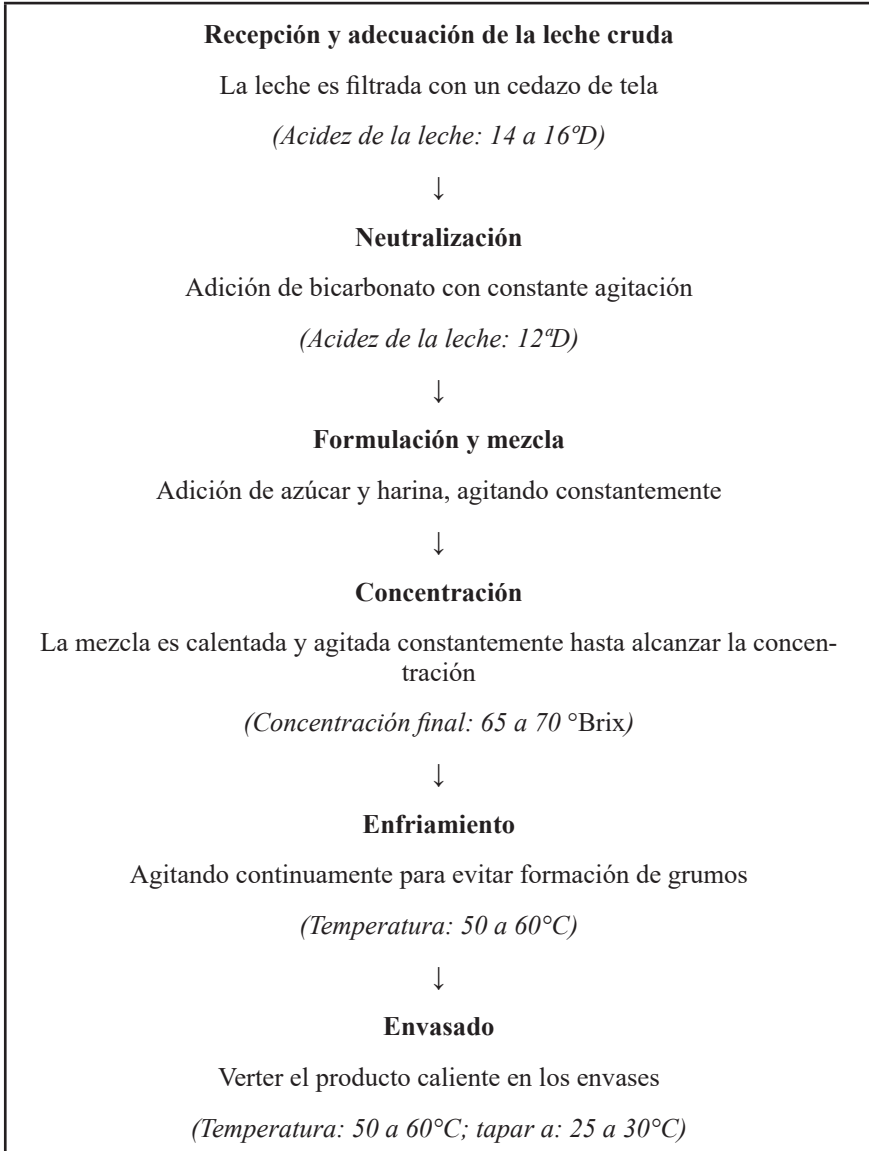
Como materias primas para la elaboración del manjar blanco se utiliza leche de vaca entera líquida, azúcar blanco y harina de arroz o en su defecto almidón de maíz para dar la consistencia final al producto. Para neutralizar la acidez inicial de la leche y la generada en el proceso se utiliza bicarbonato de sodio.

4.2 Proceso artesanal de elaboración

En la Figura 1 se muestra el proceso de elaboración de Manjar Blanco del Valle.

¹ El Totumo (*Crescentia cujete L*) es un árbol pequeño, originario del trópico americano, resistente a las sequías y de gran longevidad. Sus ramas son largas y extendidas y su raíz es profunda. El árbol es cultivado como ornamental por su fruto y su follaje. Su fruto tiene un tamaño que oscila entre los 15 y los 25 centímetros de diámetro y está lleno de unas pequeñas semillas elipsoides. La pulpa es utilizada en medicina popular como laxante, emoliente, febrífugo y expectorante. El fruto seco y vacío, muy liviano y resistente, sirve como utensilio casero, para la confección de bellas artesanías, o como recipiente artesanal (mates) para el manjar blanco

Figura 1. *Proceso de elaboración de Manjar Blanco del Valle.*



4.2.1 Filtración

La primera etapa del proceso debe su importancia a la necesidad de retirar partículas y contaminantes físicos adquiridos durante la fase de ordeño y acopio; es importante aclarar que la materia prima utilizada es leche cruda, sin ningún tratamiento previo.

4.2.2 Neutralización

Es la etapa de adición de bicarbonato de sodio en una proporción estequiométrica que depende de la acidez inicial de la leche [ICTA, 1993]. La leche deberá neutralizarse hasta 13°D para que durante el procesamiento esta acidez aumente entre 20 y 25°D. Este paso se lleva a cabo para evitar la coagulación de la caseína por la concentración de ácido láctico, y el descenso del pH por debajo de 4.7, a medida que se evapora el agua de la leche. Esta adición no comunica gusto desagradable al producto final, siempre y cuando se haga correctamente el cálculo de la cantidad que se debe adicionar. Generalmente se adicionan 10 gramos de bicarbonato por cada 15 litros de leche fresca [Rodríguez, 2002].

4.2.3 Formulación y mezclado

El azúcar y la harina previamente pesados se adicionan a la leche; estas materias primas deben ser limpias. Se recomienda que el nivel de la mezcla no supere el 50% de la altura del recipiente. La agitación se realiza de manera constante (**Figura 2**).

Figura 2. Mezclado, concentración y enfriamiento del manjar blanco del Valle.



4.2.4 Concentración

La mezcla se calienta para retirar el agua por evaporación y se agita constantemente para evitar la formación de grumos y que se pegue a las paredes y al fondo del recipiente (**Figura 2**). Para controlar la ebullición se regula el suministro de calor, el cual se suspende al alcanzar los grados Brix deseados, sin detener la agitación. En esta etapa es evidente el cambio de color que sufre el producto, gracias a las reacciones de Maillard que se producen, pasando del blanco crema al pardo opaco o café oscuro.

4.2.5 Enfriamiento

Se realiza agitando continuamente, esto evita la formación de grumos, hasta obtener la temperatura de 45 a 60°C, que es la adecuada para el envasado.

4.2.6 Envasado

Se realiza en caliente 45 a 60°C, esto permite la eliminación del aire del recipiente, que debe estar lavado, desinfectado y seco. Tradicionalmente se envasa el Manjar Blanco del Valle en totumos (Fig.3), aunque en la actualidad muchas empresas lo están haciendo en envases plásticos. El recipiente se tapa cuando alcanza una temperatura de 25 a 30°C.

Figura 3. *Envasado del Manjar Blanco del Valle en totumos (izq.) y envase plástico (der.).*



4.3 Efectos del tratamiento térmico durante el proceso de elaboración

El calentamiento es el proceso principal al cual es sometida la leche y la mezcla durante la etapa de elaboración. El objetivo principal es eliminar el agua por evaporación. Los efectos aparentes del calentamiento son consecuencia de procesos bioquímicos complejos [Van Boekel, 1998].

4.3.1 Lactosa

Se descompone y forma ácidos orgánicos generando descenso en el pH y caramelización. Para evitar este fenómeno se adiciona bicarbonato de sodio, como ya se indicó. Las interacciones entre la lactosa y las proteínas dan origen a las reacciones de Maillard, que se evidencian por el oscurecimiento del producto, que va del blanco crema al café oscuro. El manjar blanco a diferencia del dulce de leche que es sumamente cremoso y brillante, algunas veces tiene una consistencia arenosa y aterciopelada, debido a la cristalización de la lactosa, lo cual, para este producto, se puede considerar como un defecto menor.

4.3.2 Proteínas

La caseína sufre degradación molecular y desestabilización de las micelas generando floculación y gelificación de la leche. Se debe tener especial cuidado con el control de pH puesto que un descenso por debajo del punto isoelectrico al que precipita la caseína produciría formación de grumos en el producto (cortado de leche). Las proteínas del lactosuero sufren desnaturalización e insolubilización como efecto del tratamiento térmico.

4.3.3 Lípidos

En general se asume que la materia grasa aporta textura y consistencia al Manjar Blanco del Valle, pero es importante recordar que la grasa puede sufrir hidrólisis causando liberación de ácidos grasos y posteriormente un sabor desagradable.

4.3.4 Almidón

Los principales cambios estructurales se derivan de la gelatinización ocasionada como resultado del tratamiento térmico del almidón; la pérdida de orden en la estructura molecular va acompañada de cambios irreversibles en sus propiedades como absorción de agua, hinchazón del grano, fusión de la parte cristalina, aumento en la viscosidad y solubilidad del granulo. A manera de conclusión se puede afirmar que la cocción del almidón aporta características texturales al producto terminado. Las demás interacciones que se puedan dar entre las moléculas de almidón y las otras especies químicas encontradas en la mezcla hacen parte del universo por descubrir que se tiene en la estructura del manjar blanco del Valle.

4.4 Control de calidad

La Republica de Colombia y en su nombre el Ministerio de Salud, ahora llamado Ministerio de Protección Social, el 24 de febrero de 1986, reglamentó a través de la resolución numero 02310 lo referente a procesamiento, composición, requisitos, transporte y comercialización de los derivados lácteos [MinSalud, 1986]. En su artículo 60 da las características del manjar blanco y establece los requisitos fisicoquímicos que debe presentar este producto, los cuales coinciden en su totalidad con los requisitos establecidos por la NTC 3757 [ICONTEC, 2008].

La NTC 3757 establece los requisitos generales y específicos que debe cumplir este producto (ver Tabla 1 y Tabla 2). Es importante anotar que a la fecha ningún fabricante de manjar blanco en Colombia ha obtenido el sello de calidad referente a esta norma.

Tabla 1. Requisitos Fisicoquímicos.

Requisito	Valor
Materia grasa láctea, Fracción de masa, mín., en %.	6.5
Sólidos lácteos no grasos, Fracción de masa, mín., en %.	16.0
Extracto seco, Fracción de masa, mín., en %.	65.0
Cenizas, Fracción de masa, máx., en %.	2.0
Almidones, Fracción de masa, máx., en %.	4.0

Fuente: MinSalud [1986]; NTC-3757 [2008]

Tabla 2. Requisitos Microbiológicos

Requisito, (Recuento en UFC/g)	n	m	M	c
Coliformes	5	10	100	2
<i>Escherichia coli</i>	5	< 10	--	0
Mohos y levaduras	5	10	100	2
<i>Staphylococcus aureus</i> coagulasa positiva	5	100	200	2

Fuente: MinSalud [1986]; NTC-3757 [2008].

En donde: n es el número de muestras del lote que se va a examinar, m es el índice máximo permisible para identificar nivel de buena calidad, M es el índice máximo permisible para identificar nivel aceptable de calidad, c es el número de muestras permitidas con resultado entre m y M.

5 Propiedades físicas

5.1 Color

En la literatura se encuentra una reducida cantidad de trabajos de caracterización de las propiedades organolépticas o fisicoquímicas de este producto [Novoa, 2011; Novoa y Ramírez-Navas, 2012b], a diferencia de lo que ocurre con el dulce de leche argentino [Castañeda *et al.*, 2004; Ferramondo, 1984; Hough *et al.*, 1988; Pauletti *et al.*, 1990; Rovedo *et al.*, 1991]. El color es un criterio básico de la calidad del manjar blanco, es un atributo fundamental en la valoración organoléptica y, parece ser, un primer atributo de juicio sobre la calidad del mismo y sobre las preferencias del consumidor [Ramírez-Navas, 2010a]. Sin embargo, la normatividad colombiana no establece ningún valor acerca de su color [ICONTEC, 2008; Min-Salud, 1986]. El color del manjar blanco puede verse afectado por variaciones de los ingredientes, aditivos, métodos de procesamiento y almacenamiento.

El color puede ser evaluado subjetivamente (visual), por medio de un panel de consumidores o un panel sensorial entrenado, o puede ser medido objetivamente (instrumental), con un espectrocolorímetro que mide la luz reflejada por el alimento por medio de un foto detector, codificando esta señal en términos de algún sistema de medición lumínico de espacio polar, como es el caso de la escala de CIE [Ramírez-Navas, 2010a]. La medición del color también puede ser utilizada para monitorear y optimizar la producción, por ejemplo, en la concentración de la leche en la elaboración de manjar blanco una medida del color puede indicar qué tan cerca se está de la concentración óptima del producto [Novoa y Ramírez-Navas, 2012a].

Los valores promedio y las desviaciones estándar de los parámetros de color L^* , a^* , y b^* , de la escala CIE- $L^*a^*b^*$, determinados instrumentalmente para tres lotes de cuatro muestras comerciales de manjar blanco de diversas empresas se listan en el Tabla 3. En la Figura 4 se observa la representación de colores de todas las muestras comerciales de manjar blanco (parte inferior) y su color promedio (parte superior).

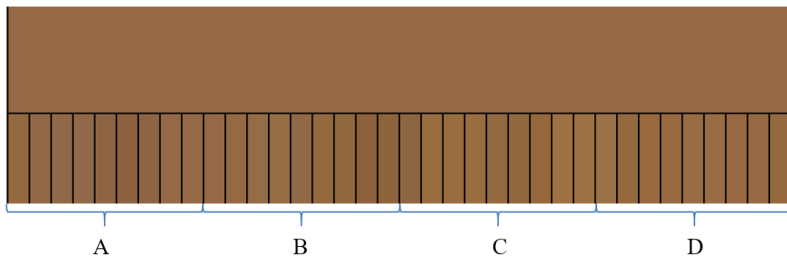
Tabla 3. *Parámetros de color CIE L*a*b* (\pm D.E.) de muestras de manjar blanco.¹*

Marca	L*		a*		b*		ΔE
A Uno A	42.40	\pm 1.85 ^a	13.78	\pm 0.23 ^a	31.31	\pm 0.46 ^a	3.66
B Dulces del Valle	45.31	\pm 2.51 ^a	14.76	\pm 0.41 ^a	37.06	\pm 0.85 ^c	2.95
C El Cortijo	44.21	\pm 0.69 ^a	15.85	\pm 0.15 ^b	35.67	\pm 0.72 ^b	1.73
D Manjar del Valle	42.49	\pm 1.88 ^a	13.92	\pm 0.56 ^a	34.63	\pm 0.15 ^b	1.29

a, b, c, d iguales superíndices en columnas no presentan diferencias significativas ($\alpha = 0.05$)

¹ *Valores promedio obtenidos de la determinación de color para muestras comerciales de manjar blanco (tres lotes por marca).*

Figura 4. *Representación de colores de muestras comerciales de manjar blanco.*



Los valores promedio de luminosidad entre marcas no presentan diferencias significativas, sin embargo, es posible observar variabilidad entre muestras de cada una de las marcas. Únicamente las muestras de C presentan mínima variación para este parámetro. Los valores de a*, con tendencia al rojo, no presenta variabilidad significativa entre muestras, sin embargo, existen diferencias significativas

entre C y las demás marcas. Los valores de b^* , con tendencia al amarillo, presentan mínima variación entre lotes, pero entre todas las marcas existen diferencias significativas.

Los valores de referencia calculados, empleados para realizar la determinación de la diferencia de color (ΔE) y que corresponden a los parámetros de color representados en el recuadro superior de la Figura 4 fueron: $L^* 43.60 \pm 2.03$, $a^* 14.58 \pm 0.92$ y $b^* 34.67 \pm 2.28$. Como se observa en el Tabla 3, los valores de ΔE reportados para A y B son superiores a 2.7, siendo la diferencia de color respecto al valor promedio detectable por el ojo humano [Ramírez-Navas, 2010a], situación que no sucede con las muestras de C y D, que son menores a 2.7. Aun así, en la Figura 4 es posible observar diferencias entre el recuadro superior y varias de las muestras de las diferentes marcas (recuadro inferior).

La variación en el color entre lotes y entre muestras es comprensible debido a que cada empresa maneja una formulación diferente (composición de leche, tipo de harina, cantidad de aditivos). Además, aunque el procedimiento es el mismo [Novoa y Ramírez-Navas, 2012b], cada empresa da una consistencia ($^{\circ}\text{Bx}$, cantidad de harina) diferente a su producto.

Los datos presentados corresponden al trabajo realizado por Novoa y Ramírez-Navas [2012a], que constituye uno de los pocos trabajos publicados de caracterización de color del manjar blanco. Con relación al color del dulce de leche argentino; los rangos de valores CIE- $L^*a^*b^*$ son: L^* de 26.36 a 41.31, a^* de 14.72 a 17.09, y b^* de 26.37 a 31.49 [2004]. Se puede observar que el manjar blanco presenta mayor luminosidad que el dulce de leche argentino, los valores de a^* están dentro del rango reportado, aunque los valores de b^* son superiores (mayor intensidad de amarillo).

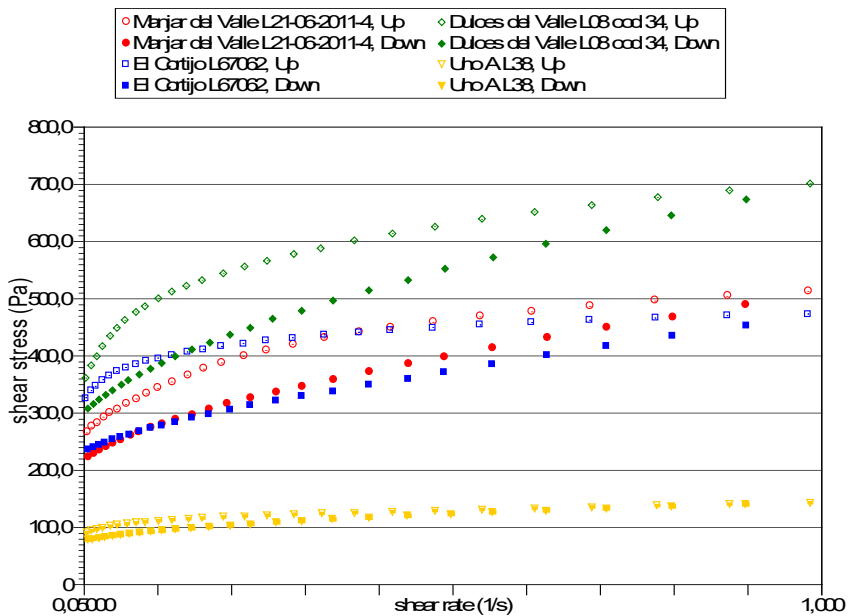
No se encuentra una relación clara entre grados brix y los parámetros de color, a diferencia de lo que señala la literatura [García, 1999]. Aunque esta relación también ha sido discutida por otros autores [2004]. Se piensa que el valor L^* podría tener una interesante aplicación en el procedimiento de elaboración del manjar blanco en contraste de lo que ocurre con a^* y b^* .

5.2 Aspectos reológicos

La reología es la ciencia del flujo y la deformación [Hough *et al.*, 1988]. La información reológica de un alimento es la base para el diseño y control de procesos de producción industrializada, la innovación y desarrollo de nuevos productos, y su control de calidad [Pauletti *et al.*, 1990; Ramírez-Navas, 2006]. La escasa información de las propiedades reológicas del manjar blanco motiva su estudio. Esta información podría ser empleada como base para el desarrollo de futuros proyectos de investigación encaminados a mejorar la producción, la calidad, el consumo y la expansión de la industria del manjar blanco.

Novoa y Ramírez-Navas [2013] evaluaron el comportamiento reológico de muestras de cuatro marcas comerciales de Manjar Blanco del Valle (ver Figura 5 y Tabla 4).

Figura 5. Reogramas de cuatro muestras comerciales de Manjar Blanco del Valle.



Al estudiar los reogramas se observa como las distintas marcas alcanzan diferentes esfuerzos de corte a una misma velocidad. Por ejemplo, el manjar blanco B alcanzó un esfuerzo máximo de deformación cercano a los 700 Pa, mientras el manjar blanco A un esfuerzo máximo cercano a los 150 Pa, ambos a una velocidad igual a $1,0 \text{ s}^{-1}$ Figura 5. En la Tabla 4 se listan los valores promedio y desviación estándar de índice de consistencia e índice de comportamiento al flujo con su respectivo coeficiente de correlación para muestras de manjar blanco.

Los parámetros de índice de consistencia K e índice de comportamiento al flujo n calculados, varían de manera significativa, lo cual evidencia diferencias en el comportamiento reológico de las cuatro marcas de manjar blanco analizado. Incluso en la Tabla 4 se evidencian diferencias entre lotes para una misma marca.

Los parámetros reológicos K y n no presentaron dependencia con el pH para las cuatro marcas evaluadas, esto no concuerda con lo encontrado por Rovedo *et al.* [1991] en el dulce de leche argentino. Por el contrario, se encontró dependencia directa entre el K y el valor de grados brix, coincidiendo con lo expuesto por Hough *et al.* [1988]. El manjar blanco A es el producto que mejor acentúa esta relación, al igual que el manjar blanco B, los cuales poseen los menores y mayores valores para estas dos variables, respectivamente.

Tabla 4. *Parámetros reológicos de muestras comerciales de manjar blanco.*

Marca	Lote	K	n	R ²
A	1	169.2 ± 5.7 ^b	0.129 ± 0.004 ^b	0.981
	2	212.9 ± 7.9 ^c	0.113 ± 0.007 ^a	0.980
	3	143.5 ± 5.1 ^a	0.145 ± 0.006 ^c	0.990
	Promedio	175.2 ± 6.2 [*]	0.129 ± 0.005 [*]	
B	1	834.5 ± 54.0 ^b	0.165 ± 0.004 ^a	0.991
	2	846.6 ± 33.0 ^b	0.220 ± 0.008 ^c	0.992
	3	734.6 ± 17.9 ^a	0.197 ± 0.005 ^b	0.993
	Promedio	805.2 ± 35.0 ^{***}	0.194 ± 0.006 ^{**}	
C	1	599.8 ± 31.5 ^b	0.121 ± 0.012 ^a	0.986
	2	403.1 ± 20.7 ^a	0.108 ± 0.014 ^a	0.976
	3	461.6 ± 41.0 ^a	0.112 ± 0.014 ^a	0.973
	Promedio	488.2 ± 31.1 ^{**}	0.114 ± 0.013 [*]	
D	1	374.1 ± 13.3 ^a	0.288 ± 0.008 ^b	0.993
	2	568.3 ± 21.4 ^c	0.286 ± 0.006 ^b	0.994
	3	496.6 ± 30.5 ^b	0.210 ± 0.012 ^a	0.995
	Promedio	479.7 ± 21.7 ^{**}	0.261 ± 0.009 ^{***}	

a, b, c, d, *, **, *** iguales superíndices en columnas no presentan diferencias significativas ($\alpha = 0.05$).

¹ Valores promedio obtenidos de la determinación de parámetros reológicos para muestras comerciales de Manjar Blanco del Valle (tres lecturas por lote)

En las curvas del esfuerzo cortante en función de la velocidad de corte obtenidas en el manjar blanco para cada una de las marcas estudiadas, se observa que los reogramas trazados presentan una forma similar a la de los fluidos pseudoplásticos, una curva cóncava hacia arriba, lo cual concuerda con lo expuesto por otros autores que estudiaron el dulce de leche [Alvarado, 1996; Andrade *et al.*, 2009; Garza Garza, 1996; Hough *et al.*, 1988; Pauletti *et al.*, 1990]. Este

comportamiento reológico puede ser el resultado de la concentración de partículas al eliminarse gran cantidad de agua durante la etapa de evaporación. Conforme aumenta el grado de concentración, las partículas sólidas, en un principio individual, quedarán cada vez más próximas unas de otras con el transcurrir del tiempo, lo que facilitaría la formación de grumos, que, a su vez, se unirían para formar agregados. Estos agregados también podrían asociarse llegando a formar una red que atraparía la fase dispersante, provocando, de este modo, un fuerte incremento en los parámetros reológicos al alcanzar una determinada concentración crítica [Ramírez-Navas, 2012].

En la Figura 5 se observa la disminución de la viscosidad a medida que aumenta la velocidad de corte, clara manifestación de un fluido pseudo-plástico, es decir el fluido empieza espeso y a medida que aumenta la velocidad de agitación se va adelgazando.

Los resultados experimentales del esfuerzo de corte y la velocidad de corte, para las muestras de manjar blanco analizadas, se ajustaron al modelo de ley de potencia, obteniendo un coeficiente de correlación superior a 0,97 en todos los casos.

Con relación al comportamiento reológico en el tiempo, las muestras comerciales alcanzaron unos valores de tixotropía de ($X \pm DE$) A: 24.2 ± 7.9 , B: 134.6 ± 19.3 , C: 109.6 ± 20.7 , y D: 77.3 ± 14.0 . Todas las muestras evidenciaron diferencias significativas ($\alpha = 0.05$) entre lotes y entre muestras. La tixotropía de cada una de las muestras se calculó hallando la diferencia entre las áreas bajo las curvas de esfuerzo de corte contra velocidad de corte en forma ascendente y descendente.

Los reogramas de esfuerzo de corte contra velocidad de corte para pruebas de ascenso y descenso muestran significativamente una diferencia entre ambas curvas evidenciando un circuito conformado por la curva de ascenso en la parte superior y la curva de descenso en la parte inferior, lo que se define como un comportamiento tixotrópico, que concuerda con lo reportado por Alvarado [2014] para manjar de leche ecuatoriano.

Además del carácter pseudoplástico y tixotrópico los reogramas muestran **cómo las cuatro marcas de manjar blanco analizadas** requieren

un esfuerzo para empezar a fluir lo cual se denomina umbral de fluencia. Los valores promedio, desviación estándar y error estándar obtenidos de umbral de fluencia para las muestras de las cuatro marcas comerciales fueron ($X \pm DE$ (EE)), A: 94.7 ± 25.8 (14.0), B: 322.6 ± 50.7 (12.9), C: 281.7 ± 52.8 (12.3) y D: 141.2 ± 51.8 (11.5). Todas las muestras evidenciaron diferencias significativas ($\alpha = 0.05$) entre lotes y entre muestras. El umbral de fluencia se calculó ajustando las curvas al modelo de Casson. Se aprecia cómo este parámetro está relacionado con el índice de consistencia y la viscosidad aparente para todos los casos. Estudios realizados en dulce de leche por Hough *et al.* [1988] y Pauletti *et al.* [1990] presentan resultados similares.

6 Características sensoriales

Conocer la información sobre los gustos y aversiones, preferencias y requisitos de aceptabilidad por parte de los consumidores, permite el desarrollo de nuevos alimentos, la mejora de la calidad de los existentes, entre otros; para esto es necesario aplicar el análisis sensorial (AS), específicamente los métodos de análisis denominados pruebas orientadas al consumidor (POC) [Lawless y Heymann, 2010; Ramírez-Navas, 2012; Watts *et al.*, 1989].

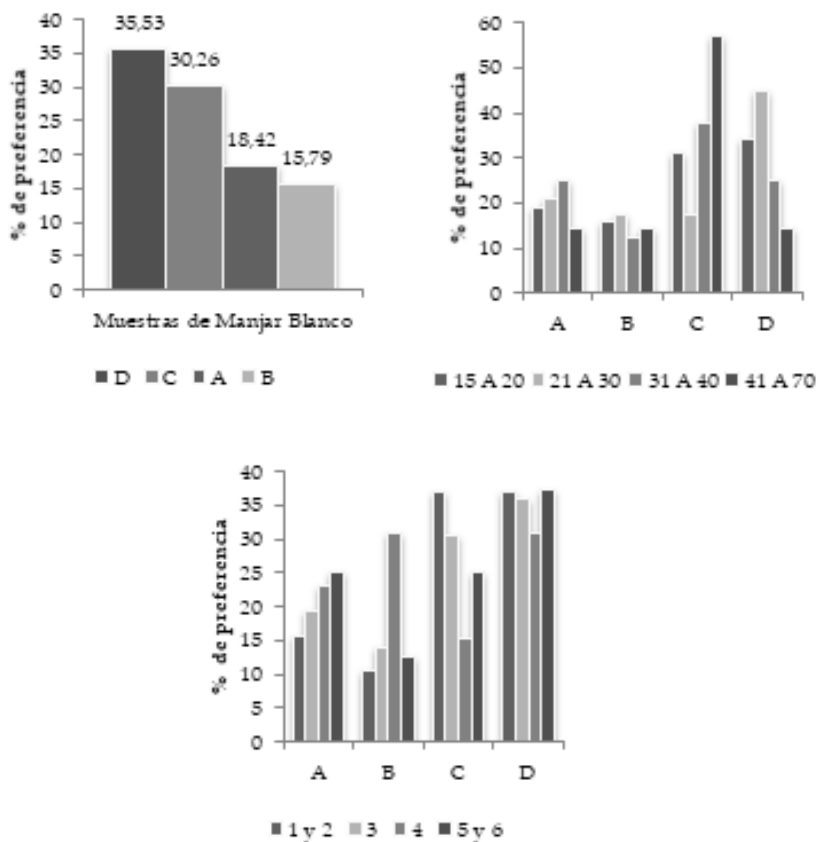
Ramírez-Navas *et al.* [2014] evaluaron la aceptación y preferencia de cuatro muestras comerciales de Manjar Blanco del Valle. Con los datos obtenidos de las pruebas realizadas en el AS determinaron los porcentajes de preferencia (totales, según la edad y según el estrato), los estadísticos descriptivos ($X \pm DE$), y aplicaron la prueba de Friedman y la prueba de los rangos con signo de Wilcoxon.

6.1 Análisis de preferencia

En la Figura 6a se presenta el porcentaje de panelistas que prefirieron cada una de las muestras. En ella se observa que, entre la población evaluada la muestra D tuvo mayor grado de preferencia (35.53%), que las muestras C, A, y B. En la Figura 6b se presenta el porcentaje de panelistas, según el rango de edad (15 a 20, 21 a 30, 31 a 40 y 41 a 70 años), que

prefirieron cada una de las muestras. Se observa que la muestra D fue preferida por las poblaciones de 15 a 20 años (en 34.4%) y de 21 a 30 años (en 44.8%), mientras que la muestra C lo fue por las poblaciones de 31 a 40 años (en 37.5%) y 41 a 70 años (en 57.1%). En la Figura 6c se presenta el porcentaje de panelistas, según el estrato socioeconómico (1-2, 3, 4, y 5-6), que prefirieron cada una de las muestras. Se observa que la muestra D fue preferida por todos los estratos, en 36,8% para 1-2, en 36.1% para 3, en 30.8% para 4 y en 37.5% para 5-6. La muestra C obtuvo un empate con la muestra D para el estrato 1-2, mientras que la muestra B empató con la muestra D para el estrato 4.

Figura 6. Diferencias de preferencias (a) entre las marcas de manjar blanco, (b) según los rangos de edades estudiados, (c) según los estratos socioeconómicos estudiados.



6.2 Análisis de aceptación

El grado de aceptación de las cuatro marcas comerciales evaluadas sensorialmente en cuanto a olor, color, sabor y textura por 76 consumidores, usando escalas hedónicas de nueve puntos, se sintetizan en los rangos promedios determinados a través de la prueba de Friedman, los cuales se muestran en la Tabla 5. También se presentan los valores de la media y desviación estándar de las calificaciones asignadas por los consumidores.

En la Tabla 5 se observa que la muestra D obtuvo los mayores rangos en olor (2.70), sabor (2.72) y textura (2.78), y la muestra C fue la que logró el mejor rango en color (2.83). Los atributos color y textura difieren significativamente en los resultados del análisis sensorial. Mientras que los resultados de olor y sabor no difieren significativamente.

Un análisis más específico de los atributos analizados en los cuales las marcas alcanzaron diferencias significativas, esto es color ($p=0.000<0.05$) y textura ($p=0.012<0.05$), permite determinar cuál de ellas presenta mejor color y textura según la evaluación sensorial de los consumidores. Para este fin se realizó la prueba de Wilcoxon; los resultados de ésta se presentan en la Tabla 6. Se observa que entre A/C, A/D y C/D no existen diferencias significativas en el atributo color ($Z < QP$), mientras que A, C y D difieren significativamente con B en este atributo ($Z > QP$). A/B, B/C, C/D no difieren significativamente en su textura ($Z < QP$), pero A/C, A/D y B/D si difieren significativamente ($Z > QP$).

Tabla 5. Estadísticos descriptivos y prueba de Friedman para los atributos sensoriales de cuatro marcas de dulce de leche evaluadas sensorialmente.

Marca	Estadísticos descriptivos ¹			
	Olor	Color	Sabor	Textura
A, X±DE	6.04 ± 1.60	6.39 ± 1.55	6.34 ± 1.79	5.75 ± 2.01
B, X±DE	5.82 ± 1.98	5.72 ± 1.87	6.37 ± 1.85	5.92 ± 2.01
C, X±DE	5.86 ± 2.14	6.72 ± 1.96	6.37 ± 2.15	6.41 ± 2.32
D, X±DE	6.07 ± 1.86	6.72 ± 1.63	6.79 ± 2.01	6.53 ± 2.06
Prueba de Friedman	Rango promedio			
A	2.59	2.48	2.36	2.26
B	2.33	1.97	2.37	2.30
C	2.38	2.83	2.55	2.67
D	2.70	2.72	2.72	2.78
F _{r(3)}	5.351	24.464	4.425	10.890
p(5%)	0.148	0.000	0.219	0.012

¹ Valores promedio obtenidos del análisis sensorial de muestras de cuatro marcas comerciales de manjar blanco realizadas por 76 consumidores (evaluadores no entrenados).

Tabla 6. Prueba de los rangos con signo de Wilcoxon para los atributos sensoriales color y textura de cuatro marcas de Manjar Blanco evaluadas sensorialmente.

Marca ^a	Color		Textura	
	Z ^b	p	Z ^b	P
A/B	2.83	0.00	0.70	0.48
A/C	1.44	0.15	2.29	0.02
A/D	1.79	0.07	2.46	0.01
B/C	3.62	0.00	1.51	0.13
B/D	3.83	0.00	2.42	0.02
C/D	0.04	0.97	0.04	0.97

^b QP 5% = 2,77

Las muestras B y A presentaron el color más claro de las cuatro marcas; la muestra D presentó el color característico del manjar blanco; esto concuerda con lo reportado por Novoa y Ramírez-Navas [2012a]. Sin embargo, el color de la muestra C se asemejaba a la del arequipe, otro dulce de leche colombiano, en el que no se adiciona fécula o almidón de arroz y su color es más oscuro que el del Manjar Blanco del Valle. Como mencionan Andrade P *et al.* [2009] los clientes están acostumbrados a consumir principalmente dulces de leche de coloración castaño acaramelado. Ramírez-Navas [2010b] indica que el color representa el primer factor organoléptico que percibe el degustador y que es a través de éste que genera un criterio de la calidad del alimento. Un producto aceptado será el que presente un aspecto atractivo en este particular parámetro. En el caso del manjar blanco el color no debe ser demasiado oscuro.

Adicionalmente, se observa que para los consumidores otro atributo importante, en el caso del manjar blanco, es la textura. La muestra con mayor aceptación (D) presentó una textura blanda y suave en su interior, y arenosa y cuarteada en la superficie. Novoa y Ramírez-

Navas [2012b] explican que el manjar blanco puede presentar algunas veces una consistencia arenosa y aterciopelada, debido a la cristalización de la lactosa, como un defecto menor.

De las pruebas estadística realizadas, se extrae que el parámetro más importante en la evaluación sensorial fue el color, el segundo parámetro en importancia fue la textura. Estos dos parámetros, color y textura, fueron los determinantes en la preferencia y aceptación del manjar blanco. El olor y el sabor son importantes, pero no fueron los parámetros decisivos en la selección realizada por los consumidores; esto puede deberse a que no existe una marcada diferencia entre el olor y el sabor de las cuatro marcas tradicionales.

Las pruebas sensoriales no permiten discriminar entre un atributo u otro, ya que por lo general las sensaciones que experimenta el consumidor al ingerir un producto no son producidas por un solo sentido, sino que en ella se conjugan distintos estímulos actuando como respuesta a la estimulación compleja. La preferencia por una de las marcas se hace más complicada en la medida que se seleccione un número mayor de atributos [Minchón *et al.*, 2011].

Para los consumidores el manjar blanco de la marca D fue el preferido sobre las otras marcas evaluadas sensorialmente. La mayor aceptación del manjar blanco de la marca D se debe a su olor, sabor y textura, sin embargo, la muestra C fue la que obtuvo el mejor color de las cuatro.

7 Agradecimiento

A la Sra. Martha Escobar propietaria de Dulces y Brevas el Edén (Palmira, Colombia) por abrirnos las puertas de su establecimiento. A Fernán David Martínez Jiménez, estudiante de la Escuela de Ingeniería de Alimentos de la Universidad del Valle (Cali, Colombia), por la colaboración prestada en la toma de las fotografías que ilustran este artículo.

Referencias bibliográficas

- ALVARADO, J.D.D. *Principios de ingeniería aplicados a los alimentos*. Quito, Ecuador: Secretaria General de la OEA en Ecuador - Radiocomunicaciones: División de Artes Gráficas, 1996.
- ALVARADO, J.D.D. *Principios de Ingeniería Aplicados en Alimentos*. 2 ed. Ambato, Ecuador: Universidad Técnica de Ambato, MEGAGRAF, 2014. 478 p.
- ANALAC *Producción de leche*. Bogotá, Colombia: Asociación Nacional de Productores de Leche, 2010.
- ANDRADE P, R.D., VÉLEZ H, G.I., ARTEAGA M, M.R., DÍAZ Q, Y.S. Y SÁNCHEZ S, S.S. Efecto de la neutralización y adición de edulcorante en las propiedades fisicoquímicas, microbiológicas y sensoriales del Arequipe de leche de búfala. *VITAE*, 2009, vol. 16, no. 2, p. 201-209.
- ANDRADE, P.R., ORTEGA, Q.F., MONTES, M.E., TORRES, G.R., PÉREZ, S.O. Y CASTRO, N.M. Caracterización fisicoquímica y reológica de la pulpa de guayaba (*Psidium guajava* L.) variedades híbrido de Klom Sali, Puerto Rico, D14 y Red. *VITAE*, 2009, vol. 16, no. 1, p. 13-18.
- ASOCAÑA. Balance Sector Azucarero Colombiano 2000-2017. Cali, Colombia, 2018. Disponible en: <<http://www.asocana.org/modules/documentos/verdocumento.aspx?id=5528&url=/documentos/822011-E819C160-2D2D2D,B9B9B9.xls&urlzip=/documentos/822011-E819C160-2D2D2D,B9B9B9.xls>>.
- CASTAÑEDA, R., MUSET, G., CASTELLS, L., ARANIBAR, G., MURPHY, M. Y RODRÍGUEZ, G. Dulce de leche argentino variedad tradicional-Su caracterización. Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI), 2004, p. 1-3.

- ESTRADA, J. Geografía dulce de Colombia. *Boletín Cultural y Bibliográfico* (Banco de la República), 1987, vol. XXIV, no. 11.
- FEDEGAN *Lo que usted necesita saber sobre la leche en Colombia*. Bogotá, Colombia: Federación de Ganaderos de Colombia, 2010.
- FERRAMONDO, A.V. Prevención del deterioro microbiano en dulce de leche; estudio de su composición en azúcares, actividad de agua y PH. Tesis de Magister Scientiae en Ciencia y Tecnología de los Alimentos. Buenos Aires, Argentina, Comisión de Investigaciones Científicas, 1984.
- GARCÍA, R. Evaluación de las características de textura y color en cajeta de leche de vaca. Tesis de Licenciatura en Ingeniero Industrial. Chapingo, México: Universidad Autónoma de Chapingo, Ingeniería Agroindustrial, 1999.
- GARZA GARZA, S. Caracterización reológica y microbiológica, y cinéticas de deterioro en cremogenado de melocotón. Tesis. Lleida, España: Departament de Tecnologia d'Aliments. Universitat de Lleida, 1996.
- HOUGH, G., MORO, O., SEGURA, J. Y CALVO, N. Flow Properties of Dulce de Leche, a Typical Argentine Dairy Product. *Journal of dairy science*, 1988, vol. 71, no. 7, p. 1783-1788.
- ICONTEC. NTC 3757. Arequipe o dulce de leche y manjar blanco. En. Bogotá, Colombia Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, 2008.
- ICTA *Manual de elaboración de dulces y panelitas de leche*. Editado por ESPINAL, ICTA Y PADT. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia, 1993.
- LAWLESS, H.T. Y HEYMANN, H. *Sensory evaluation of food : principles and practices*. 2nd ed. New York: Springer, 2010. xxiii, 596 p.

- MINCHÓN, C., MÍO, E. Y CÓRDOVA, K. Nonparametric multiple comparisons in sensory evaluation of appearance and flavor of three brands of commercial beer. Revista *ECIPERÚ*, Agosto 2011, vol. 8, no. 2, p. 19-24.
- MINSALUD *Resolucion Numero 2310 de 1986*. Bogotá, Colombia: Ministerio De Salud, Republica de Colombia, 1986. 38 p.
- NEIRA BERMÚDEZ, E. Y LÓPEZ TORRES, J. *Guía técnica para la elaboración de productos lácteos*. 5 ed. Bogotá: De la Mancha Impresores, 2010. 247 p.
- NOVOA, D.F. Caracterización reológica de Manjar Blanco del Valle. Tesis. Palmira, Colombia: Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería, 2011. 55 p.
- NOVOA, D.F. Y RAMÍREZ-NAVAS, J.S. Caracterización colorimétrica del Manjar Blanco del Valle. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 2012a, vol. 10, no. 2, p. 54-60.
- NOVOA, D.F. Y RAMÍREZ-NAVAS, J.S. Manjar Blanco del Valle: Un dulce de leche típico colombiano. *Tecnología Láctea Latinoamericana*, 2012b, vol. 68, p. 48-52.
- NOVOA, D.F. Y RAMÍREZ-NAVAS, J.S. Caracterización reológica de Manjar Blanco del Valle del Cauca. *Alimentos Hoy*, Abr 2013, vol. 22, no. 1, p. 54-62.
- NTC-3757. Arequipe o dulce de leche y manjar blanco. En: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, 2008, vol. 3757.
- ORTIZ, F. *Contrapunteo cubano del tabaco y el azúcar*. Barcelona, España: Editorial Ariel, 1973.

- PATIÑO O., G. *Fogón de negros: cocina y cultura en una región latinoamericana*. Bogotá, Colombia: Convenio Andrés Bello, 2007.
- PAULETTI, M., VENIER, A., SABBAG, N. Y STECHINA, D. Rheological Characterization of Dulce de Leche, a Confectionery Dairy Product. *Journal of dairy science*, 1990, vol. 73, no. 3, p. 601-603.
- RAMÍREZ-NAVAS, J.S. Introducción a la reología de los alimentos. Revista *RECITEIA*, 2006, vol. 6, no. 1, p. 1-46.
- RAMÍREZ-NAVAS, J.S. Espectrocolorimetría: caracterización de leche y quesos. *Tecnología Láctea Latinoamericana*, 2010a, vol. 61, p. 52-58.
- RAMÍREZ-NAVAS, J.S. Propiedades funcionales de los quesos: Énfasis en los quesos de pasta hilada. Revista *RECITEIA*, 2010b, vol. 10, no. 2, p. 70-97.
- RAMÍREZ-NAVAS, J.S. Queso molido nariñense. *Tecnología Láctea Latinoamericana*, 2010c, vol. 59, p. 56-59.
- RAMÍREZ-NAVAS, J.S. Análisis sensorial: pruebas orientadas al consumidor. Revista *RECITEIA*, 2012, vol. 12, no. 1, p. 83-102.
- RAMÍREZ-NAVAS, J.S., MURCIA SUÁREZ, C.L. Y CASTRO CABRERA, V. Análisis de aceptación y preferencia del manjar blanco del Valle del Cauca. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, Jun 2014, vol. 12, no. 1, p. 20-27.
- RODRIGUEZ, G., MURPHY, M., ARANIBAR, G., CASTELLS, L., MUSET, G. Y CASTAÑEDA, R. Dulce de leche argentino variedad tradicional-Su caracterización. INTI. Instituto Nacional de Tecnología Industrial., 2004, p. 1-3.

- RODRÍGUEZ, M. *Manual técnico de derivados lácteos*. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional Abierta y a Distancia, 2002.
- ROVEDO, C.O., VIOLLAZ, P.E. Y SUAREZ, C. The Effect of pH and Temperature on the Rheological Behavior of Dulce De Leche, A Typical Dairy Argentine Product. *Journal of dairy science*, 1991, vol. 74, no. 5, p. 1497-1502.
- VAN BOEKEL, M.A.J.S. Effect of heating on Maillard reactions in milk. *Food Chemistry*, 1998, vol. 62, no. 4, p. 403-414. 10.1016/s0308-8146(98)00075-2
- WATTS, B.M., YLIMAKI, G.L., JEFFERY, L.E. Y ELIAS, L.G. *Basic sensory methods for food evaluation*. Ottawa, Ont., Canada: International Development Research Centre, 1989. 170 p.

CÁLCULO DE TIEMPOS DE VIDA ÚTIL EN DULCE DE LECHE ELABORADO EN ECUADOR

Juan de Dios Alvarado

<https://orcid.org/0000-0001-7877-7539>

1 Introducción

1.1 Vida útil

La preservación de los alimentos a través de los tiempos ha sido necesaria para nuestra supervivencia. Las técnicas de preservación aplicadas en el pasado (salazón, secado, ahumado, calentamiento entendido como cocción, conservación a bajas temperaturas y fermentación) continúan siendo utilizadas en conjunto con otros métodos en la actualidad, y apoyadas en el conocimiento que diferentes disciplinas científicas han aportado al desarrollo en este campo [Geeraerd *et al.*, 1998].

Según el *Codex Alimentarius* [1998] los alimentos perecederos son aquellos de tipo o condición tales que pueden deteriorarse, entendiéndose aquellos como los alimentos compuestos total o parcialmente de leche, productos lácteos, huevos, carne, aves de corral, pescado o mariscos, o de ingredientes que permitan el crecimiento progresivo de microorganismos que puedan ocasionar envenenamiento u otras enfermedades transmitidas por alimentos. Los alimentos que son considerados como perecederos generalmente poseen una vida de

anaquel de siete días. Esta vida útil está limitada en la mayoría de los casos por el decaimiento bioquímico o microbiológico, mientras que en los alimentos semiperecederos (conservas en general) la vida útil está limitada principalmente al deterioro fisicoquímico y/o sensorial antes que el microbiológico.

Labuza [1982] explicó que con el propósito de proporcionar información al consumidor y cumplir con su derecho a conocer lo que consume, se desarrollaron conjuntos de datos relacionados con la vida de anaquel del producto. Indicó diferentes denominaciones que dependen de los límites entre los que se establece la duración de un alimento, entre ellas: datos de manufactura que corresponde a la fecha de producción; datos de exhibición que corresponden al momento en que el alimento se coloca en el sitio de almacenamiento; datos de tiempo de venta que corresponden a la fecha última en la cual el producto puede venderse permitiendo que el consumidor disponga de un tiempo razonable para utilizarlo; datos de uso óptimo que corresponde a la última fecha de máxima calidad; datos de expiración fecha en la cual no se mantiene un nivel de calidad aceptable.

Martins *et al.* [2008] señalaron que obtener datos de vida de anaquel o vida útil es uno de los trabajos más difíciles en ingeniería de alimentos, pues es el resultado de la conjunción de todos los servicios utilizados en la producción, distribución y consumo. Los métodos tradicionales de datación y los datos obtenidos en cadenas de distribución a pequeña escala, no reproducen en el laboratorio las condiciones reales de almacenamiento, reparto y consumo, sobre el efecto que tienen en la calidad del alimento. Señalaron que el advenimiento de la nanotecnología, sensores múltiples, sistemas de información y sistemas complejos pueden revolucionar la vía para el manejo, distribución y consumo de alimentos.

En palabras de Dalgaard [1995], todos los alimentos poseen una caducidad microbiológica, una caducidad química o fisicoquímica y una caducidad sensorial, las cuales dependen de las condiciones de formulación, procesamiento, empaquetado, almacenamiento y manipulación. La vida útil de un alimento puede definirse como el periodo

de tiempo, después de la elaboración y/o envasado y, bajo determinadas condiciones de almacenamiento, en el que el alimento se mantiene seguro y apropiado para su consumo, es decir, que durante ese tiempo debe conservar tanto sus características físicas, químicas, fisicoquímicas, microbiológicas y sensoriales, así como sus propiedades nutricionales y funcionales.

Otra definición expresa que la vida útil es un período en el cual, bajo circunstancias definidas, se produce una tolerable disminución de la calidad del producto. La calidad engloba muchos aspectos del alimento, como sus características físicas, químicas, microbiológicas, sensoriales, nutricionales y referentes a inocuidad. En el instante en que alguno de estos parámetros se considera como inaceptable el producto ha llegado al fin de su vida útil [Singh y Heldma, 2009].

Para predecir la vida útil de un producto es necesario en primer lugar identificar y/o seleccionar la variable cuyo cambio es el que primero identifica el consumidor meta como una baja en la calidad del producto, por ejemplo, en algunos casos esta variable puede ser la rancidez, cambios en el color, sabor o textura, pérdida de vitaminas o inclusive la aparición de poblaciones inaceptables de microorganismos [Brody, 2003].

Se pueden realizar las predicciones de vida de anaquel mediante la utilización de modelos matemáticos (útil para evaluación de crecimiento y muerte microbiana), pruebas en tiempo real (para alimentos frescos de corta vida útil) y pruebas aceleradas (para alimentos con mucha estabilidad), en donde el deterioro es acelerado y posteriormente estos valores son utilizados para realizar predicciones en condiciones de almacenamiento menos severas [Charm, 2007; Williams, 1992].

Los métodos prácticos utilizados en la elaboración de modelos predictivos de vida útil necesitan avanzar más. Los métodos estándares de análisis microbiológicos, aunque son eficaces, son lentos [McDonald y Sun, 1999; Ross y McMeekin, 1994]. La gran variedad y número de microorganismos alterantes encontrados en los productos alimenticios significa que los modelos de predicción de alteración son menos fáciles de desarrollar que los modelos de microorganismos-

mos patógenos y su aplicación es mucho más limitada [Pin y Baranyi, 1998]. Las investigaciones futuras deberían tener en cuenta el corto período de vida de gran parte de alimentos refrigerados y el hecho de que los resultados se los requiere conocer rápidamente [Gibbs y Williams, 1990].

La estimación de la vida útil de un alimento es un requisito fundamental, y esta debe figurar, salvo ciertas excepciones, en la etiqueta de los mismos [James y Evans, 2006]. Es variada la metodología empleada para estimar la vida útil, algunos de estos métodos pueden parecer un tanto ortodoxos, pero de acuerdo con Labuza [1982], suelen ser válidos.

Actualmente las industrias de alimentos se encuentran presionadas para desarrollar productos nuevos y de alta tecnología en poco tiempo. La mayoría de estos productos se espera que tengan vida útil de algunas semanas o incluso meses, mientras el tiempo para realizar pruebas al producto es reducido a pocos días o semanas [Hough *et al.*, 2006]. Es importante recalcar que la vida de anaquel no es función del tiempo en sí, sino de las condiciones de almacenamiento del producto y los límites de calidad establecidos tanto por el consumidor como por las normas que rigen a los alimentos. Se destaca que en muchos países es obligatorio que los alimentos indiquen claramente las fechas de elaboración y de vencimiento que correspondería a los datos de tiempo de venta, las cuales deben estar visibles en alguna parte de la etiqueta o del producto.

2 Dulce o manjar de leche

El dulce de leche es un producto lácteo común en América Latina, se elabora a partir de leche que es concentrada por evaporación y la adición de sacarosa [Lamonthe, 2006; Lloacana, 2009]. Es un producto de gran consumo en todos los países latinoamericanos y tiene diferentes nombres y procesos de elaboración de acuerdo al país. En Ecuador la Norma Técnica [INEN, 2011] no establece diferencias entre “manjar de leche” y “dulce de leche” y lo define como el producto obtenido a partir de leches adicionadas de azúcares que por efecto del

calor adquiere su color característico y debe cumplir los siguientes requisitos: contenido mínimo de sólidos de leche 25.5 [g/100 g] y de grasa 5.5 [g/100 g], contenido máximo de azúcares totales expresado como azúcar invertido 56 [g/100 g] y de cenizas 2 [g/100 g].

Ortega y Rivas [2013] presentaron una clasificación que incluye otros productos similares en la forma siguiente: dulce de leche, elaborado con leche fresca y apta para el consumo humano, de aspecto homogéneo, consistencia blanda, textura suave y uniforme, sabor dulce, olor característico y color café claro. Dulce de leche con crema, elaborado con leche y/o crema de leche fresca apta para el consumo. Dulce de leche mixto, elaborado con leche o crema de leche fresca, aptas para el consumo, se puede añadir también miel, coco, cacao, almendras, maní u otros productos de uso permitido.

Datos de composición proximal de muestras comerciales de manjar de leche expresados en porcentaje son: carbohidratos totales 60% de los cuales el 50% corresponde a azúcares, grasa 10%, proteína 10%, cenizas 2%, humedad 18%. Se establece que los componentes mayoritarios del producto son los azúcares, entre ellos la lactosa que es el principal carbohidrato de la leche.

Según Chandan y Kilara [2011], la leche condensada y endulzada se elabora utilizando leche entera, leche descremada o leche condensada recombinada que consiste en leche descremada en polvo, grasa de leche anhidra o grasa vegetal y agua. Las etapas del proceso de elaboración son: estandarización de la leche; tratamiento térmico de la leche; evaporación; adición de azúcar; enfriamiento; siembra y subsecuente enfriado para cristalización de la lactosa; envasado y empaçado.

Debido a que parte de la lactosa contenida en el producto puede estar sobresaturada, ocurre una autocrystalización y la aparición de cristales grandes que provocan el defecto conocido como arenosidad. Para evitarlo el concentrado se enfría hasta 25° C a 30°C, temperatura óptima para la siembra se semillas de cristales finos de lactosa, molidos y pasteurizados, que provocan una cristalización instantánea y controlada. Bajo los 20°C la lactosa cristaliza instantáneamente sin

necesidad de siembra, desde los 30°C hasta los 50°C cristaliza menos lactosa y sobre los 50°C la lactosa está en solución y no cristaliza. La cantidad de lactosa añadida en la siembra es equivalente a 0.5 [kg] por 1000 [kg] de leche. El tamaño de los cristales para la siembra realizada con agitación y enfriamiento rápido, debe ser menor a 10 [mm] y una parte importante debe ser menor a 1 [mm]. La cantidad de cristales formados es mayor a $4(10)^{11}$ cristales por [m³]. En la primera mitad de la cristalización la viscosidad aumenta hasta llegar a un valor tope debido a la cantidad de cristales pequeños, conforme crecen los cristales la viscosidad disminuye.

Según Zunino [2009], para una leche con un promedio de 3% de grasa y 4,5% de lactosa se recomienda agregar sacarosa de 18-23%. Para leches con porcentajes de grasa de 1,5% se recomienda agregar 19,5% de sacarosa con la salvedad de que un máximo de 2% de esa sacarosa sea sustituida por glucosa. El dulce de leche técnicamente elaborado debe presentar consistencia pastosa y homogénea, color castaño brillante, aroma propio, sabor característico y ausencia de arenosidad.

En Argentina el dulce de leche se prepara mediante la ebullición de leche entera con la adición de sacarosa hasta alcanzar un contenido de sólidos del 70% en peso [Moro y Hough, 1985]. La formulación inicial típica es diez partes de leche con dos partes de sacarosa, la cual en varios casos es parcialmente reemplazada por jarabe de glucosa para evitar la cristalización. Aproximadamente se añade 0.1% de bicarbonato de sodio para hacer incrementar el empardeamiento y prevenir la coagulación de proteínas. La concentración de lactosa es 9.85% cuando se utiliza leche con 12% de sólidos totales y 4.5% de lactosa.

La vida útil del manjar de leche se ve influenciada por la calidad de la leche cruda. El conteo microbiológico y el conteo somático de células (CSC) determinan la carga de enzimas resistentes al calor en la leche [Barbano *et al.*, 2006].

2.1 Cristalización de lactosa

El mayor problema que presenta el dulce de leche como anomalía de producto durante su almacenamiento es la cristalización como lactosa monohidratada. La lactosa por su escasa solubilidad a bajas temperaturas y los ácidos grasos de la leche por su elevado punto de fusión, son los elementos del dulce de leche más propensos a cristalizarse a bajas temperaturas, paralelamente es necesario tomar en consideración el comportamiento similar de la sacarosa. La lactosa es un disacárido único en la leche de las hembras de muchos mamíferos [Walstra *et al.*, 2006].

De todos los componentes de la leche la lactosa es el que se encuentra en mayor porcentaje, alrededor del 5%, siendo además el compuesto que menos variación presenta en cantidad. La lactosa es un carbohidrato disacárido (“azúcar” de la leche) constituido por galactosa y glucosa y se halla libre en suspensión. En la leche se encuentran dos isómeros de la lactosa: la α -lactosa y la β -lactosa; es poco soluble en agua y cristaliza muy rápido. La β -lactosa es la más soluble (hasta 17 [g] en 100 [ml] de agua), siendo la α -lactosa la que primero cristaliza [Moro y Hough, 1985; Siddique *et al.*, 2010].

Goff y Hill [1993] indicaron que la lactosa se sintetiza en la glándula mamaria, donde la etapa final es la transferencia de D-galactosa a D-glucosa, es un azúcar reductor con el grupo aldehído en la parte de la glucosa, al existir en las dos formas α y β indica que existe un intercambio de OH y H en los grupos reductores, es un compuesto ópticamente activo debido a su asimetría, la forma α se puede distinguir de la forma β por su mayor rotación de la luz polarizada en la dirección dextro.

Alves Miranda *et al.* [2010] reportaron que la lactosa puede existir en tres estados cristalinos diferentes o polimorfos: α -lactosa, β -lactosa y α -lactosa monohidratada. Los cristales pueden tener diferentes formas que dependen de algunos factores, la forma de prisma ocurre a velocidades de crecimiento muy altas de la α -lactosa monohidratada, formas de diamante pueden aparecer a velocidades de crecimiento menores; la forma más típica es como cristales llamados

tomahawk en especial cuando son obtenidos por cristalización en solución acuosa, sin embargo, la forma cambia hacia el tipo piramidal cuando la cristalización ocurre en presencia de sacarosa.

Las soluciones sobresaturadas de lactosa a temperaturas superiores a 93.5°C cristalizan como β -lactosa anhidra, la cual es más dulce que la α -lactosa monohidratada. A temperaturas menores a 93.5°C las soluciones sobresaturadas cristalizan como α -lactosa monohidratada. Ocurre mutarrotación de β -lactosa a α -lactosa cuando la α -lactosa se cristaliza desde una solución. Los cristales de α -lactosa monohidratada tienen diferentes formas, pero todas son cristalográficamente equivalentes a la forma de *tomahawk*. Las variables más importantes que afectan la velocidad de crecimiento de los cristales y la forma de los mismos son el grado de sobresaturación y la presencia de inhibidores [Holsinger, 1988].

Caric [1993] señaló que en el caso de enfriamiento luego de la evaporación y adición de azúcar, se induce la cristalización de lactosa por las causas siguientes: disminución de la temperatura, alta concentración de lactosa (mayor al 10%), presencia de altas concentraciones de azúcar añadido (cerca del 40%) y una relativa poca cantidad de agua.

Martinez *et al.* [1990] comprobaron que, si no se reduce el contenido de lactosa, su cristalización en el dulce de leche es inevitable. La práctica comercial común para evitar la cristalización de lactosa es utilizar β -D-galactosidasa para reducir el contenido de lactosa de la leche previo a la elaboración de dulce de leche. Caric [1993] indicó otras alternativas para controlar el crecimiento de cristales hasta 15 [μ m], tamaño en el cual son detectables; una de ellas es la inoculación con cristales de lactosa en polvo (0.5 kg por 1000kg de leche), el proceso se completa con un enfriamiento rápido y agitación simultánea. Otras alternativas son: la adición de 0.5% de leche descremada en polvo o 0.2 – 0.3% de suero de queso en polvo.

Schlimme [2002] indicó que los cristales de lactosa de menos de 10 [μ m] de largo como dimensión característica, no son perceptibles táctilmente en la boca. A partir de un diámetro de 16 [μ m] se pueden percibir sensorialmente los cristales y a partir de un tamaño de 30 [μ m] confieren un sabor arenoso. Los cristales generalmente son grandes traslúcidos y de poco dulzor, causados por enfriamiento muy lento, por llenado de los envases

en caliente o una temperatura superior a 55°C. Se ha reportado, que un incremento de la temperatura desde 30° hasta 50°C duplica la velocidad de crecimiento de los cristales de lactosa, pero a temperaturas superiores no se ha observado un aumento importante [Alves Miranda *et al.*, 2010].

Los resultados de varios trabajos de investigación demostraron que la movilización y ubicación de una pequeña muestra de dulce de leche en un contenedor pequeño, induce a la cristalización de la lactosa. Las bajas temperaturas resultan en un incremento del tamaño de cristal. El efecto de la temperatura en el tamaño del cristal se ve influenciado por la viscosidad; a bajas temperaturas resultan en una disminución de la movilidad en el dulce de leche y, por lo tanto, un aumento en la aglomeración de los cristales de lactosa [Ares y Giménez, 2008].

El dulce de leche cristaliza rápidamente cuando se almacena a temperaturas de refrigeración o congelación. SENATI [2009], con base a varios autores estableció que el mejor intervalo de temperaturas para almacenar dulce de leche se halla entre los 12° y 20 °C, sin embargo, la acción de la temperatura está ligada al uso de materia prima e insumos adecuados. Son útiles también los estabilizadores químicos que se puedan utilizar, debiendo preferir aquellos que estabilicen la proteína de la leche, dificultando al mismo tiempo el movimiento particular en el producto.

3 Metodología

La leche utilizada como materia prima se obtuvo a partir de vacas sanas provenientes de la Hacienda Bellavista del Cantón Salcedo en la Provincia de Cotopaxi; una vez ordeñada fue transportada en condiciones de refrigeración a 5°C hasta el Laboratorio de Ingeniería de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos de la Universidad Técnica de Ambato en Ecuador, para los análisis previos de recepción, la elaboración de dulce de leche y sus posteriores análisis durante el almacenamiento.

El proceso de elaboración de dulce de leche empezó con la recepción de la materia prima; se realizaron los análisis básicos de calidad, para luego proceder al calentamiento hasta 92°C. Posteriormente, se adicionó sacarina comercial para proceder con la evaporación y concentración de só-

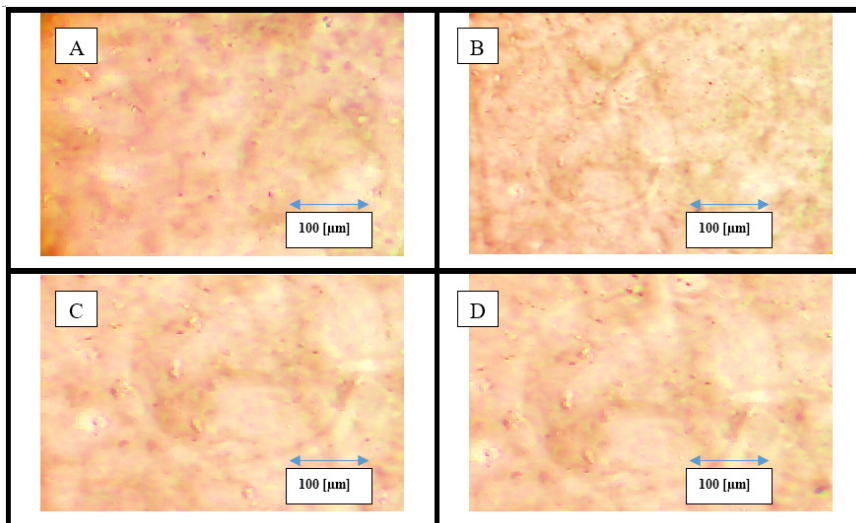
lidos hasta alcanzar los 65°Brix requeridos, luego el producto se enfrió hasta una temperatura de 60-65°C, se envasó en recipientes plásticos y se distribuyó en cámaras de temperatura controlada. Periódicamente se retiraron muestras que fueron utilizadas en las pruebas de microscopía.

Mediante el empleo de un microscopio óptico binocular Olympus y el micrómetro ocular, se procedió a realizar la medida del tamaño promedio de los cristales de lactosa en el producto a los tres, seis, nueve y doce días, de acuerdo con las especificaciones indicadas por Ares y Giménez [2008].

3.1 Cinética del crecimiento de cristales

Fotografías de pruebas preliminares realizadas con la cámara de almacenamiento estabilizada a 15°C, para establecer el orden de la cinética que describe la velocidad de crecimiento de los cristales de lactosa, se indican en la Figura 1.

Figura 1. *Generación y crecimiento de cristales de lactosa observada al microscopio en dulce de leche almacenado a 15°C. (Días de almacenamiento: A – 3; B – 6; C – 9 y D – 12).*

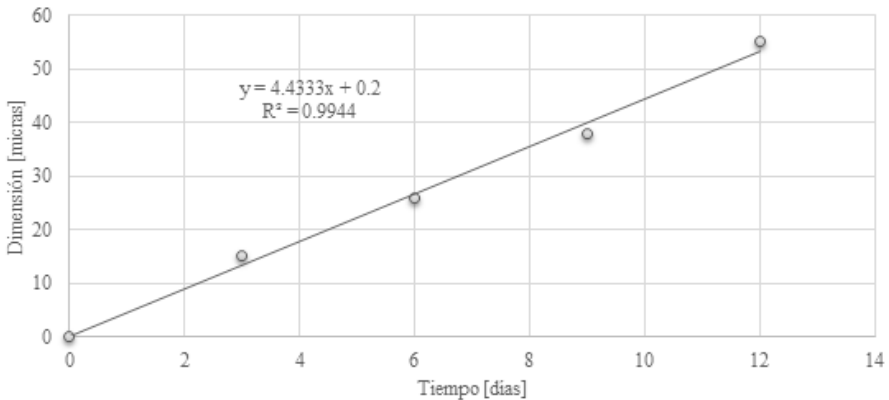


Fotografías proporcionadas por Carlos Martínez y Santiago Jácome. 2011. Comunicación personal.

En la parte A que corresponde a las observaciones realizadas al tercer día, se observa principalmente la formación de cristales con una dimensión del orden de 15 micras; conforme transcurre el tiempo de almacenamiento, partes B, C y D los cristales se agrandan y aparecen los aglomerados de cristales de lactosa que también aumentan de tamaño hasta los 12 días.

En la Figura 2 se observa el aumento del tamaño de los cristales de lactosa conforme transcurre el tiempo de almacenamiento, la relación es lineal lo cual indica que el aumento puede ser considerado constante a intervalos iguales de tiempo. La ecuación de regresión lineal presenta un coeficiente de determinación muy alto ($R^2 = 0.99$) próximo a la unidad.

Figura 2. Dimensión característica de cristales de lactosa como función del tiempo de almacenamiento a 15°C registrados en dulce de leche.



Otros investigadores [Ares y Giménez, 2008; Lloacana, 2009] también indicaron que la cinética de orden cero, descrita por la ecuación lineal, es adecuada para describir la razón del aumento del tamaño de los cristales de lactosa en dulce de leche, con relación al tiempo de almacenamiento. Lo anterior también indica que el crecimiento de los cristales en su etapa inicial es independiente de la concentración

de lactosa, lo cual se explica por la sobresaturación de la lactosa con relación al agua [Holsinger, 1988].

Se debe tener en cuenta que en el dulce de leche la concentración de lactosa es aproximadamente del 10%, expresada en términos del contenido de agua corresponde a un 33%. La solubilidad de la lactosa a 20°C es 17 [g]/100 [g] de agua, en consecuencia, en el dulce de leche siempre existirá una sobresaturación, lo cual rige al fenómeno de crecimiento de cristales hasta que se alcance el punto de saturación.

La ecuación que corresponde a Cero Orden, con un coeficiente de determinación de 0,99 es:

$$L = 4.4333 t + 0.2$$

L es la longitud característica o mayor del cristal expresada en micras y **t** es el tiempo de almacenamiento registrado en días.

Un primer cálculo de vida útil se realiza aceptando como límite el apareamiento del sabor arenoso, que según Schlimme [2002] corresponde a 30 [mm], de manera específica para el caso de mantener el producto a 15°C.

$$L = 4.4333 t + 0.2$$
$$(TVU) = \frac{(L - 0.2)}{4.4333} = \frac{(30 - 0.2)}{4.4333} = 6.7[\text{días}]$$

Este tiempo de vida útil (TVU) es comparable con la denominación de datos de tiempo de venta [Labuza, 1982], pues corresponde a la fecha última en la cual el producto puede venderse permitiendo que el consumidor disponga de un tiempo razonable para utilizarlo y estaría más acorde con la denominación de vida de anaquel.

4 Tiempo de vida útil a temperatura constante

4.1 El modelo de Arrhenius

La ecuación de Arrhenius fue derivada empíricamente basada en consideraciones termodinámicas y describe la velocidad con que una reacción cambia cuando se emplean diferentes temperaturas. La forma más simple de esta ecuación es:

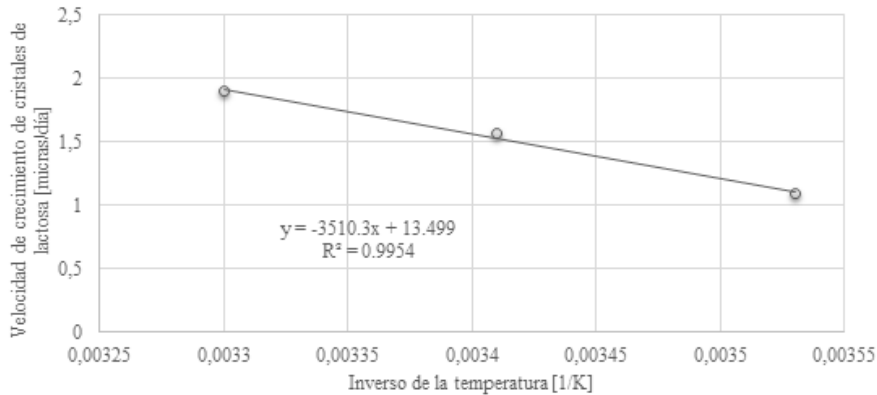
$$\ln(k) = \ln(A) - \frac{E_a}{R \cdot T_a}$$

Donde, **k** es la velocidad de reacción; **A** es un factor pre exponencial; **R** es la constante de los gases ideales (8.314 [kJ/kg.K] o 1.987 [cal/K.mol]), **T_a** es la temperatura absoluta (K) y **E_a** (kJ/kg) es la energía de activación.

El valor de la pendiente de la ecuación lineal de Cero Orden (Figura 2), en el presente caso corresponde a la velocidad de crecimiento de cristales a una determinada temperatura (15°C), lo cual es el equivalente de la velocidad de reacción **k** de la ecuación de Arrhenius; notar que las unidades son [mm/día]. Disponer de estos datos a diferentes temperaturas posibilita mediante un gráfico determinar los valores de **A** y **E_a/R**, a partir del intercepto y de la pendiente [Alvarado, 2014].

En la Figura 3 se representan los datos de la velocidad de crecimiento de cristales de lactosa en dulce de leche como función del inverso de la temperatura absoluta. Por el muy alto coeficiente de determinación, próximo a la unidad, se establece que la ecuación de Arrhenius es adecuada para describir el efecto de la temperatura sobre el fenómeno de crecimiento de cristales en dulce de leche, en un intervalo de 10° a 30°C.

Figura 3. Gráfico tipo Arrhenius para establecer el efecto de la temperatura sobre el crecimiento de cristales de lactosa en dulce de leche.



La ecuación para el presente caso es:

$$\ln(k) = 13.5 - \frac{3510}{T_a}$$

Sirve para calcular el tiempo de vida útil para el dulce de leche almacenado entre 10° y 30°C, siempre que la temperatura de almacenamiento se mantenga constante con fluctuaciones menores a 2°C. Para el caso de mantener el producto a 12°C y fijar, como en el caso anterior, el tamaño de cristales hasta 30 [μm], se obtiene.

$$\ln(k) = 13.5 - \frac{3510}{285.2} = 1.1928$$

$$k = 3.3 \text{ [}\mu\text{m/día]}$$

$$(TVU) = \frac{30[\mu\text{m}]}{3.3[\mu\text{m/día}]} = 9.1[\text{días}]$$

El valor 9.1 [días] que es un poco mayor que el calculado a 15°C, 6.7 [días], confirma el hecho que, a temperaturas menores, 12°C, los

tiempos de vida útil son mayores. Lo contrario sucede cuando se almacena a temperaturas más altas, donde los tiempos de vida útil son más cortos, así a 20°C.

$$\ln(k) = 13.5 - \frac{3510}{293.2} = 1.5286$$

$$k = 4.6 [\mu\text{m}/\text{día}]$$

$$(TVU) = \frac{30[\mu\text{m}]}{4.6[\mu\text{m}/\text{día}]} = 6.5[\text{días}]$$

5 Tiempo de vida útil a temperatura variable

5.1 Cálculo de la temperatura de almacenamiento

En situaciones prácticas de almacenamiento en bodega es muy difícil mantener la misma temperatura; necesariamente ocurren cambios atribuibles a diversas causas, una de ellas el transporte y la movilización del producto hasta llegar a las bodegas. Por ello el cálculo a temperatura constante tiene limitaciones de aplicación; además en ciertos casos interesa conocer la temperatura a la que debe mantenerse el producto para alcanzar una determinada extensión de vida útil. En estos casos se puede utilizar el método siguiente.

Sea el caso de un dulce de leche envasado y mantenido a 31°C durante 24 horas, antes de ser colocado en una cámara de almacenamiento para alcanzar una vida útil en anaquel de 180 horas, se puede calcular la temperatura a la que debe ser regulada la cámara de almacenamiento.

Con el propósito de utilizar la ecuación tipo Arrhenius establecida previamente se fija un intervalo de temperaturas comunes para el almacenamiento de dulce de leche, en el presente caso de 1°C a 35°C. Así para 1°C.

$$\ln(k) = 13.5 - \frac{3510}{274.2} = 0.69912$$

$$k = 2.01 [\mu\text{m}/\text{día}]$$

$$(TVU) = \frac{30[\mu\text{m}]}{2.01[\mu\text{m}/\text{día}]} = 14.9[\text{días}] = 358[\text{horas}]$$

$$\frac{1}{(TVU)} = \frac{1}{358} = 0.00279$$

Cálculos iguales realizados a las diferentes temperaturas seleccionadas, posibilitaron la elaboración de la Tabla 1. Recordar que el límite utilizado para fijar la vida útil es el apareamiento de la arenosidad en el dulce de leche.

Luego se procede a construir un gráfico que relaciona el inverso del tiempo de vida útil con su correspondiente temperatura (Figura 4, izquierda); se obtiene una curva que conduce a la elaboración de una escala de temperaturas corregida, derivada y dependiente del tiempo de vida útil. La escala corregida de temperaturas se grafica con los tiempos de vida útil (Figura 4, derecha).

Se delimita una zona de referencia que define un área correspondiente a la vida útil del producto a una temperatura escogida (26°C – 123 horas), la cual sirve como estándar para realizar comparaciones (20 cuadros). Se grafican los cambios de temperatura conforme transcurre el tiempo de almacenamiento y va delimitándose un área, la cual avanza hasta las 204 (horas), los dos rectángulos deben igualar al área estándar; la altura del segundo rectángulo indica la temperatura a la que debe mantenerse al producto para alcanzar una vida útil de 180 horas en anaquel, en el presente caso 10°C.

Tabla 1. Valores utilizados para el cálculo de tiempos de vida útil (TVU) en dulce de leche.

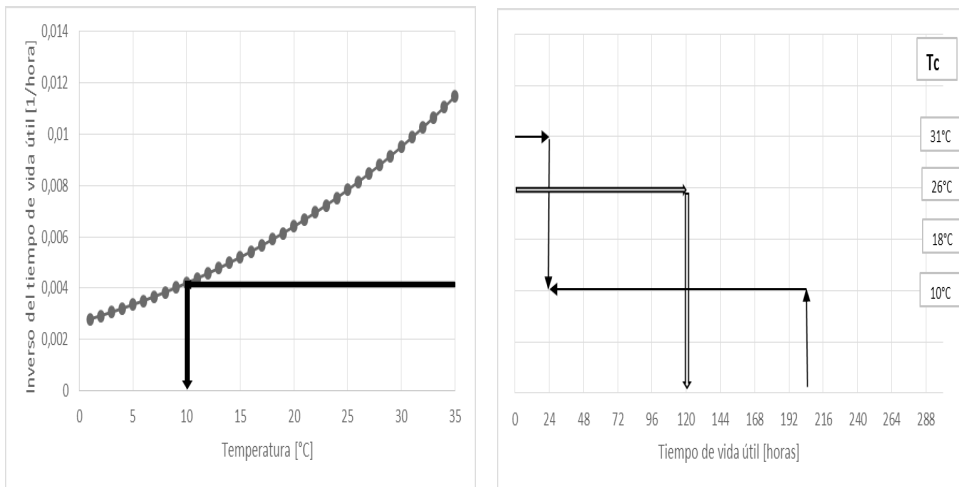
T[°C]	T _a [K]	k [micra/día]	(TVU) [días]	(TVU) [horas]	1/(TVU) [1/hora]
1	274.2	2.01199089	14.9106043	358	0.00279443
2	275.2	2.10778901	14.2329236	342	0.00292748
3	276.2	2.20740479	13.5906201	326	0.00306584
4	277.2	2.31095842	12.9816269	312	0.00320966
5	278.2	2.41857269	12.4040101	298	0.00335913
6	279.2	2.5303731	11.8559591	285	0.00351441
7	280.2	2.64648781	11.3357787	272	0.00367568
8	281.2	2.7670477	10.8418803	260	0.00384312
9	282.2	2.8921864	10.3727754	249	0.00401693
10	283.2	3.02204031	9.92706811	238	0.00419728
11	284.2	3.15674861	9.5034492	228	0.00438437
12	285.2	3.29645327	9.1006902	218	0.00457841
13	286.2	3.44129914	8.71763796	209	0.00477958
14	287.2	3.59143388	8.35320961	200	0.0049881
15	288.2	3.74700805	8.00638792	192	0.00520418
16	289.2	3.9081751	7.67621696	184	0.00542802
17	290.2	4.07509141	7.36179806	177	0.00565985
18	291.2	4.24791626	7.06228611	169	0.00589988
19	292.2	4.42681193	6.77688604	163	0.00614835
20	293.2	4.61194366	6.50484963	156	0.00640548
21	294.2	4.80347966	6.24547247	150	0.0066715
22	295.2	5.00159118	5.99809119	144	0.00694665
23	296.2	5.20645248	5.76208083	138	0.00723118
24	297.2	5.41824086	5.53685242	133	0.00752533
25	298.2	5.63713669	5.32185073	128	0.00782936
26	299.2	5.86332341	5.11655215	123	0.0081435
27	300.2	6.09698754	4.92046274	118	0.00846804
28	301.2	6.33831871	4.73311636	114	0.00880322
29	302.2	6.58750966	4.55407302	109	0.00914932
30	303.2	6.84475626	4.38291721	105	0.00950661

Tabla 1. Valores utilizados para el cálculo de tiempos de vida útil (TVU) en dulce de leche (continuación).

T[°C]	T _a [K]	k [micra/día]	(TVU) [días]	(TVU) [horas]	1/(TVU) [1/hora]
31	304.2	7.11025751	4.21925647	101	0.00987536
32	305.2	7.38421558	4.06271996	98	0.01025585
33	306.2	7.66683577	3.91295717	94	0.01064838
34	307.2	7.95832659	3.7696367	90	0.01105323
35	308.2	8.25889969	3.63244513	87	0.01147069

Si el producto está sujeto a otras variaciones de temperatura, las mismas se incluyen en el trazado y puede determinarse la temperatura final de almacenamiento, como en el caso anterior.

Figura 4. Gráficos para el cálculo de la temperatura de almacenamiento en dulce de leche.



5.2 Cálculo de tiempos de vida útil

El dulce de leche se almacena para la venta en estanterías sin control de temperatura o con refrigeración, pues el elevado contenido de sólidos hace que sea resistente al ataque de microorganismos por su baja actividad acuosa, aproximadamente 0.83 [Alvarado, 2012]; en consecuencia, el producto puede ser clasificado en el grupo de los semiperecederos y su aceptación por parte del consumidor está limitada por cambios sensoriales.

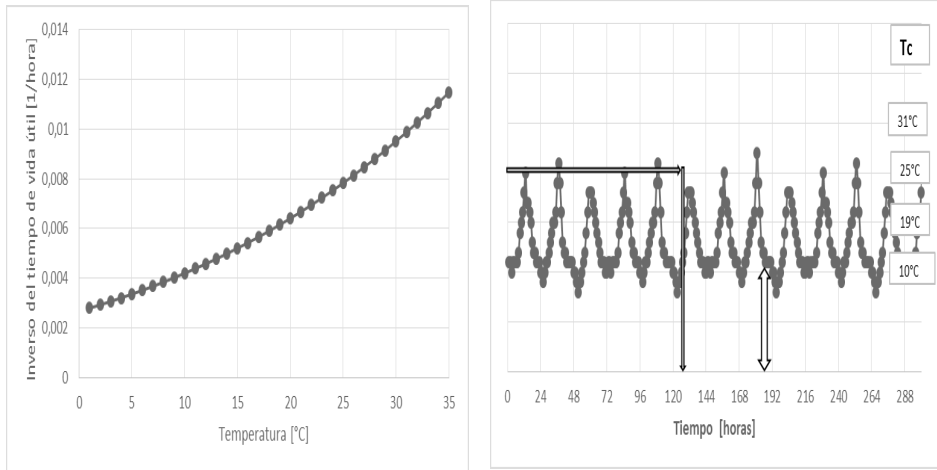
Si al producto se lo coloca en estanterías, necesariamente estará sometido a las variaciones de temperatura propias del día, temperaturas más bajas durante la noche y más altas durante el día, dependiendo de la localidad geográfica y otros factores que influyen en el clima. Por ello el enfoque de temperatura variable es el que de alguna manera nos acerca a la realidad, para intentar calcular tiempos de vida útil.

Las variaciones de temperatura registradas durante cada día son cíclicas, pero totalmente irregulares, no se repiten, día a día existen diferencias con pequeñas o medianas diferencias que aparecen en el transcurso del año si la época es lluviosa o seca. Por ello se requiere utilizar datos específicos y confiables para usarlos en los cálculos.

Como en el caso anterior se requiere construir un gráfico que relacione los inversos de los tiempos de vida útil calculados a las distintas temperaturas, obtener la función no lineal y construir la escala de temperaturas corregida. En la parte izquierda de la Figura 5 se observa lo indicado.

En la parte derecha de la Figura se representan en el eje de ordenadas la escala de temperaturas corregidas y en abscisas el tiempo de vida útil. El área estándar para comparación se la hace a 25°C que corresponde una vida útil de 128 horas (Tabla 1).

Figura 5. Gráfico para el cálculo del tiempo de vida útil en dulce de leche de leche.



También están graficadas las variaciones diarias de temperatura registradas en la ciudad de Ambato durante un período de aproximado de dos semanas. Se puede apreciar que, si bien existe un aumento de la temperatura seguido de una disminución durante la noche; en los distintos días los datos no se repiten, existen diferencias que dificultan su cuantificación en términos de áreas.

La integración del área puede ser hecha por distintos métodos; una alternativa viable es sobreponer una cuadrícula milimétrica y contar el número de cuadros del área estándar y del área delimitada por la línea que describe los cambios de temperatura; cuando se iguala el número de cuadros se lee en el eje de abscisas las horas que corresponden al tiempo de vida útil, en el presente caso 180 (horas).

El tiempo de vida útil calculado es de 7.5 (días), es decir que se dispone de una semana para vender el envase con dulce de leche, antes que los cristales de lactosa alcancen un tamaño de 30 (mm) y el consumidor detecte en su boca sensaciones de corpúsculos pequeños, fenómeno denominado arenosidad.

6 Comentarios finales

Los valores de tiempo de vida útil, obtenidos utilizando como indicador el crecimiento de cristales de lactosa resultan estrictos, corresponderían a un alimento de tipo perecedero que no es el dulce de leche por su elevado contenido de azúcares y la baja humedad. Se requiere aumentar el límite del tamaño de los cristales, hasta un valor que sea más consistente con el tiempo real de rechazo del producto por parte del consumidor, considerando que no hay riesgo para su salud. Sin embargo, lo destacable es que los resultados muestran que la formación y crecimiento de cristales en dulce de leche es un problema inevitable y se requiere mejorar la tecnología para controlarlo; lo anterior explica que en varios países se incluye el proceso de cristalización, para que los cristales sean numerosos pero pequeños [Caric, 1993] o el tratamiento enzimático previo en la leche para reducir el contenido de lactosa [Martinez *et al.*, 1990]. La retroalimentación de los datos para mejorar o innovar tecnologías, es el resultado relevante de los métodos de cálculo de tiempos de vida útil, lo cual abre nuevos horizontes para el trabajo del ingeniero de alimentos o del técnico de alimentos.

Muchos indicadores se pueden utilizar para determinar la vida útil del dulce de leche, además de los físicos como el crecimiento de cristales, entre ellos están los microbiológicos, pues como no se trata de un producto esterilizado está propenso a daño microbiano; puede crecer cierto tipo de levaduras osmofílicas las cuales producen gas y abombamiento del envase, además de coagulación y malos olores. Hongos especialmente del tipo *Penicillium* pueden crecer en la superficie si existen condiciones aerobias y húmedas.

Lo señalado por Martins *et al.* [2008], con relación al trabajo de obtener datos de vida de anaquel o vida útil, lo cual constituye una de las responsabilidades más difíciles en ingeniería de alimentos, es una verdad que debe ser tomada en cuenta para cualquier cálculo que se realice. Incluir en los análisis todos los servicios utilizados en la producción, distribución y consumo, llevaría a que cada producto, o al menos cada lote de producto debería tener su propio tiempo de

vida útil, pues la materia prima nunca será exactamente la misma. Además, como se indicó, las variaciones de temperatura a la que estará sujeto son únicas y particulares, pues también dependen de la localización geográfica. Por ello se requiere hacer aproximaciones que puedan incluir la globalidad del producto y seleccionar indicadores que reflejen el inicio del deterioro y sean representativos de los cambios que han ocurrido y ocurrirán en el alimento. Es válido entonces aceptar que el advenimiento de la nanotecnología, sensores múltiples, sistemas de información y sistemas complejos pueden revolucionar la vía para el manejo, distribución y consumo de alimentos, con la optimización de nuevos **métodos** prácticos para que sean utilizados en la elaboración de modelos predictivos de vida útil.

Referencias bibliográficas

- ALVARADO, J.D.D. *Propiedades Termodinámicas Relacionadas con el Agua Constitutiva de Alimentos*. Ambato, Ecuador: Universidad Técnica de Ambato, GRAFITEXT, 2012. 308 p.
- ALVARADO, J.D.D. *Principios de Ingeniería Aplicados en Alimentos*. 2 ed. Ambato, Ecuador: Universidad Técnica de Ambato, MEGAGRAF, 2014. 478 p.
- ALVES MIRANDA, E., BERNARDO, A., ATSUKO, G., HIRATA, M. Y GIULIETTI, M. Crystallization of lactose and whey protein. En: COIMBRA Y TEIXEIRA. *Engineering aspects of milk and dairy products*. Boca Raton, FL: CRC Press/Taylor & Francis Group, 2010, p. 121-154.
- ARES, G. Y GIMÉNEZ, A. Influence of temperature on accelerated lactose crystallization in dulce de leche. *International Journal of Dairy Technology*, 2008, vol. 61, no. 3, p. 277-283. 10.1111/j.1471-0307.2008.00403.x
- BARBANO, D.M., MA, Y. Y SANTOS, M.V. Influence of Raw Milk Quality on Fluid Milk Shelf Life. *Journal of Dairy Science*, 2006, vol. 89, p. E15-E19. 10.3168/jds.S0022-0302(06)72360-8
- BRODY, A.L. Predicting packaged food shelf life. *Food technology*, 2003, vol. 4, p. 100-102.
- CARIC, M. Concentrated and Dried Dairy Products. En: HUI. *Dairy Science and Technology Handbook. 2. Product Manufacturing*. New York. USA: Wiley-VCH. Inc., 1993, p. 270-271.
- CODEX ALIMENTARIUS. Sección II: Definiciones. Directrices para el diseño de las medidas de control de los alimentos vendidos en las vías públicas de África. En: *Requisitos generales (Higiene de los alimentos). Suplemento al volumen 1B*. Roma, Italia: Codex Alimentarius - Comisión conjunta FAO-OMS, 1998, p. M-83.

- CHANDAN, R.C. Y KILARA, A. *Dairy Ingredients for Food Processing*. Wiley-Blackwell, 2011. 604 p.
- CHARM, S. Food engineering applied to accommodate food regulations, quality and testing. *Alimentos ciencia e ingeniería*, 2007, vol. 16, no. 1, p. 5-8.
- DALGAARD, P. Modelling of microbial activity and prediction of shelf life for packed fresh fish. *International Journal of Food Microbiology*, 1995/08/01/ 1995, vol. 26, no. 3, p. 305-317. [https://doi.org/10.1016/0168-1605\(94\)00136-T](https://doi.org/10.1016/0168-1605(94)00136-T)
- GEERAERD, A.H., HERREMANS, C.H., CENENS, C. Y VAN IMPE, J.F. Application of artificial neural networks as a non-linear modular modeling technique to describe bacterial growth in chilled food products. *International Journal of Food Microbiology*, 1998/10/20/ 1998, vol. 44, no. 1, p. 49-68. [https://doi.org/10.1016/S0168-1605\(98\)00127-5](https://doi.org/10.1016/S0168-1605(98)00127-5)
- GIBBS, P. Y WILLIAMS, A. Using mathematics for shelf life prediction. *Food Technol. Int. Europe*, 1990, vol. 12, p. 287-290.
- GOFF, H. Y HILL, A. Chemistry and Physics. En: HUI. *Dairy Science and Technology Handbook. 1. Principles and Properties*. New York. USA: Wiley-VCH. Inc., 1993, p. 26-28.
- HOLSINGER, V.H. Lactose. En: WONG, *et al. Fundamentals of Dairy Chemistry*. Boston, MA, USA: Springer US, 1988, p. 279-342.
- HOUGH, G., GARITTA, L. Y GÓMEZ, G. Sensory shelf-life predictions by survival analysis accelerated storage models. *Food Quality and Preference*, 2006/09/01/ 2006, vol. 17, no. 6, p. 468-473. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2005.05.009>
- INEN. NTE INEN 700. Dulce de Leche. Requisitos. En. Quito, Ecuador: Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2011, vol. 700, p. 4.
- JAMES, S.J. Y EVANS, J.A. Predicting the reduction in microbes on the surface of foods during surface pasteurisation—the ‘BUG-DEATH’ project. *Journal of Food Engineering*, 2006/09/01/

2006, vol. 76, no. 1, p. 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.jfood-eng.2005.05.011>

LABUZA, T.P. *Shelf-life Dating of Foods*. Westport, Connecticut, USA: Food & Nutrition Press, Inc., 1982. 500 p.

LAMONTHE, L.M. Efecto de la temperatura de enfriamiento y formulación en la elaboración de Dulce de Leche. Tesis de Ingeniería Agroindustrial. Zamorano-Honduras: Escuela Agrícola Panamericana, El Zamorano, Programa de Ingeniería en Agroindustria Alimentaria, 2006. 38 p.

LLOACANA, L. Empleo de la Leche de Soya (*Glycine max*) en la Elaboración de Dulce de Leche. Tesis de Ingeniero en Alimentos. Ambato, Ecuador: Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería de Alimentos, 2009. 93 p.

MARTINEZ, E., HOUGH, G. Y CONTARINI, A. Sandiness Prevention in Dulce de Leche by Seeding with Lactose Microcrystals. *Journal of Dairy Science*, 1990/03/01/ 1990, vol. 73, no. 3, p. 612-616. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(90\)78710-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(90)78710-3)

MARTINS, R.C., LOPES, V.V., VICENTE, A.A. Y TEIXEIRA, J.A. Computational Shelf-Life Dating: Complex Systems Approaches to Food Quality and Safety. *Food and Bioprocess Technology*, September 01 2008, vol. 1, no. 3, p. 207-222. [10.1007/s11947-008-0071-0](https://doi.org/10.1007/s11947-008-0071-0)

MCDONALD, K. Y SUN, D.-W. Predictive food microbiology for the meat industry: a review. *International Journal of Food Microbiology*, 1999/11/01/ 1999, vol. 52, no. 1, p. 1-27. [https://doi.org/10.1016/S0168-1605\(99\)00126-9](https://doi.org/10.1016/S0168-1605(99)00126-9)

MORO, O. Y HOUGH, G. Total Solids and Density Measurements of Dulce de Leche, a Typical Argentine Dairy Product. *Journal of Dairy Science*, 1985/03/01/ 1985, vol. 68, no. 3, p. 521-525. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(85\)80853-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(85)80853-5)

ORTEGA, A. Y RIVAS, C. Utilización de la leche de maíz suave (*Zea mays amylacea*) choclo, como sustituto de la leche de vaca en la elaboración de dulce de leche. Tesis de Desarrollo Integral Ag-

- ropecuario. Tulcán. Ecuador: Universidad Politécnica Estatal del Carchi, 2013. 89 p.
- PIN, C. Y BARANYI, J. Predictive models as means to quantify the interactions of spoilage organisms. *International Journal of Food Microbiology*, 1998/05/05/ 1998, vol. 41, no. 1, p. 59-72. [https://doi.org/10.1016/S0168-1605\(98\)00035-X](https://doi.org/10.1016/S0168-1605(98)00035-X)
- ROSS, T. Y MCMEEKIN, T.A. Predictive microbiology. *International Journal of Food Microbiology*, 1994/11/01/ 1994, vol. 23, no. 3, p. 241-264. [https://doi.org/10.1016/0168-1605\(94\)90155-4](https://doi.org/10.1016/0168-1605(94)90155-4)
- SCHLIMME, E. *La leche y sus componentes Propiedades químicas y físicas*. . Zaragoza, España: Editorial Acribia, SA, 2002. 121 p.
- SENATI *Elaboración de manjar blanco - documento de consulta*. Lima, Perú: Servicio Nacional de Adiestramiento en Trabajo Industrial, 2009.
- SIDDIQUE, F., ANJUM, F.M., HUMA, N. Y JAMIL, A. Effect of different UHT processing temperatures on ash and lactose content of milk during storage at different temperatures. *Int. J. Agric. Biol*, 2010, vol. 12, no. 3, p. 439-442.
- SINGH, R.P. Y HELDMA, D.R. *Introducción a la ingeniería de los alimentos*. Zaragoza, España: Editorial Acribia, 2009. 576 p.
- WALSTRA, P., WOUTERS, J.T. Y GEURTS, T.J. *Dairy science and technology*. Boca Raton, FL. USA: CRC press, 2006. 768 p.
- WILLIAMS, T. *The Principles Involved in the Determination of Product Shelf-life*. London. UK: Leatherhead Food Research Association, 1992.
- ZUNINO, A. Dulces de leche, aspectos básicos para su adecuada elaboración. En. Buenos Aires, Argentina Publicación Técnica del Dep- to. de Fiscalización de Industrias Lácteas. Ministerio de Asuntos agrarios y Produccion, 2009, p. 28.

PANELITAS DE LECHE

Juan Sebastián Ramírez-Navas

<https://orcid.org/0000-0002-6731-2784>

1 Introducción

Colombia, debido a su privilegiada posición geográfica (zona intertropical entre los 12° 30' de longitud norte y los 4° 13' de latitud sur) posee toda clase de pisos térmicos e infinidad de ambientes, además de costas en los dos océanos. Es uno de los países con mayor biodiversidad en el ámbito mundial. Es país de contrastes, debido a las características propias de su gente, regiones, costumbres, tradiciones, creencias, gastronomía, expresiones folclóricas, etc. La cocina colombiana se destaca por sus raíces, un poco de la colonia y otro tanto del mestizaje, de las migraciones y los procesos de población territorial [Iriarte, 2000; Mantilla y Quintero, 2012].

La geografía dulce de Colombia cumple cabalmente al presentarse como muestra física de una manifestación cultural tan importante como lo es la cocina de un país, lo cual requiere establecer analogías, diferencias y relaciones entre las regiones de Colombia. Esto se puede ver reflejado en la participación de dos ingredientes básicos, el azúcar y la leche, pues, aunque su producción masiva se da en ciertas regiones del país, ambas se complementan de forma especial en la elaboración de postres tales como los dulces de leche [Estrada, 1987; Novoa y Ramírez-Navas, 2012b].

En 1538, Pedro de Heredia introdujo a Colombia, por Cartagena de Indias, la caña de azúcar (materia prima del azúcar). Posteriormente,

en 1540 Sebastián de Belalcázar la llevó a Santiago de Cali [Ramos, 2005] y desde ese entonces se cultiva en la región. Actualmente, el sector azucarero de Colombia se encuentra concentrado en el valle del río Cauca, que va desde el norte del departamento del Cauca hasta el sur de Risaralda. Siendo éste, uno de los sectores influyentes de la economía del país, representando el 0,7 % del PIB de Colombia [Asocaña, 2018; Asocaña, 2012].

Por otra parte, con relación a la leche, Ramírez-Navas [2010] señala que el arte rupestre andino no muestra ningún indicio ni del ordeño ni de ubres de abultamiento visible. Ninguno de los mitos andinos relata el fenómeno de ordeño. Tampoco los cronistas coloniales comentan sobre el ordeño como costumbre en el Imperio Inca. Nunca usaron ni tenían conocimiento de productos lácteos ni tampoco tenían animales que les proveyeran de leche; esto hace pensar que los orígenes de la producción lechera en Colombia se remontan a la época de la colonia española, aunque la importación de razas especializadas en leche solo se dio hasta el siglo XIX.

En la actualidad, la zona lechera colombiana se concentra en los departamentos de Antioquia, Cundinamarca, Boyacá, Córdoba, Cesar y Magdalena. Este sector representa el 2,3% de PIB nacional y el 24,3% del PIB agropecuario; con una producción de leche, para el año 2017, de aproximadamente 6838 millones de litros, de los cuales el 46% se destinó a procesos industriales, el 10% al consumo en finca y el 44% restante a la elaboración de derivados artesanales. Se estima que la producción de dulces de leche para el 2016 fue de 18 000 ton [DANE, 2016; Federación Colombiana de Ganaderos, 2009, 2012; Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2010; Pinto, 2017].

En Colombia, se fabrican diversas variedades de dulces de leche [Ortiz, 1998], por ejemplo: las panelita de leche [Cortés Jiménez *et al.*, 2014] y el Manjar Blanco del Valle [Novoa y Ramírez-Navas, 2012b]. Las diferentes clases de dulces incluyen variaciones fundamentales de materias primas utilizadas, además de la leche, así como en algunos pasos de la tecnología [UNC, 1988]. En este capítulo se presenta el proceso elaboración de las panelitas de leche, además de la importancia de sus materias primas y los posibles defectos del producto final.

2 Panelitas

En Colombia, las “panelitas de leche” o tan solo “panelitas” son un producto obtenido mediante la concentración por evaporación de una mezcla de leche, harina, azúcar y/o panela, en presencia de un neutralizante como bicarbonato [Servicio Nacional de Aprendizaje, 2010]. Existen dos presentaciones básicas, las panelitas blancas y las panelitas negras; en las primeras se usa azúcar blanca y en las segundas panela [Neira Bermúdez y López Torres, 2010]. También existen variedades donde la leche ha sido cuajada previamente a la elaboración de la panelita u otras en las que se reemplaza el azúcar por melado y miel de abejas, obteniéndose una especie de caramelo masticable [UNC, 1988].

2.1 Características organolépticas

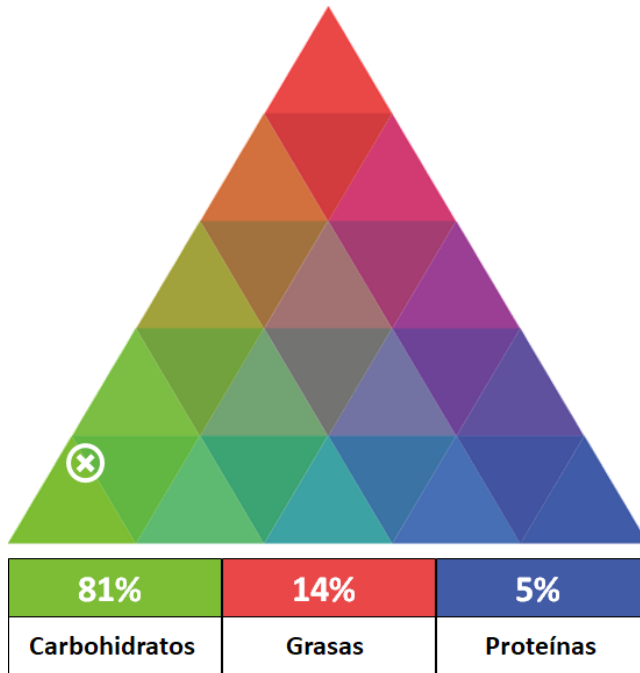
Su consistencia es moderadamente dura, seca, algunas variedades son arenosas y quebradizas. Posee una alta concentración de sólidos (aproximadamente 74°Bx), con una humedad residual máxima de 4% [ICONTEC, 2008a]. Su color es ámbar de intensidad moderada, que puede oscilar entre tonos claros a muy oscuros, ambos con poca brillantez. Su sabor es dulce sobresaliente en intensidad moderada, con aroma lácteo.

2.2 Composición

La composición de las panelitas varía de acuerdo al tipo de panelita. Un rango aproximado de su composición es: de 74% a 80% de carbohidratos, de 4% a 18% de humedad, de 2% a 11% de materia grasa, de 3% a 6% de proteína y de 2% a 6% de cenizas. Su acidez (%A.L.) está entre 0.20 y 0.40. Su aporte calórico está entre 1400 y 1900 kJ/100g [ICBF, 2010; Keating y Rodríguez, 1999; Ortiz Álvarez *et al.*, 2017; Servicio Nacional de Aprendizaje, 2010]. En la Figura 1 se presenta la pirámide calórica, que muestra qué porcentaje de las calorías de las panelitas proviene de los carbohidratos, grasas y proteínas. En esta representación se observa que este alimento se ubica en el borde inferior izquierdo, esto quiere decir, que es un alimento bajo en grasa y proteína, y alto en carbohidratos. Los alimentos que tienen aproximadamen-

te el mismo número de calorías aportadas por grasas, carbohidratos y proteínas se encuentran más cerca del centro de la pirámide.

Figura 1. *Radio Calórico.*



3 Manufactura

3.1 Materia prima e ingredientes

3.1.1 Leche

La composición de la leche y las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas determinan la calidad del producto final al elaborar panelitas; por tal motivo, es importante contar con leche fresca, cruda, que provenga de vacas sanas. Se deben excluir totalmente las leches mastíticas, anormales, calostrales, etc., así como leches con materias extrañas, antibióticos, plaguicidas, detergentes y desinfect-

tantes [UNC, 1988]. Leches de mala calidad pueden contaminar el producto con microorganismos extraños que provocan fermentación de la lactosa y producen defectos sensoriales en el producto final.

El empleo de leche en polvo se realiza con el fin de estandarizar los sólidos de la leche, logrando así incrementar el rendimiento de la producción. También se logra, con el empleo de ésta, que el dulce no se deposite sobre las paredes de la paila y se llegue con mayor prontitud al color deseado.

La leche puede ser fluida o en polvo reconstituida, entera o parcialmente descremada, según el contenido de grasa inicial y final del dulce deseado. Controlando variables como: relaciones de grasa - proteína, contenido de humedad, contenido de calcio y pH, se logran altos rendimiento en la producción. El valor del pH debe estar entre 6,5 a 7 y el de la acidez de 18°D².

3.1.2 Edulcorantes

Los edulcorantes naturales más utilizados en la elaboración de panelitas son, azúcar refinado, azúcar morena, panela y miel de abejas. Además de aportar sabor dulce característico, tienen un papel importante en la determinación del color del producto final, ya que dan lugar a reacciones de caramelización, generando pardeamiento, e influyen también en la textura o consistencia del producto final [Roca, 2011]. Adicionalmente, su alta concentración en el producto evita el crecimiento de bacterias contaminantes [UNC, 1988].

La formulación debe ser establecida teniendo en cuenta el grado de concentración del producto final. La proporción de leche:azúcar que se debe utilizar depende de: 1) La concentración final del producto. A medida que aumenta la concentración, disminuye la cantidad de agua, impidiendo la solubilidad del azúcar y produciendo la cristalización, de tal forma que, a mayor concentración final, menor

2 La acidez Dornic es la cantidad de hidróxido de Sodio N/9 (cm³) utilizada para valorar 10 cm³ de leche en presencia de fenolftalina (N/9 porque el ácido láctico tiene peso molecular 90). Representa el contenido de ácido láctico en la leche y se expresa como grado Dornic (°D).

cantidad de azúcar debe usarse. 2) El porcentaje de grasa. A mayor porcentaje de grasa en la leche, es mayor la concentración de sólidos totales (ST), permitiendo un mayor agregado de azúcar y viceversa. 3) El tiempo entre la elaboración y el consumo. A mayor tiempo de conservación, hay mayor evaporación del producto, por lo tanto, debe adicionarse menos azúcar. Por ejemplo, se puede emplear un 50% de edulcorante, que puede ser solamente azúcar refinado o una mezcla constituida así: entre el 45% al 50% de azúcar refinado, o 20% al 30% de azúcar morena, o 10% al 20% de panela, y alrededor del 5% de miel de abejas.

La miel de abejas es el producto alimenticio producido por las abejas melíferas, el cual posee una apariencia de fluido amarillento y muy dulce [RAE, 2001; Vicente, 1999]. Este tipo de producto se recomienda adicionarlo a la preparación desde el principio del proceso junto con el azúcar, para que durante el proceso su sabor se distribuya uniformemente [Parra, 2013].

En la formulación de panelitas se puede adicionar glucosa. El jarabe de glucosa es un derivado vegetal, fácilmente digestible. Su poder edulcorante es inferior al de la sacarosa. Es muy usada en la fabricación de caramelos para evitar la recristalización. En el caso de las panelitas su empleo confiere al producto final brillo, un color agradable y mejor textura. Se sugiere su adición entre un 5% y 10% respecto a la cantidad de leche a utilizar. Cuando la leche se ha hidrolizado previamente debe disminuirse la cantidad de glucosa a emplear.

3.1.3 Harinas y almidón

La normatividad colombiana indica que la harina de arroz, trigo, maíz o almidón pueden ser utilizados en el manjar blanco, las panelitas de leche y las cocadas, más no en arequipe y demás dulces de leche [ICONTEC, 2008b; MinSalud, 1986]. El objeto de adicionar harinas o almidón es aumentar el contenido de sólidos para incrementar la consistencia del producto [UNC, 1988]. Entre las harinas empleadas para la fabricación de panelitas se encuentran la de arroz, la de maíz blanco y la de trigo; también se utiliza almidón de

maíz ceroso. Este último es ampliamente usado en las industrias por proporcionar propiedades funcionales, tales como gelificante, espesante, unión, y adhesión [Wang *et al.*, 2001]. Estas propiedades son aprovechadas para adquirir mayor rendimiento y mejor textura en las panelitas [Zunino, 2009]. En la Tabla 1 se presentan valores de referencia de la composición de harinas utilizadas en la fabricación de panelitas.

Tabla 1. *Composición de harinas empleadas en la elaboración de panelitas.*

Composición	Harina de arroz	Harina de maíz blanco	Harina de trigo	Almidón de maíz
Agua g.	11,9	12	12,9	8,3
Proteína g.	6	9,1	11,8	0,3
Grasa total g.	1,4	3,7	1	0,1
Carbohidratos g.	80,1	71,9	73,2	91,3
Fibra total g.	2,4	2	0,5	0,9
Cenizas g	0,6	1,3	0,6	0,1

Fuente: ICBF [2005]

Por cada 100 L de leche procesada suele usarse, en promedio: 2947 g de harina de maíz, o 2410 g de harina de arroz, o 1960 g almidón de maíz, o 728 g de harina de trigo. Las de mayor frecuencia de uso son las harinas de trigo y maíz. Sin embargo, hay empresas artesanales que no emplean ningún tipo de harina o almidón. Por otra parte, hay un pequeño segmento que utilizan gomas como espesante.

Varios investigadores han centrado sus trabajos en evaluar el efecto del empleo de mezclas de estas harinas. Por ejemplo, Prado Cadavid

y Prieto Vallecilla [2018] emplearon mezclas binarias de harina de arroz y almidón de maíz en la elaboración de Manjar Blanco del Valle, encontrando que la adición del almidón de maíz generó productos más estables, con mejores características sensoriales y mejores parámetros de calidad. También se han empleado otros tipos de harinas, como la de banano verde. Por ejemplo, Rodríguez Moreira y Araujo Anchundia [2016], utilizaron harina de banano verde en la elaboración de manjar de leche; observaron que la aplicación del 1% de ésta no afectaba las propiedades sensoriales ni la calidad del producto final.

3.1.4 Espesantes y estabilizantes

Como espesantes/estabilizante existen diversos productos que pueden ser utilizados: ácido algínico, alginato de amonio, alginato de calcio, carragenina, incluida furcelleran, y sus sales de sodio y potasio, pectina y pectina amidada, alginato de potasio, alginato de propenicol, alginato de sodio, agar, carboximetilcelulosa, carboximetilcelulosa sódica, metilcelulosa, metiletilcelulosa, hidroxipropilcelulosa, goma arábica, goma xántica, goma garrofin, goma caraya, goma gellan, goma tragacanto, goma konjac, gelatina, celulosa microcristalina, todos ellos deben emplearse en una concentración máxima de 5g/kg de producto final. En el caso de usarse en mezclas, no podrá ser superior a 20g/kg de producto final

En el caso de las gomas, la adición puede hacerse al principio o cuando la mezcla haya alcanzado entre 55°Bx y 60 °Bx. Cada marca o firma comercial tiene sus recomendaciones al respecto. Un valor recomendable en la elaboración de panelitas es 2% a 5%. También puede emplearse pectina, que ayuda a incrementar la vida útil del producto y evita la recristalización de los azúcares.

Para darle más estabilidad a la proteína se puede adicionar citrato de sodio o potasio, u ortofosfato y pirofosfato de sodio y potasio en una proporción que no exceda 0,6 g/L de mezcla inicial. El fósforo tricálcico puede agregarse para mejorar el brillo y la apariencia de las panelitas, ya que éste evita la precipitación de las proteínas durante la elaboración.

3.1.5 Neutralizantes

Comúnmente se utiliza el bicarbonato de sodio para neutralizar o reducir la acidez de la leche. Al ser usado en pequeñas proporciones no comunica gusto desagradable a la panelita. También puede emplearse hidróxido de calcio, que además de neutralizar la leche aporta iones Ca^{++} que mejoran la textura del producto final.

3.1.6 Saborizantes y aromatizantes

Como saborizantes, comúnmente se utiliza canela, limón o vainilla [UNC, 1988]. La canela es una corteza amarillosa y aromática, de sabor picante y dulce [Fonnegra y Jimenez, 2007]. Por su efecto aromático, al igual que con la miel, se recomienda su inclusión al principio del proceso, para que de esta manera durante el tiempo de residencia se liberen la mayor cantidad de compuestos aromáticos [Parra, 2013]. Algunos artesanos agregan corteza de limón al momento de moldear las panelitas, con el objetivo de producir una combinación de sabores dulce, ácido y amargo, que enmascaran un dulzor muy elevado [Parra, 2013].

Como aromatizante se emplea la vainilla y sus derivados, ya sean naturales o artificial como la etil-vainillina. La cantidad a adicionar depende de la calidad del aromatizante, por lo tanto, lo más recomendable es ajustar la dosificación realizando algunos ensayos organolépticos. La vainillina se labiliza a altas temperaturas, por esta razón, debe agregarse al momento del enfriamiento, cuando la temperatura esté cerca de los 65°C.

3.1.7 Conservantes

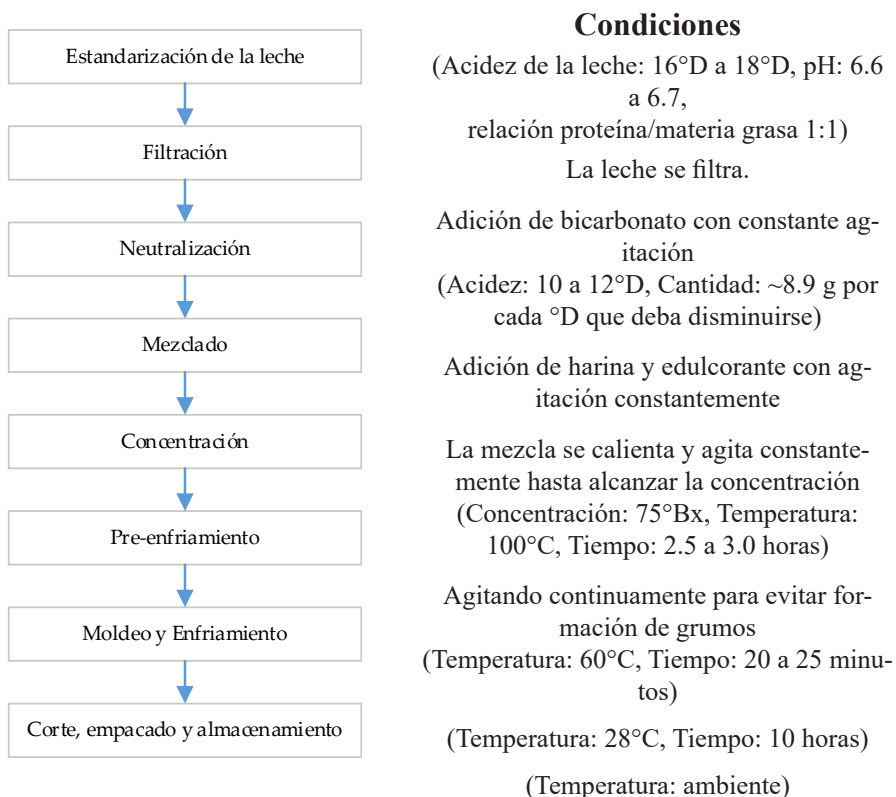
El citrato de sodio puede utilizarse como conservante, regulador de acidez y estabilizante. Se adiciona con el objetivo de evitar la formación de pequeños coágulos de proteína desnaturizada debido al drástico tratamiento térmico a que es sometida la leche. De otro modo, actúa como protector de la micela de caseína. Se recomienda adicionarlo en una proporción del 0.03%.

También se pueden emplear como conservante ácido sórbico y sus sales de sodio, potasio o calcio, en una proporción máxima de 600 mg/kg, o natamicina por atomización sobre la superficie del producto empacado antes de tapar, en una proporción de 1 mg/dm².

3.2 Proceso de elaboración y recomendaciones

En la Figura 1 se presenta el diagrama de flujo del proceso de elaboración de las panelitas [Ortiz Álvarez *et al.*, 2017].

Figura 2. Diagrama de flujo y condiciones de elaboración de panelitas de leche.



A continuación, se describe detalladamente el proceso de elaboración de panelitas:

3.2.1 Filtración

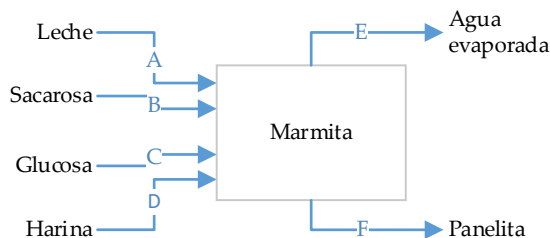
El propósito de la filtración es eliminar elementos ajenos a la leche, que pueden afectar de forma negativa la calidad del producto final; para este fin se utilizan herramientas como coladores, cedazos o tamices, en materiales de acero inoxidable, nylon o plástico, pues otros materiales como telas y lonas pueden dificultar la desinfección de los mismos y convertirse en fuente de microorganismos indeseables en el producto. Se usan de telas, las lonas no son recomendables para el filtrado, ya que éstas presentan dificultad en el lavado y desinfección. El filtro debe mantenerse en perfectas condiciones higiénicas, el lavado debe ser frecuente, para evitar que la leche arrastre consigo los microorganismos que han ido acumulando en él [UNC, 1988].

3.2.2 Estandarización

Esta etapa es muy importante ya que permite obtener productos con las mismas características. Por ejemplo, si se trabaja con leche cruda, es preferible estandarizarla previamente para que la relación de materia grasa/proteína sea de 1:1. A través de la composición centesimal de la leche fluida puede hacerse el cálculo para saber si se requiere sustraer o adicionar materia grasa según el tipo de panelita deseada. Una práctica interesante para realizar la estandarización de la leche de entrada es emplear leche en polvo descremada.

A manera de ejercicio, se presenta un balance de materia del proceso de elaboración de panelitas de leche. En la Figura 3 se presenta el diagrama de bloques del proceso de elaboración. Cada una de las líneas, tanto de entrada como de salida, se ha nombrado con letras mayúsculas.

Figura 3. Diagrama de bloques de elaboración de panelitas de leche.



La información con la que se cuenta es la siguiente:

Tabla 2. Información de composición de materias primas y producto final.

Componentes	A		B		C		D		E		F	
	kg	%	kg	%	kg	%	kg	%	kg	%	kg	%
ST	10	12,5	72	100	6,4	80	1,87	100	0		80	
MG	2,4	3	0	0	0	0	0	0	0			
H	67,6	84,5	0	0	1,6	20	0	0	100		17,8	
Total	80	100	72	100	8	100	1,87	100	100		100	

Para realizar el balance y completar la información se establecen las ecuaciones de balance de materia, considerando que la suma de todas las entradas es igual a la suma de todas las salidas. A manera de ejercicio académico se presentan todas las ecuaciones de balance:

$$\text{Ecuación global:} \quad A + B + C + D = E + F \quad (1)$$

$$\text{Balance de sólidos totales:} \quad X_{ST}^A \cdot A + X_{ST}^B \cdot B + X_{ST}^C \cdot C + X_{ST}^D \cdot D = X_{ST}^E \cdot F \quad (2)$$

$$\text{Balance de materia grasa:} \quad X_{MG}^A \cdot A = X_{MG}^E \cdot F \quad (3)$$

$$\text{Balance de humedad:} \quad X_H^A \cdot A + X_H^C \cdot C = X_H^E \cdot E + X_H^F \cdot F \quad (4)$$

A partir de la ecuación (2) se calcula la cantidad de panelitas producida. Posteriormente con la ecuación (3) se calcula el porcentaje de materia grasa en las panelitas.

Tabla 3. Balance de materia en cada una de las líneas de entrada y salida.

Componentes	A		B		C		D		E		F	
	kg	%	kg	%	kg	%	kg	%	kg	%	kg	%
ST	10	12,5	72	100	6,4	80	1,87	100	0	0	88,4	80
MG	2,4	3	0	0	0	0	0	0	0	0	2,4	2,2
H	67,6	84,5	0	0	1,6	20	0	0	49,5	100	19,7	17,8
Total	80	100	72	100	8	100	1,87	100	49,5	100	110,5	100

El rendimiento se calcula así:

$$\%Rendimiento = \frac{F}{(A + B + C + D)} \cdot 100 \quad (5)$$

Para este caso es de 68%.

3.2.3 Neutralización

La neutralización tiene por objeto disminuir la acidez desarrollada en la leche. La adición de un neutralizante es necesaria para evitar la coagulación de las proteínas, ya que durante el proceso la leche se evapora incrementando su acidez. El descenso del pH provoca la coagulación de las proteínas y la subsiguiente sinéresis (el dulce se corta). El uso de leche con acidez elevada produce unas panelitas de textura arenosa y áspera. Adicionalmente, una acidez excesiva impide que el producto terminado adquiera su color característico, ya que se retardan las reacciones de Maillard por el descenso del pH. El cálculo de la cantidad de neutralizante es importante, porque un exceso de éste produce panelitas de mala calidad, coloración demasiado oscura, sabor desagradable y textura gomosa.

La acidez de la leche debe reducirse a valores entre 10°D y 12 °D. Para esto, varios artesanos suelen adicionar 8,9g de bicarbonato por cada grado Dornic que deba disminuirse. Sin embargo, es mejor realizar el cálculo a partir de la acidez inicial de la leche para esto se emplea la siguiente ecuación [Ramírez-Navas, 2012]:

$$m_{neut} = \left(\frac{PM_{neut}}{PM_{C_3H_6O_3}} \right) \frac{V_L \cdot \rho_L \cdot (\text{°}D_i - \text{°}D_f)}{10000 \cdot \%P_{neut}}$$

Dónde: m_{neut} es la masa del neutralizante que se utilizará para neutralizar la leche. PM son los pesos moleculares del neutralizante y del ácido láctico (90g/gmol). V_L es el volumen de leche en L; ρ_L es la densidad de la leche en $\text{kg} \cdot \text{L}^{-1}$; $\text{°}D_i$ es la acidez inicial de la leche en grados Dornic, determinada por titulación con NaOH 1N y fenolftaleína como indicador; $\text{°}D_f$ es el valor al que se desea llegar. $\%P_{neut}$ es la pureza a la que se encuentre el neutralizante.

Por ejemplo, se desea conocer cuántos kilogramos de bicarbonato de sodio (PM: 84g/gmol) se necesitan para neutralizar 100 litros de leche cruda entera que tiene una acidez de 18°D y una densidad de 1.033 kg L^{-1} . La pureza del bicarbonato de sodio es del 70%. La leche debe llevarse a 12°D. Reemplazando los valores en la ecuación (6) se tiene:

$$m_{NaHCO_3} = \left(\frac{84}{90} \right) \frac{100 \cdot 1.033 \cdot (18 - 12)}{10000 \cdot 0.7} = 0.08 \text{kg} = 82.64 \text{g}_{NaHCO_3}$$

Por lo tanto, si se desea llevar de 18°D a 12°D 100 L de leche se requieren 82.64 g de bicarbonato.

La neutralización se debe llevar a cabo antes de comenzar el tratamiento térmico y la adición de los ingredientes. Se disuelve el neutralizante en una cantidad adecuada de leche que posteriormente se mezcla con toda la leche. Por ensayos experimentales, se sabe que al

neutralizar leche de 18°D y llevarla a 13°D, el producto final tendrá una acidez entre 20°D y 24°D.

3.2.4 Mezclado y concentración

La concentración con agitación continua se realiza con el objeto de disminuir la humedad y aumentar la proporción de sólidos, hasta llegar a la textura deseada. Al inicio de esta práctica, se agregan los aditivos a la leche, tales como neutralizante, harina, saborizantes, etc. Se calienta la mezcla a $\sim 75^{\circ}\text{C}$, se adicionan los edulcorantes (azúcar refinado, azúcar morena o miel de abejas) y se concentra el producto $\sim 55^{\circ}\text{Bx}$. A esa concentración se adiciona glucosa o azúcar invertida y los estabilizantes. La concentración continúa hasta alcanzar los 78°Bx . La operación dura aproximadamente de 2 a 3 horas.

Figura 4. *Mezclado y concentración.*



Es práctica común determinar el punto de cocción dejando caer una gota del dulce en un vaso con agua fría, comprobando si llega al fondo sin disolverse. Preferiblemente se recomienda utilizar un refractómetro.

3.2.5 Pre-enfriamiento

Este proceso se realiza una vez determinada la concentración o el punto de la masa deseado. Se interrumpe el calentamiento y se continúa la agitación del dulce en la misma mamita, hasta que se enfríe a 60°C . De esta forma se permite la salida del vapor de agua y se evita su condensación en el interior de la masa, lo que no permitiría

la uniformidad característica del producto, dándole apariencia de “cortado” o el apareamiento de grumos.

3.2.6 Moldeo y enfriamiento

El moldeo de estos productos se realiza en bandejas, en gaveras de madera o a mano. Algunos artesanos realizan el moldeo valiéndose de un plástico y un rodillo. Son moldeadas o cortadas manualmente de forma rectangular o cuadrada, cúbica, semiesférica o de apariencia irregular dependiendo del capricho del artesano o como sea aceptado culturalmente en una determinada región [Cortés Jiménez *et al.*, 2014].

El enfriamiento de las panelitas de leche se realiza por exposición al medio ambiente. Puede enfriarse directamente en el molde o empleando una pala de estirado o templado. La temperatura final aproximada de $\sim 27^{\circ}\text{C}$.

3.2.7 Corte y empaclado

El corte también tiene diferentes formas de realizarse, entre las cuales se destacan: con cuchillo, con máquina y a mano. Los tipos de empaque utilizados comúnmente son las cajas de cartón, bolsas plásticas, papel celofán y hojas de bijao.

Figura 5. Paquete de panelitas de leche.



3.2.8 Almacenamiento

Las panelitas son productos que pueden almacenarse a temperatura ambiente por largos períodos de tiempo sin riesgo de que se presenten graves alteraciones en el producto [UNC, 1988]. Sin embargo, se recomienda que sean almacenadas en lugares secos y con temperaturas alrededor de 20°C.

3.2.9 Rendimiento

En la fabricación de panelitas de leche, dentro de algunas industrias es común encontrar un rendimiento que se encuentra entre 21,25 y 82,00 kg de producto por cada 100,00 L de leche procesada, con un promedio de 47,86 kg; cabe aclarar que, de desearse un mejor rendimiento de estos productos, es indispensable partir de una leche de buena calidad y controlar estrictamente todos los pasos del proceso y los aditivos utilizados [UNC, 1988].

3.3 Defectos

Las panelitas de leche pueden presentar los siguientes defectos:

Color. El color característico de los dulces de leche se debe a la reacción entre la lactosa y las proteínas de la leche en presencia de calor [Novoa y Ramírez-Navas, 2012a], llamada reacción de Maillard, la cual es retardada por el descenso del pH en el medio en que se produce; para evitar la variación en el pH se deben realizar de manera adecuada los cálculos de neutralización (dosificación de neutralizantes como el bicarbonato de sodio), de no ser así se puede presentar una coloración muy clara o una muy oscura en el producto final e incluso podría afectarse el sabor y en menor medida la textura [Zunino, 2009].

Cristalización. La cristalización es un proceso donde se forman partículas sólidas a partir de una fase homogénea. En la cristalización la solución se concentra y se enfría hasta que la concentración del soluto es superior a su solubilidad a esta temperatura; el soluto de la solución forma cristales y el equilibrio se alcanza cuando la solución está saturada

(Labia & Muñoz, 2008); dada la presencia de azúcar y lactosa, sustancias cristalizables, la velocidad del enfriamiento es muy importante, ya que es una manera de prevenir y retardar la aparición de este defecto en el dulce, el cual le otorga una textura arenosa [Kurlat, 2010].

Moho. La presencia de hongos sobre la superficie del dulce de leche es un defecto que ocurre generalmente por falta de higiene y de salubridad. Es preciso observar una buena limpieza a lo largo del proceso de elaboración. Las materias primas deben ser controladas en su calidad y almacenadas bajo condiciones apropiadas, en sitios ventilados y secos [García, 1999].

Enranciamiento. La grasa láctea es propensa a enranciamiento debido a la hidrólisis de los triglicéridos por parte de microorganismos, produciendo olores y sabores indeseables durante el almacenamiento [Belitz *et al.*, 1997].

4 Efectos del tratamiento térmico durante el proceso de elaboración

En la elaboración de dulces de leche como las panelitas el calentamiento es una de las principales actividades, pues esta contribuye a la obtención de las características reológicas y organolépticas del producto final; por esta razón se exponen las modificaciones que se generan en los componentes involucrados en las reacciones influyentes en el proceso.

Lactosa. Las altas temperaturas estimulan la generación de ácidos y otras sustancias indeseables, pues estos pueden incitar el crecimiento de bacterias lácticas y la desnaturalización de las proteínas, por ello se debe neutralizar el pH con aditivos como el bicarbonato de sodio; además de esto, el calentamiento permite la combinación de la lactosa con compuestos nitrogenados de la leche, incentivando la producción de melanoidinas que contribuyen al color característico de las panelitas de leche por medio de la reacción de Maillard [Alais y Godina, 1985; Keating y Rodríguez, 1999]

Proteínas. El calentamiento prolongado de la proteína láctea produce la desestabilización de las micelas de caseína generando la producción de un gel, por lo que se debe estabilizar el pH del medio en el que se encuentra. El calor permite la formación de lisinoalanina y junto con azúcares reductores como la lactosa se estimula el desarrollo de la reacción de Maillard, aportando aromas, sabores y textura deseada en las panelitas de leche [Varnam *et al.*, 1995].

Lípidos. La variación de temperaturas en el proceso de producción de panelitas de leche permite que los lípidos lácteos contribuyan a la plasticidad de la masa de caramelo y a la textura del producto, pues si la temperatura es alta la grasa permite fluidez en el proceso de moldeado, además de esto aporta estabilidad en la estructura, ya que al descender la temperatura la grasa será dura y quebradiza [Vajda, 1976].

Almidón. El calentamiento del almidón en soluciones acuosas ocasiona el hinchamiento y rompimiento de sus gránulos como consecuencia de las colisiones entre éstos, dando paso a la formación de una suspensión coloidal. En productos como las panelitas de leche, la competencia por el agua que se genera entre los azúcares y las sales presentes en el proceso, no permite la completa gelatinización del almidón, lo que contribuye en gran medida a definir la textura final del producto [Coultrate, 1986; Dergal, 2006; Vajda, 1976].

5 Propiedades fisicoquímicas

5.1 Color

Comercialmente es posible conseguir panelitas de leche que van desde las tonalidades claras, similares a la leche condensada, hasta las oscuras, similares al arequipe. La determinación del color instrumental en el sistema CIELab (L^* , a^* y b^*) permite establecer rangos para los atributos así: L^* de 38.28 a 58.62, a^* de 10.19 a 13.68, y b^* de 24.54 a 33.53. Encontrando la mayor dispersión en los datos de luminosidad.

5.2 Consistencia

La consistencia de panelitas comerciales, determinada como dureza en un análisis de perfil de textura realizado en un texturómetro, va desde 15,8 N hasta 412 N, permitiendo clasificar tres categorías (dureza baja, media y alta). La consistencia en estos productos varía dependiendo de la formulación empleada, de la concentración alcanzada en el proceso de concentración y del proceso de enfriamiento.

5.3 Actividad de agua y humedad

En muestras comerciales se encuentran valores de a_w entre 0,667 a 0,957. Relacionando estos valores con la vida útil del producto, se observa que aquellos valores cercanos a 0.667 son seguros para alimentos con las características similares a las panelitas, alimentos de humedad intermedia. Sin embargo, valores cercanos o superiores a 0,8 tendrían cierta vulnerabilidad ante el ataque microbiano [Rodríguez A *et al.*, 2012; Vázquez L *et al.*, 2006]. Para las muestras comerciales, los valores de humedad oscilaron desde 4% hasta 20%. La a_w es un parámetro de calidad que se tiene de manera preponderante en la elaboración de un alimento y su magnitud se ve influenciada por el comportamiento químico y la concentración de los materiales en la muestra, junto con su contenido de humedad [Maldonado S y Singh J, 2008]. La variabilidad de las materias primas concentradas y su interacción en la mezcla, afectan el contenido de humedad residual de las panelitas; esto puede tener repercusiones en la apreciación del alimento a niveles texturales debido a la capacidad de la panelita para retener agua [Gasca J.C. y Casas N.B., 2007].

6 Características sensoriales

Ortiz Álvarez *et al.* [2017] establecieron el perfil sensorial de panelitas de leche comerciales (Figura 6) y crearon el vocabulario de referencia (Tabla 4). Esta información permite tener una referencia al momento de evaluar sensorialmente estos productos.

Figura 6. Perfil sensorial de panelitas de leche.

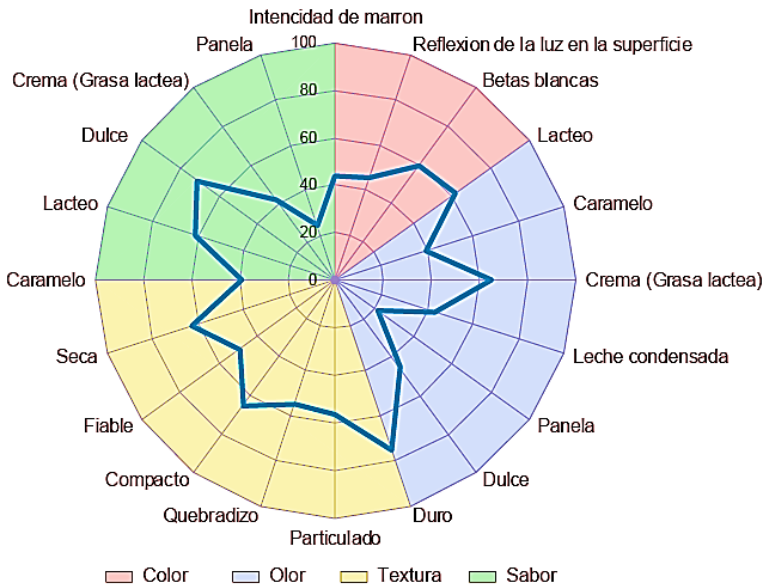


Tabla 4. Vocabulario sensorial para evaluación de panelitas de leche.

Descriptor	Definición
Amargo	Sabor indeseable amargo, producido por presencia de concentraciones no homogenizadas y sectorizadas de lactosuero dentro de la matriz alimentaria.
Arenoso	Sensación que se aprecia en la cavidad bucal posterior a la masticación y que se percibe debido a la presencia de fragmentos muy pequeños.

Tabla 4. *Vocabulario sensorial para evaluación de panelitas de leche (continuación).*

Descriptor	Definición
Betas blancas	Imperfección en el alimento en forma de betas blancas (líneas irregulares) y que hace perder homogeneidad en el color del alimento.
Caramelo	Sensación olfativa y gustativa producida por la polimerización de los azúcares cuando son tratados a altas temperaturas.
Compacto	Sensación, percibida al tacto, debido a la resistencia de las partículas del mismo alimento a dejarse fragmentar en unidades más pequeñas al aplicarse una fuerza.
Crema (grasa láctea)	Sabor y aroma característico a grasa láctea que se puede percibir en productos que contienen leche.
Dulce	Sensación básica olfativa y gustativa, percibida ante todo en las de la lengua, que se asocia a la presencia de edulcorantes.
Duro	Sensación de resistencia a la penetración de los dientes ofrecida por parte del alimento al momento de llevar a cabo la mordida o masticación.
Friable	Capacidad para fracturarse con facilidad en pequeñas piezas de forma irregular cuando se frota con los dedos.
Intensidad de marrón	Tonalidades de color marrón que tiene como particularidad, ser de intensidad suave, similar al de la bebida café en leche.
Lácteo	Sabor y aroma característico a producto lácteo que se puede percibir en productos que contienen leche.
Leche condensada	Sabor y aroma de grasa láctea, junto con el producto de la reacción de Maillard, que, en simultáneo, tienen olor de la leche que ha sido sometida a reducción bajo temperatura con adición de azúcar.

Tabla 4. *Vocabulario sensorial para evaluación de panelitas de leche (continuación).*

Descriptor	Definición
Mohoso	Aroma y sabor indeseable de las panelitas de leche, característico a moho que se desarrolla por el inadecuado manejo de la humedad durante el almacenamiento.
Panela	Sensación olfativa y gustativa intensa asociada a la miel de panela, indeseable en las panelitas de leche.
Particulado	Sensación que se aprecia en la cavidad bucal posterior a la masticación y que se percibe debido a la presencia de fragmentos un poco más grandes que los gránulos de sensación arenosa.
Quebradizo	Sensación que se aprecia al tacto y que se manifiesta en la fragmentación del alimento instantes después de aplicársele una fuerza suficiente para que esta ceda.
Químico	Aroma y sabor a compuestos químicos como desinfectantes, sales minerales (Cu, Fe, Mg) o fármacos, indeseables en panelitas de leche.
Recalentado	Aroma y sabor indeseables a caramelo que se desarrollan en el alimento al hervirse, por un calentamiento prolongado, perdiéndose en la panelita de leche los compuestos de aroma y sabor característicos.
Reflexión de la luz en superficie	Sensación visual que se produce por la cantidad de luz que el alimento tiene la capacidad de absorber o reflejar en la superficie y da el aspecto opaco o brillante.
Seca	Sensación que se aprecia en la cavidad bucal, y que generara sensación de ausencia de humedad, sed o necesidad de consumo de líquido insípido.

7 Comentarios finales

Existe muy poca literatura científica relacionada con la elaboración de panelitas de leche y sus variantes. Es importante que se realicen investigaciones donde se evalúen variables relacionadas con la composición, como la concentración de grasa y proteínas, la concentración final del producto, aditivos empleados en el proceso, otros tipos de edulcorantes; variables relacionadas con el proceso, como la velocidad de agitación, transferencia de calor y eficiencia de los procesos de concentración por evaporación, tipo de evaporadores (marmita abierta, sistemas cerrados), el tiempo de cocción, temperatura óptima de cocción, o variables relacionadas con los parámetros fisicoquímicos, como la evolución del pH y la acidez en los procesos de neutralización o las cinéticas de color, entre otras.

Referencias bibliográficas

- ALAIS, C. Y GODINA, A.L. *Ciencia de la leche: principios de técnica lechera*. Sevilla, España: Reverté, 1985.
- ASOCAÑA. Balance Sector Azucarero Colombiano 2000-2017. Cali, Colombia, 2018. Disponible en: <<http://www.asocana.org/modules/documentos/verdocumento.aspx?id=5528&url=/documentos/822011-E819C160-2D2D2D,B9B9B9.xls&urlzip=/documentos/822011-E819C160-2D2D2D,B9B9B9.xls>>.
- ASOCAÑA, J.D. Informe Anual 2011-2012. El Dulce Sabor del Azúcar de Colombia es Progreso. En. Cali, Colombia Asociación de Cultivadores de de Caña de Azúcar de Colombia 2012.
- BELITZ, H.D., GROSCH, W. Y BUESA, M.O.L. *Química de Los Alimentos*. Zaragoza, España: Acirbia, Editorial, S.A., 1997.
- CORTÉS JIMÉNEZ, A., ORTIZ ÁLVAREZ, J.R. Y RAMÍREZ-NAVAS, J.S. Panelitas de leche colombianas. *Tecnología Láctea Latinoamericana*, jun 2014, vol. 81, p. 52-61.
- COULTATE, T.P. *Alimentos: Química de Sus Componentes*. Zaragoza, España: Acirbia, Editorial, S.A., 1986.
- DANE. Encuesta Anual Manufacturera 2016. Bogotá, Colombia, 2016. Disponible en: <<https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/industria/encuesta-anual-manufacture-ra-enam>>.
- DERGAL, S.B. *Química de los alimentos*. Ciudad de Mexico, Mexico Pearson Educación, 2006.
- ESTRADA, J. Geografía Dulce en Colombia. *Boletín Cultural y Bibliográfico* (Banco de la República), 1987, vol. XXIV, no. 11, p. 46-59.

FEDERACION COLOMBIANA DE GANADEROS, F. Lo que Usted Necesita Saber de la Leche en Colombia. En. Bogota, Colombia Fedegan 2009.

FEDERACION COLOMBIANA DE GANADEROS, F. Contextos de leche Produccion Nacional. En. Bogota, Colombia Fedegan, 2012.

FONNEGRA, R.J. Y JIMENEZ, S.L. *Plantas medicinales aprobadas en Colombia*. Medellin, Colombia: Editorial Universidad de Antioquia, 2007.

GARCÍA, R. Evaluación de las características de textura y color en cajeta de leche de vaca. Tesis de Licenciatura en Ingeniero Industrial. Chapingo, México: Universidad Autónoma de Chapingo, Ingenieria Agroindustrial, 1999.

GASCA J.C. Y CASAS N.B. Adición de Harina de Maíz Nixtamalizado a Masa Fresca de Maíz Nixtamalizado. Efecto en las Propiedades Texturales de Masa y Tortilla. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 2007, vol. 6, no. 3, p. 317-328.

ICBF. Tabla de Composicion de los Alimentos En. Bogota, Colombia Instituto Colombiano de Bienestar Familiar, 2005.

ICBF. Ficha Tecnica Panelita de Leche. En. Bogota, Colombia Instituto Colombiano de Bienestar Familiar, 2010.

ICONTEC. NTC 424. Productos Alimenticios. Caramelos Duros En. Bogota, Colombia: Instituto Colombiano de Normas Tecnicas y Certificacion, 2008a.

ICONTEC. NTC 3757. Arequipe o dulce de leche y manjar blanco. En. Bogota, Colombia Instituto Colombiano de Normas Tecnicas y Certificacion, 2008b.

- IRIARTE, H. *Esta es Colombia*. Bogota, Colombia: Ediciones Gamma, 2000.
- KEATING, P.F. Y RODRÍGUEZ, H.G. *Introducción a la lactología*. Monterrey, México: Editorial Limusa S.A. De C.V., 1999.
- KURLAT, J. Productos lácteos Elaboración de Dulce de Leche. En: *INDUSTRIAL*. Buenos Aires, Argentina 2010.
- MALDONADO S Y SINGH J. Efecto de Gelificantes en la Formulación de Dulce de Yacón. *Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 2008, vol. 2, p. 429-434.
- MANTILLA, O. Y QUINTERO, M.C. *La buena mesa colombiana: pretexto para el turismo*. Bogota, Colombia: Universidad Externado de Colombia, 2012.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL, M. Boletín de analisis por producto. Bogota, Colombia 2010.
- MINSALUD *Resolucion Numero 2310 de 1986*. Bogotá, Colombia: Ministerio De Salud, Republica de Colombia, 1986. 38 p.
- NEIRA BERMÚDEZ, E. Y LÓPEZ TORRES, J. *Guía técnica para la elaboración de productos lácteos*. 5 ed. Bogotá: De la Mancha Impresores, 2010. 247 p.
- NOVOA, D.F. Y RAMÍREZ-NAVAS, J.S. Caracterización colorimétrica del Manjar Blanco del Valle. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 2012a, vol. 10, no. 2, p. 54-60.
- NOVOA, D.F. Y RAMÍREZ-NAVAS, J.S. Manjar Blanco del Valle: Un dulce de leche típico colombiano. *Tecnología Láctea Latinoamericana*, 2012b, vol. 68, p. 48-52.

- ORTIZ ÁLVAREZ, J.R., CORTÉS JIMÉNEZ, A. Y RAMÍREZ-NAVAS, J.S. Estandarización de una formulación de panelitas de leche: estudio preliminar. *Revista de Ciencias Agrícolas*, junio 2017, vol. 34, no. 1, p. 60-69. <http://dx.doi.org/10.22267/rcia.163302.48>
- ORTIZ, E.L. *Cocina Latinoamericana: Más de 250 recetas de las más sabrosas de los países americanos desde México a la Patagonia*. San Juan, Puerto Rico Editorial Edaf, S.L., 1998.
- PARRA, S. Elaboración de panelitas de leche En: CORTES Y ORTIZ. Roldanillo, Colombia 2013.
- PINTO, A. Sector lechero en Colombia: Potencial desperdiciado. Bogotá, Colombia, 2017. Disponible en: <<https://agronegocios.uniandes.edu.co/2017/09/22/sector-lechero-en-colombia-potencial-desperdiciado/>>.
- PRADO CADAVID, F. Y PRIETO VALLECILLA, J.M. Evaluación del efecto de la mezcla de harina de arroz y fécula de maíz sobre los parámetros de calidad del Manjar Blanco del Valle. Tesis de Trabajo de grado de Ingeniería de Alimentos. Cali, Colombia: Universidad del Valle, 2018. 54 p.
- RAE. Diccionario de la Lengua Española. En: *RAE*. Madrid, España, 2001.
- RAMÍREZ-NAVAS, J.S. Queso molido nariñense. *Tecnología Láctea Latinoamericana*, 2010, vol. 59, p. 56-59.
- RAMÍREZ-NAVAS, J.S. *Apuntes de Principios de Ingeniería Aplicados a Lácteos*. Cali, Colombia: Universidad del Valle, 2012.
- RAMOS, O.G. Caña de Azúcar en Colombia. *Revista de Indias*, 2005, vol. IXV.

- ROCA, E.P. Determinación del mejor proceso de elaboración de dulce de leche en polvo. Tesis de Ingeniería de Alimentos Guayaquil, Ecuador Escuela Superior Politécnica del Litoral Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción 2011.
- RODRÍGUEZ A, PIAGENTINI A, ROZYCKI S, LEMA P, PAULETTI M Y L, P. Evolución del Desarrollo del Color en Sistema Modelo de Composición Similar al Dulce de Leche. Influencia del Tiempo de Calentamiento y del pH. *Revista del Laboratorio Tecnológico del Uruguay*, 2012, vol. 38, no. 7.
- RODRÍGUEZ MOREIRA, J.F. Y ARAUJO ANCHUNDIA, K.J. Porcentajes de sacarosa y harina de banano (*Musa paradisiaca*) en la calidad del manjar a base de lactosuero como alternativa de aprovechamiento. Tesis de trabajo de grado de Ingeniería Agroindustrial. Calceta, Ecuador: Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, 2016.
- SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE, S. Ficha técnica del producto terminado Panelita de leche Parte 1. En. Espinal, Colombia 2010.
- UNC, I., & JAC. *Manual de Elaboración de Dulces y Panelitas de Leche (Vol. 1)*. Bogota, Colombia Universidad Nacional de Colombia, 1988.
- VAJDA, O.I., & SAENZ, T. W. *Química de los Alimentos* Habana, Cuba, 1976.
- VARNAM, A.H., SUTHERLAND, J.P. Y ALMUDÍ, R.O. *Leche y Productos Lácteos: Tecnología, Química y Microbiología*. Acibia, Editorial, S.A., 1995.
- VÁZQUEZ L, VERDÚ A, MURCIA R, BURLÓ F Y CARBONELL A.A. Instrumental Texture of a Typical Spanish Confectionery Product XIXONA TURRON as Affected by Comercial Category and Manufacturing Company. *Journal of Texture Studies*, 2006, vol. 37, p. 63-79.

VICENTE, A.M. *Confitería y pastelería: manual de formación*. Madrid, España: A. Madrid Vicente, 1999.

WANG, F., SUN, Z. Y WANG, Y.J. Study of xanthan gum/waxy corn starch interaction in solution by viscometry. *Food Hydrocolloids*, 2001, vol. 15, no. 4–6, p. 575-581. [http://dx.doi.org/10.1016/S0268-005X\(01\)00065-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0268-005X(01)00065-0)

ZUNINO, A. Dulces de leche, aspectos básicos para su adecuada elaboración. En. Buenos Aires, Argentina Publicación Técnica del Depto. de Fiscalización de Industrias Lácteas. Ministerio de Asuntos agrarios y Produccion, 2009, p. 28.

DULCES DE LECHE UTILIZANDO LACTOSUERO

Jannet López Torres

<https://orcid.org/0000-0003-2745-8110>

1 Introducción

La Resolución 02310 de 1986 [MinSalud, 1986] define al lactosuero (LS) como el producto residual obtenido a partir de la leche en la elaboración del queso o la mantequilla. Aproximadamente 90% del total de la leche utilizada en la industria quesera es eliminada como LS.

Existen dos tipos de LS: el LS dulce el cual es obtenido durante la elaboración de quesos por medio de una coagulación enzimática y el LS ácido donde el coágulo se ha formado fundamentalmente por acidificación [Neira Bermúdez y López Torres, 2010].

A través de la historia el LS ha sido relegado a la condición de residuo, siendo un subproducto altamente contaminante, a juzgar por la alta demanda de oxígeno que involucra su descomposición aeróbica. Esto genera que la mayor parte del LS producido sea eliminado, vertiéndolo en las aguas corrientes por el sistema de tuberías, o en otros casos, brindándolo como suplemento nutricional en distintas explotaciones animales, como la porcícola, todo esto sin tener conocimiento de sus apropiadas condiciones para ser utilizado como materia prima en la industria de derivados lácteos, para el consumo humano.

Actualmente el LS, viene siendo utilizado como sustituto de la lactosa en productos industriales derivados de la leche, además pro-

porciona numerosos beneficios funcionales a los formuladores de alimentos. Posee solubilidad, actúa como agente de volumen o flujo en mezclas secas, contribuye con sólidos y un bajo nivel de dulzura, aumenta el color, sabor y textura; facilita el oscurecimiento y puede comprimirse directamente en tabletas [Fernández y Arango, 2005].

El dulce de leche es un producto de gran consumo en todos los países latinoamericanos, tomando diferentes nombres de acuerdo al país. En el Perú se le denomina “manjar blanco” en Ecuador se conoce con el nombre de “manjar de leche”, en Colombia como “arequipe”, en Argentina, Uruguay y Paraguay se le denomina “dulce de leche”. Asimismo, su consumo se ha difundido y está en creciente expansión en los Estados Unidos y Europa.

La Resolución 02310 DE 1986 [MinSalud, 1986] tiene las siguientes definiciones para los dulces de leche en Colombia: *Arequipe*: es el producto higienizado obtenido por la concentración térmica de una mezcla de leche y azúcares. *Leche condensada azucarada*: es el producto higienizado, obtenido por deshidratación parcial, a baja presión, de una mezcla de leche y azúcares. *Manjar blanco*: es el producto higienizado, obtenido por la concentración térmica de una mezcla de leche y azúcar, con el agregado de harina o almidones.

2 Características, composición, propiedades nutricionales, funcionales y tecnológicas del lactosuero para la elaboración de dulces de leche

Tradicionalmente, el LS no había sido considerado como una fuente rica de nutrientes para la alimentación humana a causa de su bajo contenido de proteínas y a sus altos niveles de lactosa y minerales. Sin embargo, desde hace algún tiempo se han intensificado los esfuerzos para utilizarlo, ya que las tendencias de producción señalan un rápido aumento en su disposición a nivel mundial.

En la actualidad, los sólidos de LS a utilizar en nutrición humana son producidos en una amplia variedad de formas, tales como, LS en polvo, LS condensado, LS parcialmente deslactosado, LS parcialmente

desmineralizado y la combinación de los dos últimos, como concentrados de proteínas de LS, proteínas aislados de LS WPI (*Whey Protein Isolates*), proteínas concentradas de LS o WPC (*Whey Protein Concentrates*), LS deslactosado, LS reducido en lactosa o RLW (*Reduced Lactose Whey*), LS desmineralizado y deslactosado, lactalbumina, LS permeado o WP (*Whey Permeate*) y lactosa en polvo, entre otros [Posada *et al.*, 2011]. Por otra parte, ha habido un incremento en la tendencia a usarlos en alimentación humana debido a una mayor comprensión de las características de los componentes del LS tanto desde el punto de vista nutricional-fisiológico como funcionales.

La composición del LS varía; ésta depende del tipo de leche y de los procesos empleados durante la elaboración de quesos; aproximadamente el 93 % es de agua y el 7 % de sólidos totales (5 % de lactosa, 0.3% de materia grasa, 0.9 % proteína, cenizas 0.6%) [Neira Bermúdez y López Torres, 2010].

El LS es una excelente materia prima para obtener diferentes productos a nivel tecnológico o como medio de formulación en procesos fermentativos. A pesar del problema de contaminación que se genera, existe una infinidad de productos que se pueden obtener. Dentro de estos productos están ácidos orgánicos, productos de panadería, bebidas para deportistas, alcoholes, bebidas fermentadas, gomas, empaques biodegradables, sustancias inhibidoras de crecimiento, proteína unicelular, exopolisacáridos, concentrados proteicos; además, las proteínas del LS tienen propiedades funcionales que permiten ser muy útiles en el área de los alimentos [Parra Huertas 2009; Ramírez-Navas, 2015; Ramírez-Navas, 2009; Ramírez-Navas, 2012].

Según Agrocadenas [MADR, 2007], la producción de LS en Colombia está en diferentes regiones: el 35% en la Costa Norte, leche proveniente de un doble propósito, donde predomina una transformación industrial y artesanal de queso costeño, en la cual se obtiene LS dulce y quesillo (suero ácido). Un 20% de esta producción se ubica en los valles y la Sabana Cundiboyacense, donde se obtiene LS ácido, proveniente de la elaboración de queso doble crema y quesillo. Otro 30%, se ubica en la zona de Antioquia y Chocó, donde se elaboran quesos

frescos (Quesito, Cuajada, Queso laurel, Campesino, entre otros) donde el subproducto obtenido es LS dulce. El resto de la producción, se encuentra en la zona Sur y los llanos, donde predomina la elaboración de queso fresco, en la cual se obtiene un LS dulce.

Algunos autores indican que los productos a base de LS, representan un segmento en crecimiento dentro de la industria láctea, así como en los sectores farmacéutico y biomédico. Además, a escala mundial, el mercado de los productos de LS aumentó más del 12% anual desde 1995 hasta 2000; a pesar de esto todavía hay suficiente producción de LS que no es utilizada [Posada *et al.*, 2011].

Actualmente el LS cuenta con una interesante acogida debido a su contenido proteico en proteínas solubles ricas en aminoácidos esenciales (lisina y triptófano) y por la presencia de numerosas vitaminas del grupo B (tiamina, riboflavina, ácido pantoténico, piridoxina, ácido nicotínico) y ácido ascórbico y su alto nivel de edulcorante (lactosa) en relación a otros productos lácteos [Zadow, 1992]. Su composición ofrece interesantes posibilidades en la industria de postres y confitería. Los LS ácidos presentan un contenido menor de lactosa y mayor de sales minerales en comparación con LS dulces. Sin embargo, la principal diferencia entre ambos es la concentración de calcio. El LS dulce prácticamente no contiene calcio (0.6 a 0.7 % Ca), ya que éste queda retenido en su mayor parte en forma de paracaseinato cálcico en la cuajada, mientras que en el LS ácido (1.8 a 1.9 % Ca) el ácido láctico secuestra el calcio del complejo de paracaseinato cálcico, produciendo lactato cálcico [Posada *et al.*, 2011]. La lactosa proporciona numerosos beneficios funcionales a los formuladores de alimentos. Posee solubilidad, actúa como agente de volumen o flujo en mezclas secas; contribuye con sólidos y un bajo nivel de dulzura, aumenta el calor, sabor y textura; facilita el oscurecimiento y puede comprimirse directamente en tabletas [Fernández y Arango, 2005; Zadow, 1992].

Según el Boletín Tecnológico de Industria y Comercio [Silva Rubio *et al.*, 2013], algunas de las aplicaciones del LS lácteo tienen lugar en la industria de bebidas, el yogur, los quesos untables, en la industria cárnica en embutidos, la panificación, la confitería e, inclusive, en la industria farmacéutica. Actualmente se están desarrollan-

do nuevas y diversas aplicaciones que aprovechan las propiedades funcionales de sus proteínas, especialmente aquellas relativas a su composición química. Estas propiedades son: gelificación, retención de agua, solubilidad, emulsificación, espesado, espumado, absorción y retención de lípidos, y ciertos aromas y sabores.

3 Tratamientos del lactosuero para su uso en la elaboración de dulces de leche

El LS contiene en su composición un alto contenido de lactosa, disacárido que, por ser soluble, pasa en mayor proporción a éste en la elaboración de quesos, componente que trae inconvenientes en el momento de elaborar leches concentradas y helados por su baja solubilidad, lo que conlleva al defecto conocido como arenosidad o cristalización. Esta arenosidad se presenta porque la cantidad de lactosa presente sobrepasa el nivel de saturación y aumenta con la temperatura; ella se cristaliza formando cristales detectables al paladar (tamaño mayor de 0.03mm) [Sarmiento, 2000].

Las siguientes soluciones pueden ser utilizadas para disminuir el problema de la cristalización:

Cristalización forzada. Práctica universal en la industria de la leche condensada dulcificada. Consiste en forzar la cristalización bajo la forma de minúsculos cristales de lactosa que no lleguen a ser percibidos por el consumidor. Dada la naturaleza semejante del dulce de leche azucarado, es posible utilizar réplicas semejantes para ambos productos. La cristalización forzada consiste en inocular el producto con microcristales de lactosa hasta un punto adecuado de la zona intermedia de saturación, siguiendo una intensa agitación para que la cristalización sea en el menor plazo posible, originándose como consecuencia un sinnúmero de cristales de lactosa de tamaño y formas uniformes. Para forzar de manera adecuada la cristalización de la lactosa en el dulce de leche es necesario determinar una temperatura adecuada de inoculación, enfriando previamente el producto mediante una agitación energética e intensa [Hynes y Zalazar, 2013; Tamime, 2009]. Para disminuir la incidencia y la gravedad del azu-

caramiento, la solución dada anteriormente puede satisfacer los requerimientos de la industria del dulce de leche.

Hidrólisis enzimática. Dentro del grupo de las enzimas hidrolíticas: hidrolasas, se hallan las glicosidasas que participan en la hidrólisis de los disacáridos, hallándose la enzima lactasa dentro de ellas. Esta capacidad de romper a la lactasa en los monosacáridos glucosa y galactosa, es precisamente la que se aprovecha en la industria del dulce de leche para disminuir el efecto nocivo de la cristalización excesiva de la lactosa sobre la estabilidad organoléptica del producto. Constituye uno de los métodos más efectivos. La leche puede ser hidrolizada en frío o en caliente. En caso de una hidrólisis en caliente se debe pasteurizar muy bien el LS antes del tratamiento, para evitar un alto desarrollo de microorganismos [Hynes y Zalazar, 2013; SENATI, 2009; Tamime, 2009].

La enzima utilizada es la lactasa o β -D galactosidasa que hidroliza máximo el 80 % de la molécula de lactosa. La hidrólisis ocasiona modificaciones en las características físicas y químicas en el producto: a) *Poder edulcorante*: con la hidrólisis de la molécula de lactosa se libera glucosa y galactosa, mezcla que es de 2 a 3 veces más dulce que la lactosa, por lo tanto, se utiliza menos cantidad de sacarosa. b) *Digestibilidad*: la lactosa no es digerible para la gran mayoría de los individuos. La glucosa y la galactosa pueden ser consumidas por personas intolerantes a la lactosa, disminuyendo los problemas gastrointestinales que ocasiona la deficiencia de enzima lactasa. c) *Viscosidad*: la glucosa y la galactosa presentan baja viscosidad lo que permite alta concentración de sólidos sin que ocurra cristalización. Esto está relacionado con la solubilidad de los azúcares. e) *Cuerpo, textura, sabor*: son modificados debido a la liberación de galactosa; el sabor queda más acentuado. f) *Reacción de Maillard o pardeamiento no enzimático*: la glucosa y la galactosa son más reactivos que la lactosa a temperaturas elevadas y a $\text{pH} > 5$ en relación a las proteínas. Influye directamente en intensificar el color pardo y el sabor a caramelo [Neira Bermúdez y López Torres, 2010].

El grado de hidrólisis es el porcentaje de lactosa transformado en glucosa y galactosa, según la fórmula.

Hidrólisis vía química por ácidos orgánicos, da buenos resultados el ácido clorhídrico y el ácido sulfúrico siendo este último el más apropiado, ya que puede ser eliminado por precipitación con hidróxido de calcio; esta técnica de hidrólisis ácida si se lleva a cabo en presencia de proteínas de la leche, puede producir transformaciones de la proteína no deseables, lo que altera la calidad del producto.

Tanto la hidrólisis vía química (ácidos) o enzimática (enzima β -galactosidasa) de la lactosa en glucosa y galactosa, tiene doble interés, nutricional y tecnológico. Nutricionalmente se tiene en cuenta a las personas intolerantes a la lactosa que por deficiencias en la enzima β -galactosidasa, se les dificulta su asimilación. Tecnológicamente, mejora su poder edulcorante (en 4,5 veces), aumenta su capacidad reductora y solubilidad (en 3 a 25°C) ya que sus componentes monosacáridos son mucho más dulces y solubles [Posada *et al.*, 2011].

En la Tabla 1 se presenta la dosificación de la enzima, su tiempo de reacción en horas, temperatura y el grado de hidrólisis dependiendo el producto, la textura y demás características que se desean obtener.

Tabla 1. *Dosificación de la enzima Maxilact® para distintos grados de hidrólisis de la lactosa.*

Dosis de Enzima (ml/L)	Tiempo de Reacción (horas)	Temperatura de Reacción (°C)	Grado de Hidrólisis %
0.3-0.5	10	5	20
0.1-0.2	24	5	20
0.5-0.9	1	30	20
0.1-0.2	4	30	20
0.2-0.4	1	40	20
0.05-0.1	4	40	20
1.0-1.6	10	5	50
0.5-0.7	24	5	50
2.1-3.1	1	30	50
0.5-0.8	4	30	50

Tabla 1. Dosificación de la enzima Maxilact® para distintos grados de hidrólisis de la lactosa (continuación).

Dosis de Enzima (ml/L)	Tiempo de Reacción (horas)	Temperatura de Reacción (°C)	Grado de Hidrólisis %
0.9-1.4	1	40	50
0.2-0.4	4	40	50
3.5-5.4	10	5	80
1.5-2.2	24	5	80
6.9-10.4	1	30	80
1.7-2.6	4	30	80
2.9-4.4	1	40	80
0.7-1.1	4	40	80

Fuente: Ficha técnica MAXILACT L 2000

4 Elaboración de diferentes dulces de leche

A continuación, se presentan algunas investigaciones en las que se incluyó LS en la formulación de dulces de leche. En algunos de los trabajos se hidrolizó previamente el LS. Los dulces de leche se produjeron de forma tradicional (estandarización, neutralización, precalentamiento, concentración y evaporación, pre enfriamiento, envasado y almacenamiento) [Neira Bermúdez y López Torres, 2010].

Pintado [2012] elaboró *manjar de leche* utilizando LS de quesería a diferentes niveles como sustituto de la leche. Los objetivos del trabajo fueron: 1) Identificar el nivel más adecuado del LS de quesería en la elaboración de manjar. 2) Determinar las características físico-químicas, bromatológicas, organolépticas y microbiológicas del manjar obtenido mediante la utilización de LS de quesería. 3) Establecer la relación beneficio-costos. Para desarrollar esta investigación el autor utilizó un *diseño completamente al azar*. Consideró un solo factor constituido por la composición de la mezcla láctea previa a elaborar el manjar. El factor incluyó cuatro niveles, relacionando leche y LS de quesería, así: A1: 100% leche y 0% LS de quesería;

A2: 90% leche y 10% LS de quesería; A3: 80% leche y 20% LS de quesería; A4: 70% leche y 30% LS de quesería. El LS no fue hidrolizado. Para la elaboración del dulce se empleó el 18% de azúcar y 2g de bicarbonato para 20 litros de mezcla. En el experimento se determinó: 1) la composición físico-química (pH acidez, expresado en % de ácido láctico, densidad, expresado en g/ml, tiempo de concentración del manjar, expresado en minutos, rendimiento expresado en %), 2) la composición bromatológica (contenido de grasa, expresado en %, contenido de proteína, expresado en %, carbohidratos totales, expresado en %) y microbiológica (coliformes totales, expresado UFC/g, *Escherichia coli*, expresado UFC/g); 3) variables organolépticas (color, olor, sabor, textura); y, 4) análisis económico (tasa de retorno marginal, TRM, y relación beneficio-coste).

Pintado [2012] encontró que: 1) el empleo de diferentes porcentajes de LS de leche en la mezcla láctea afecta la calidad del producto final. Los tratamientos que incluyen diferentes porcentajes de LS muestran incremento en el porcentaje de proteína y de carbohidratos totales y disminución del porcentaje de grasas en comparación con el tratamiento A1 (100% leche). 2) La óptima relación leche/suero fue de 90/10 junto el tratamiento A1 (100% leche); para obtener mejores resultados con porcentajes superiores se podría experimentar con hidrólisis de la lactosa mediante la utilización de la lactasa. 3) El LS adicionado en cantidades superiores al 10% del volumen total de materia prima en la elaboración de manjar no influye en las variables pH, acidez, densidad, pero si en el tiempo de concentración y en el rendimiento, variables que se ven directamente afectadas por el incremento de agua a través de la adición de LS en los tratamientos A3 y A4. 4) La adición de LS en cantidades superiores al 10% incrementa el porcentaje de lactosa sobre los sólidos totales lo cual afecta al producto final, puesto que durante el proceso de elaboración se produce sobresaturación de la lactosa y como consecuencia la cristalización como lactosa monohidratada de la misma, produciendo minúsculas partículas percibidas por los catadores y afectando directamente a la textura en los tratamientos A3 (20% LS) y A4 (30% LS). Y, 5) La inclusión de LS en la elaboración del manjar disminuye los costos de adquisición de materia prima, pero disminuye el

rendimiento del producto final, esto se debe a que el LS contiene un elevado porcentaje de agua, el mismo que se pierde por evaporación durante la concentración; la disminución del rendimiento ocurre a partir de la inclusión de LS en un porcentaje superior al 10%, lo que se puede comprobar con los datos obtenidos del tratamiento A2 (10% LS) en el cual se obtuvo excelente rendimiento e inclusive superior al establecido del 33.33%.

Zapata [2010] investigó el uso de quinua (*chenopodium quinoa*) en la producción *del manjar de leche* con sustitución parcial de LS de quesería. Los objetivos de su trabajo fueron: 1) Evaluar las características físico-químicas de la materia prima y del producto terminado. 2) Determinar el grado de aceptabilidad del producto mediante un análisis sensorial y estimar los costos en base a un estudio económico. 3) Proponer una alternativa de solución al problema de la falta de desarrollo de nuevos productos. Aplicó un diseño experimental A*B con tres niveles para el factor A y tres niveles para el factor B. Los factores de estudio considerados fueron: a) Factor A: porcentaje de sustitución de leche por LS de quesería A₀: 0%, A₁: 5%, A₂: 10%; y, b) Factor B: porcentaje de adición de quinua B₀: 5%, B₁: 10%, B₂: 15%. Como muestra control elaboró manjar de leche sin la adición de LS de quesería y sin adición de harina de quinua. El LS no fue hidrolizado, y utilizó bicarbonato de sodio, azúcar, gelatina y vainilla, en su formulación. Al igual que en el caso anterior, determinó las propiedades físicoquímicas, bromatológicas, microbiológicas, y sensoriales del producto y evaluó económicamente las formulaciones obtenidas.

Zapata [2010] encontró que: 1) Las características organolépticas del producto como son: color, olor, sabor, consistencia y aceptabilidad, dan como resultado que el mejor tratamiento o el que más gustó a los catadores fue aquel que se elaboró a base del 90% de leche de vaca, 10% de LS dulce de quesería y 5% de harina de quinua; aunque con mínimas diferencias de aquel que fue elaborado únicamente con leche de vaca y con el 10% de adición de quinua. 2) Con el mejor tratamiento estimó los costos mediante un estudio económico y concluyó que el costo del nuevo producto es inferior al costo de algunas marcas comerciales, por lo que tendría la facilidad de com-

petir en el mercado ya que se ofrece al consumidor un producto más nutritivo y a un precio más económico. Y, 3) La alternativa de solución al problema de la falta de desarrollo de nuevos productos que en la actualidad existe, es proponer el desarrollo de una tecnología de elaboración de manjar de leche mediante una mezcla de leche de vaca (90%), LS de quesería (10%) y quinua (5%), ya que mediante los resultados se puede dar cuenta que el desarrollo de este nuevo producto con base en las formulaciones expuestas tendría muy buena aceptación por parte de los consumidores.

Sarmiento [2000] investigó el efecto de tres niveles de inclusión de LS hidrolizado en la elaboración de *leche condensada azucarada*. Como objetivos estableció: 1) Elaborar leche condensada sustituyendo parcialmente la leche entera cruda con inclusiones del 10%, 30 % y 50 % de LS hidrolizado, comparando de esta manera los efectos producidos en los tres tratamientos como también contra un control (sustitución del 0%). 2) Realizar un panel de degustación y evaluar las características sensoriales de los diferentes tratamientos. 3) Calcular los rendimientos y la rentabilidad de los diferentes tratamientos. El diseño contó con tres unidades experimentales por tratamiento con 10%, 30 % y 50 % de inclusión de LS y un testigo 0% de remplazo de LS hidrolizado. El porcentaje de hidrólisis del LS fue del 50 % utilizando una dosificación de 1.1 mL promedio de 0.9 – 1.4 mL por litro por una hora a 40 °C, según la Tabla 1. Previamente el LS fue pasteurizado a 72°C. Para las muestras control empleó 17% de azúcar y 0.05% de citrato de sodio; para los otros tratamientos empleó 14% de azúcar y el 0.05% de citrato de sodio. Tanto a la leche como al LS dulce les realizó los análisis de composición físico-química (grados Brix, pH y humedad). Para la evaluación sensorial de los productos obtenidos de los diferentes tratamientos evaluó: aspecto brillante, aspecto viscoso, color crema, color homogéneo, aroma intenso, aroma lácteo, sabor intenso, sabor dulce y astringencia. Para el análisis microbiológico de la leche condensada obtenida determinó lo exigido por la Resolución 02310 de 1986 [MinSalud, 1986]: recuento total de aerobios mesófilos en placa UFC/g, coliformes totales NMP/g y hongos y levaduras recuento UFC/g. Finalmente, realizó el análisis de costos y rendimientos.

Sarmiento [2000] encontró que: 1) Los diferentes tratamientos de inclusión parcial de LS hidrolizado (10%, 30 % y 50 %) al compararse con el tratamiento testigo 0% de remplazo se observó que no hubo modificaciones fisicoquímicas, ni microbiológicas al trabajar con LS. Por lo tanto, se sugiere al comité del Instituto Colombiano de Normas Técnica y de Certificación tenga en cuenta el uso del LS en la elaboración de la leche condensada azucarada como un ingrediente más el cual puede ayudar a disminuir costos y reducir la contaminación ambiental. 2) Los parámetros analizados en el panel de degustación como aspecto brillante, aspecto viscoso, color crema, color homogéneo, aroma intenso, aroma lácteo, sabor intenso, sabor dulce y astringencia no mostraron diferencias significativas, por lo tanto, se pudo concluir que los porcentajes de inclusión del 10%, 30 % y 50 % no modificaron las características sensoriales, con excepción del color crema. 3) Los costos de producción a medida que se aumenta el porcentaje de inclusión de LS hidrolizado disminuyen considerablemente, donde el mejor tratamiento fue el del 50 % y los costos bajaron en un 21%. Y, 4) Los rendimientos no se vieron afectados.

Fernández y Arango [2005] elaboraron *arequipe* utilizando LS de queso blanco. Emplearon cinco tratamientos con tres replicaciones cada uno. Los tratamientos se establecieron según la cantidad de leche remplazada por LS hidrolizado para analizar los efectos de los diferentes porcentajes en el producto terminado así: a) Tratamiento 1: 100% leche y 0 % LS; b) Tratamiento 2: 75% leche y 25% LS; c) Tratamiento 3: 50% leche y 50% LS; d) Tratamiento 4: 25% leche y 75% LS; e) Tratamiento 5: 0% leche y 75% LS. Para la elaboración de las muestras de arequipe el LS fue hidrolizado, generando un producto bajo en lactosa. Para la hidrólisis adicionaron la enzima β -D galactosidasa a razón de 2.9 cm³ de Maxilact L 2000® por cada litro de LS a una temperatura de reacción de 40°C. Obtuvieron un grado de hidrólisis de la lactosa de 80%, (en una hora). Cada lote fue de 30 kg de mezcla. Para darle sabor al producto utilizaron azúcar en una proporción del 15%, y azúcar invertida la cual se preparó así: se depositan 15 kilogramos de agua y 37 kilogramos de azúcar, se abre la llave del vapor y se sube la temperatura hasta 85°C, a esa temperatura se adicionan 37 ml de ácido clorhídrico, revolviendo constantemente y se deja actuar por

15 minutos. Transcurrido este tiempo se enfría a 60°C y se adicionan 37g de bicarbonato de sodio, se agita por 10 minutos y se envasa y almacena a 4°C. Para la formulación del arequipe ésta reemplazó el 30% de sacarosa en cada tratamiento. Adicionalmente, utilizaron: a) Silicona como antiespumante en una proporción de 0.012% para cada tratamiento. b) Bicarbonato de sodio como neutralizante de la acidez de la mezcla, ya que esto ayuda a estabilizar las proteínas y también actúa como catalizador de las reacciones de Maillard entre las proteínas y los azúcares. Utilizaron distintas cantidades dependiendo la acidez que presentara la mezcla hecha para cada uno de los tratamientos formulados. c) Sorbato de calcio como conservante (0.002%, para cada tratamiento formulado).

Durante el proceso de elaboración del arequipe determinaron la acidez y grados Brix del LS, antes y después de ser hidrolizado; para tenerlos en cuenta al momento de mezclarlo con la leche, y poder determinar la cantidad de neutralizante necesaria para el producto final. El control de calidad del arequipe se realizó por medio de análisis fisicoquímicos para verificar que cumpla con las especificaciones dadas por las normas del Ministerio de Salud. En el análisis sensorial se evaluaron el sabor, el olor y el color, utilizando una prueba de tipo descriptiva (calificación por medio de escalas de intervalo). En este tipo de prueba se trata de definir las propiedades del alimento y medirlas de la manera más objetiva posible.

Fernández y Arango [2005] encontraron que: 1) Las características fisicoquímicas del arequipe, acidez, grasa, grados Brix, cenizas, viscosidad y humedad no se vieron afectadas por la sustitución de leche por LS mientras que las características pH y proteína fueron afectadas por esta misma sustitución dadas las características fisicoquímicas del LS. 2) Las características sensoriales textura, sabor, color, se vieron afectadas por los diferentes tratamientos. Siendo los de mayor aceptación para textura y sabor los tratamientos 2 (25% LS) y 3 (50% LS) aunque es superior el tratamiento 1 (100% Leche). Para el color el tratamiento de mayor aceptación es el 3, superando al tratamiento 1. 3) Por lo anterior los tratamientos 2 y 3 son los más recomendados en la utilización del LS en la fabricación del dulce de

leche. 4) De acuerdo con los resultados presentados, se verifica que es viable el empleo de LS de queso en hasta un 50% en la fabricación de arequipe, aumentando su rendimiento sin alterar sus características sensoriales y disminuyendo, para la industria lechera, los costos de tratamiento de efluentes. 5) La utilización de la enzima β -D-galactosidasa en la elaboración de derivados lácteos es una técnica que debe tenerse en cuenta debido a su positiva influencia en ciertas características finales de los productos y por no presentar mayor inconveniente en los procesos de elaboración. Y, 6) El procedimiento convencional de elaboración del arequipe normal, se adapta para la obtención del mismo producto con inclusiones de LS.

5 Conclusiones

Debido a las grandes cantidades de queso que son producidas a nivel mundial, el LS ha generado un problema de contaminación ambiental. Éste, aunque no constituye un sustituto integral de la leche de vaca por ser una fracción de la misma, contiene nutrientes y compuestos con potenciales beneficios; por lo tanto, al ser aprovechado en la industria láctea deja de ser un subproducto para convertirse en una materia prima menos costosa, por muchas de sus características nutritivas, funcionales y tecnológicas en diferentes formulaciones tanto en la industria láctea como en otras.

Es importante conocer y saber trabajar aquellos factores anteriormente mencionados que pueden limitar la incorporación de LS por los componentes de él, principalmente la lactosa, en la elaboración de leches concentradas azucaradas ya que cuando la cantidad de lactosa presente sobrepasa el nivel de saturación, ella cristaliza, formando cristales detectables al paladar. El LS debe ser dulce para la utilización en éstos derivados.

Bibliografía bibliográficas

- FERNÁNDEZ, Y. Y ARANGO, A. Elaboración de arequipe utilizando suero de queso blando. Tesis. Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia (sede de Medellín), Facultad de Ciencias Agropecuarias, 2005.
- HYNES, E. Y ZALAZAR, C.A. Lactose in Dulce de Leche. En: MCSWEENEY Y FOX. *Advanced Dairy Chemistry Volume 3: Lactose, water, salts and vitamins*. Springer US, 2013, p. 536.
- MADR *Agrocadenas*. Bogotá, Colombia Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2007.
- MINSALUD Resolucion Numero 2310 de 1986. Bogotá, Colombia: Ministerio de Salud, Republica de Colombia, 1986. 38 p.
- NEIRA BERMÚDEZ, E. Y LÓPEZ TORRES, J. *Guía técnica para la elaboración de productos lácteos*. 5 ed. Bogotá: De la Mancha Impresores, 2010. 247 p.
- PARRA HUERTAS , R. Lactosuero: importancia en la industria de alimentos. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, 2009, vol. 62, no. 1, p. 4967-4982.
- PINTADO, P.J. Elaboración de manjar utilizando suero de quesería a diferentes niveles como sustituto de la leche en el Cantón Pastaza. Tesis. Puyo, Pastaza, Ecuador Universidad Estatal Amazónica, Ingeniería Agroindustrial, 2012.
- POSADA, K., TERÁN, D.M. Y RAMÍREZ-NAVAS, J.S. Empleo de lactosuero y sus componentes en la elaboración de postres y productos de confitería. *La Alimentación Latinoamericana*, 2011, vol. 292, p. 66-75.

- RAMIREZ-NAVAS, J.S. Diseño de procesos en Industria Láctea: Transformación de lactosuero. En: *Investigación aplicada a la Ingeniería de Procesos*. San Juan de Pasto, Nariño, Colombia: Editorial UNIMAR, Universidad Mariana, 2015, p. 53-62.
- RAMÍREZ-NAVAS, J.S. Aprovechamiento Industrial de Lactosuero. En: *XV Congreso Latinoamericano de Estudiantes de Ingeniería Química - XV COLAEIQ*, San Salvador, El Salvador., Jul, ALEIQ Ed., 2009. p. 50.
- RAMÍREZ-NAVAS, J.S. Aprovechamiento industrial de lactosuero mediante procesos fermentativos. *Publicaciones e Investigación*, 2012, vol. 6, no. 1, p. 69-83.
- SARMIENTO, D. Efecto de tres niveles de inclusión de lactosuero hidrolizado en la elaboración de leche condensada azucarada. Tesis. Fusagasugá, Colombia: Universidad de Cundinamarca, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Programa de Zootecnia 2000
- SENATI. *Elaboración de manjar blanco - documento de consulta*. Lima, Perú: Servicio Nacional de Adiestramiento en Trabajo Industrial, 2009.
- SILVA RUBIO, L.A., BERMÚDEZ HUERTAS, A., BETANCOURT ORTIZ, R., ALMARIO MAYOR, F., MOJICA G., P., CUÉLLAR, S. Y MONTOYA, M. *Boletín Tecnológico: Uso del suero de leche en alimentos y sus sustitutos*. Bogotá, Colombia: Pontificia Universidad Javeriana - Superintendencia, Industria y Comercio, 2013. 122 p.
- TAMIME, A.Y. *Dairy Powders and Concentrated Products*. Wiley, 2009. 408 p.

ZADOW, J.G. *Whey and lactose processing*. London ; New York, NY, USA: Elsevier Applied Science; Sole distributor in the USA and Canada, Elsevier Science Pub. Co., 1992. xvi, 489 p. p.

ZAPATA, M.L. Utilización de la quinua (*Chenopodium quinoa*) en el manjar de leche con sustitución parcial de suero de quesería en la empresa de lácteos san Antonio C.A. del Cantón Cañar. Tesis. Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos 2010.

Capítulo 8

COCADAS DE LECHE CON PANELA

Kevin José González Morelo
<https://orcid.org/0000-0003-4017-6388>

Piedad Margarita Montero Castillo
<https://orcid.org/0000-0001-7148-5285>

Diofanor Acevedo Correa
<https://orcid.org/0000-0002-1364-7044>

Juan Sebastián Ramírez-Navas
<https://orcid.org/0000-0002-6731-2784>

1 Introducción

Los productos tradicionales (PTs) son elementos relevantes en la cultura, identidad y patrimonio de una región; contribuyen al desarrollo y sostenibilidad de las áreas rurales mitigando la emigración y ofreciendo variedad y elección a los consumidores. Son reconocidos por el sabor y la autenticidad dada por su origen. En general, los PTs han sido preparados por mucho tiempo por grupos de personas que comparten un estilo de vida similar y utilizan materias primas autóctonas o producidas en la zona que habitan [Kristbergsson y Oliveira, 2016].

En Colombia, la producción de PTs se realiza principalmente por pequeños y medianos empresarios, que generalmente, no cuentan con procesos estandarizados, incumpliendo la normatividad vigente para este tipo de productos. Las dificultades productivas y económicas por las que atraviesa el país, específicamente los pequeños produc-

tores rurales, han motivado la iniciación de un proceso de conocimiento, valorización e innovación de los sistemas agroalimentarios locales, y lo más importante es la posibilidad de rescatar y agregar valor a los productos agroalimentarios típicos más apetecidos por los consumidores, permitiendo un mayor desarrollo de la agroindustria local artesanal y mejores ingresos a los productores [Saldaña *et al.*, 2015; Verbeke *et al.*, 2016]. Para esto, es necesario conocer las propiedades básicas del producto.

Las cocadas son uno de los dulces más reconocidos en las costas colombianas. Por ejemplo, en la ciudad de Cartagena de Indias representa un PT apetecido por turistas y residentes. En este capítulo se presenta el proceso elaboración de las cocadas leche con panela; se hace hincapié en el efecto de la temperatura y el tiempo de cocción sobre las características colorimétricas, termofísicas, texturales, sensoriales de este alimento.

2 Cocadas

En Colombia, las cocadas son un producto obtenido mediante la concentración por evaporación de una mezcla de coco rallado, leche, panela o azúcar refinada y canela. Existen dos presentaciones básicas, las cocadas de leche y las cocadas de leche con panela (CLP); en las primeras se usa azúcar blanca y en las segundas panela. A pesar de poseer una alta actividad comercial por ser un producto conocido en todo el país, no se evidencian estudios científicos sobre la calidad de la cocada.

2.1 Características organolépticas

La consistencia de las CLP varía de productor a productor; se pueden encontrar cocadas con una consistencia blanda y otras moderadamente dura y seca. Algunas variedades son arenosas y quebradizas, generalmente las cocadas de leche. Posee una alta concentración de sólidos (aproximadamente 80°Bx), con una humedad residual máxima de 10%. El color de las CLP es café de intensidad moderada, con cierta brillantez. Su sabor es dulce sobresaliente en intensidad moderada, con aroma lácteo y marcado sabor a coco.

2.2 Composición

La composición de las cocadas varía de acuerdo al tipo. Un rango aproximado de su composición es: de 61% a 82% de carbohidratos, de 8% a 18% de materia grasa, de 6% a 8% de humedad, de 1.5% a 8% de proteína y de 1.5% a 2% de cenizas. En la Figura 1 se presenta la pirámide calórica, que muestra qué porcentaje de las calorías de las cocadas provienen de carbohidratos, grasas o proteínas. En esta representación se observa que este alimento se ubica cercano al borde inferior izquierdo, esto quiere decir, que es un alimento rico en grasa y carbohidratos, y bajo en proteínas. Esto es lógico, ya que en su fabricación se incluye el coco, que es un alimento con un alto contenido de ácidos grasos. Las cocadas proveen un aporte calórico que está entre 1700 a 1900 kJ, gracias a la cantidad de carbohidratos y lípidos y es catalogado como un producto de buena fuente de energía.

González-Morelo *et al.* [2017] evaluaron la humedad de cocadas elaboradas a diferentes temperaturas a (T1: 70°C y T3: 90°C). Observaron que, conforme avanza el proceso de cocción la humedad de la mezcla disminuye. De igual forma, al incrementar la temperatura de cocción, el descenso de la humedad es más abrupto (ver Tabla 1). También, que a mayor temperatura de cocción (T4) se evidencian mayores concentraciones de grasa, proteína y cenizas.

Figura 1. Radio Calórico.

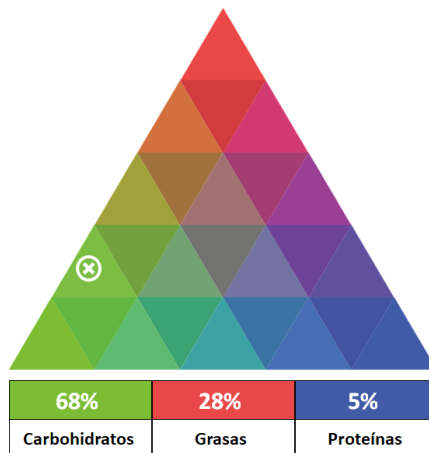


Tabla 1. Composición química de las cocadas.

Parámetros (%)	Tratamientos			
	T1	T2	T3	T4
Humedad	8.20 ± 0.65c	7.31 ± 0.50b	7.32 ± 0.55b	6.50 ± 0.50a
Grasa	17.86 ± 0.30a	19.80 ± 0.31b	19.97 ± 0.29b	22.16 ± 0.28c
Proteína	8.01 ± 0.60ab	7.90 ± 0.55b	8.05 ± 0.47bc	8.13 ± 0.53c
Cenizas	1.80 ± 0.63a	1.83 ± 0.58a	1,77 ± 0.61a	2.0 ± 0.50b
Fibra cruda	3.73 ± 0.10a	3.74 ± 0.09a	3.74 ± 0.11a	3.72 ± 0.11a
Carbohidratos	61.02 ± 3.39a	61.90 ± 3.43a	60.90 ± 3.3a	62.10 ± 3.50b
Calorías (Kcal)	370.32 ± 4.56a	369.63 ± 4.00a	370.50 ± 3.70a	369.85 ± 4.06a

Nota: Las filas con letras diferentes indican la existencia de diferencia estadísticamente significativa ($p \leq 0.05$). T1: $T = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$; $t = 60\text{ min}$. T2: $T = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$; $t = 90\text{ min}$. T3: $T = 90\text{ }^{\circ}\text{C}$; $t = 60\text{ min}$. T4: $T = 90\text{ }^{\circ}\text{C}$; $t = 90\text{ min}$.

Se asume que la proteína hallada en las cocadas tiene su origen en la leche empleada en la elaboración, la cual oscila entre 31 g L^{-1} a 33 g L^{-1} de proteína [Claeys *et al.*, 2014; Enb *et al.*, 2009]. El gran valor que poseen las proteínas en los alimentos se debe a las propiedades nutricionales que estas les otorgan, ya que las moléculas nitrogenadas presentes en su composición permiten conservar la estructura y el crecimiento de quien las consume; así mismo pueden ser ingredientes de productos alimenticios y, por sus propiedades funcionales, ayudan a establecer la estructura y propiedades finales del alimento [Badui Dergal, 2013; Foegeding y Davis, 2011].

González-Morelo *et al.* [2017] no observaron diferencias estadísticamente significativas ($p > 0.05$) en el contenido de fibra de los tratamientos. El contenido de fibra es aportado por el coco rallado, el cual tiene un contenido aproximado de 4.53% de fibra en base húmeda y 58.71% en base seca [Alarcón García *et al.*, 2013; Dhingra *et al.*, 2011; Raghavendra *et al.*, 2006]. Por otro lado, el aporte de fibra en

las cocadas brinda efectos benéficos para la salud del consumidor por su intervención en los procesos de control del tránsito intestinal, equilibrio de los niveles de colesterol y menor riesgo de enfermedades cardiovasculares [Cabrera y Cárdenas, 2006]. El contenido de carbohidratos final de las cocadas fue de (61.48 ± 0.69) % otorgado por el coco rallado y la leche.

3 Manufactura

3.1 Materia prima e ingredientes

Las cocadas se elaboran con, leche, panela y canela.

Coco (Cocos nucifera): esta fruta se adiciona como una de las principales materias primas en la elaboración de cocadas, proporcionándoles el sabor y la textura características. Generalmente se agrega finamente rallado y de él se deriva el nombre del producto. La cantidad de coco agregado depende del gusto del productor [UNC, 1988].

Panela: es el producto que se obtiene al secar el jugo de la caña de azúcar. Para producirla, en el trapiche, el lugar donde se prepara la panela, la caña de azúcar se prensa en un molino y luego su jugo se calienta a altas temperaturas hasta formar una miel bastante densa, luego se coloca en moldes de diferentes formas, en donde se deja secar hasta que se solidifica. En Colombia, la panela es muy usada como edulcorante de postres y bebidas tradicionales como el guarapo, la chicha, el café, el chocolate y la natilla. Por otra parte, la miel de panela, también conocida como miel de caña, melao o **melado**, es un producto líquido viscoso dulce que se prepara al cocinar panela con poca agua. La miel de panela se usa para endulzar diversos productos y postres [Domínguez *et al.*, 2013]. La composición de la panela en promedio es de 4% de humedad, 2.1 % de fibra, 1.96 % en grasa y 0.58 % de proteína.

Leche: en el caso de las CLP esta es la materia prima, en proporción, más importante. Previo a la elaboración de las cocadas, debe alma-

cenarse a 4°C. Su composición en promedio es de 89% de humedad, 3.4% de grasa, 3.2% de proteínas y 4.85 % de lactosa.

Otras materias primas empleadas son la canela (*Cinnamomum verum*), los clavos de olor (*Syzygium aromaticum*) y la vainilla (*Vanilla planifolia*). Estas materias primas aportan sabor al producto final. También se emplea bicarbonato de sodio como neutralizante y como agente de color.

Figura 2. *Proceso productivo de la Panela.*



Fuente: Trapiche Gualanday [2013]

3.2 Proceso productivo

En la Tabla 2 se presentan valores de referencia de los ingredientes requeridos para elaborar CLP. Artesanalmente, éstas se preparan, mezclando la leche, el bicarbonato y la panela en una paila, estos ingredientes se calientan hasta 70°C. Posteriormente, se adiciona vainilla y coco rallado manteniendo la agitación constante, hasta que se observa una pasta de color café claro. Después de la cocción, la mezcla se vierte en moldes asépticos de plástico, generalmente cuadrados con dimensiones de 4 cm x 4 cm x 1 cm. El peso del producto final es aproximadamente de 15g a 19g. Las CPL se dejan en reposo en los moldes hasta alcanzar temperatura ambiente, por un tiempo de

10 min. Finalmente se almacenan durante 25 min a 5°C, para luego ser desmoldadas y empacadas.

Tabla 2. *Formulación para el proceso de elaboración de las cocadas.*

Ingredientes	Porcentaje (%)
Coco rallado	55.55
Panela	22.40
Leche entera	21.00
Vainilla	0.72
Canela	0.14
Clavo de olor	0.14
Bicarbonato de sodio	0.05
Totales	100

4 Parámetros de calidad

4.1 Color

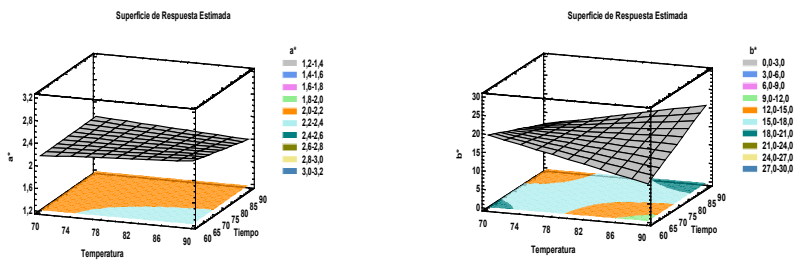
Varias investigaciones afirman que el color es un atributo de calidad muy importante en los alimentos frescos transformados tecnológicamente; es indispensable su estudio para promover la aceptación en los consumidores [Novoa y Ramírez-Navas, 2012; Paula y Conti-Silva, 2014; Ramírez-Navas y Rodríguez de Stouvenel, 2012]. Por otro lado, Moyano y Pedreschi [2006] señalan que la temperatura y el tiempo en procesos térmicos afectan las propiedades colorimétricas de los alimentos, dependiendo de la matriz con la que se esté trabajando. El estudio del color en los alimentos ha permitido la estandarización de productos hasta un margen cuantificable, el cual sea apreciado y atractivo. La percepción y definición de colores por parte de los seres humanos es algo subjetivo [Moyano *et al.*, 2007; Pedreschi *et al.*, 2006].

La medición de los cambios del color del producto, se realiza empleando un espectrocolorímetro que mide la luz reflejada [Ramírez-Navas,

2010]. El sistema de medición de los parámetros cromáticos que se utiliza es la escala CIELab. González-Morelo *et al.* [2017] evaluaron el color de cocadas elaboradas a diferentes temperaturas a (T1: 70°C y T3: 90°C). Observaron que a mayor temperatura y tiempo de cocción se presenta un mayor descenso en la luminosidad y mayor variación en la diferencia total de color ΔE . Las altas temperaturas y los tiempos prolongados en la cocción de las cocadas aceleran las reacciones de pardeamiento no enzimático como la reacción de Maillard y caramelización, las cuales ocasionan un oscurecimiento del producto. Esto se da por la interacción de azúcares (panela) y proteínas (leche) [Jha *et al.*, 2012; Penci y Marín, 2016]. Para las CLP la luminosidad oscila entre 53 y 86, a^* de 1.2 y 3, y b^* de 6.5 y 29.

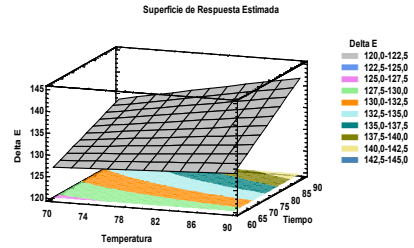
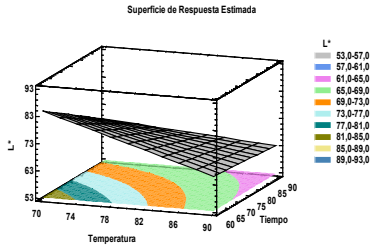
González-Morelo *et al.* [2017] también observaron que los productos obtenidos a temperaturas de 70 °C y tiempos de 60 min evidencian valores de luminosidad más altos y menor variación general en los cambios de color. Los factores temperatura y tiempo influyen significativamente en la respuesta de luminosidad y cambio general de color. Por otra parte, el factor tiempo tiene mayor efecto sobre el parámetro a^* . La temperatura influencia más b^* , L^* y ΔE .

Figura 3. Graficas de superficie de respuesta de parámetros colorimétricos: a) Valor a^* ; b) Valor b^* ; c) Valor L^* ; d) Delta (Δ) E.



A). La ecuación del modelo ajustado es: $a^* = -0.476667 + 0.0376667*Temperatura + 0.0355*Tiempo - 0.000505556*Temperatura*Tiempo$
 Valor óptimo = 2.31333
 Temperatura = 90 °C y 60 min.

B). La ecuación del modelo ajustado es: $b^* = 193.705 - 2.28317*Temperatura - 2.35389*Tiempo + 0.0302*Temperatura*Tiempo$
 Valor óptimo = 20.99
 Temperatura = 70 °C y 90 min.



C). La ecuación del modelo ajustado es:

$$L^* = 284.742 - 2.38183 * \text{Temperatura} - 2.22511 * \text{Tiempo} + 0.0238556 * \text{Temperatura} * \text{Tiempo}$$
 Valor óptimo = 84.7
 Temperatura = 70 °C y 60 min.

D). La ecuación del modelo ajustado es:

$$\text{Delta E} = 149.898 - 0.531167 * \text{Temperatura} - 0.482056 * \text{Tiempo} + 0.0102833 * \text{Temperatura} * \text{Tiempo}$$
 Valor óptimo = 126.983
 Temperatura = 70 °C y 60 min.

Las gráficas de superficie de respuestas obtenidas por González-Morelo *et al.* [2017] de la optimización de los parámetros de color, a través del diseño experimental y las ecuaciones de regresión estimada, las cuales teniendo en cuenta los coeficientes de correlación estadística (R^2), pueden ser utilizadas para describir adecuadamente el comportamiento de estas respuestas, según los factores de estudio (Figura 3).

4.2 Propiedades termofísicas

Las propiedades termofísicas son: el calor específico (C_p), la densidad (ρ), la difusividad (α) y la conductividad térmica (k). Éstas pueden calcularse empleando las fórmulas sugeridas por Choi y Okos [1986] con base en la composición del producto y las temperaturas de procesamiento. Recientes investigaciones [Arrázola *et al.*, 2014a; Arrázola *et al.*, 2014b] confirman que las propiedades termofísicas son parámetros relevantes en la descripción de la transferencia de calor durante el calentamiento de alimentos sólidos. Su conocimiento permite, por una parte, hacer cálculos eficientes de costos energéticos y, por otra asegurar la calidad de los productos.

Alvis *et al.* [2012] afirman que el conocimiento de las propiedades físicas es esencial para el diseño y mejora periódica de la maquinaria utilizada en el procesamiento de productos alimenticios, sobre todo que participa en las operaciones unitarias tales como el bombeo y la evaporación.

Para las CLP elaboradas a diferentes temperaturas a (T1: 70°C y T3: 90°C) González-Morelo *et al.* [2017] evaluaron estas propiedades. Encontraron que la conductividad térmica, la difusividad térmica y la capacidad calorífica aumentaron con la temperatura y tiempo de proceso. Esto puede deberse a que, durante el proceso de cocción, el material se concentra haciéndose más compacto y encogiéndose, mejorando la transferencia de calor por la forma de lámina que obtiene el producto al final del proceso de reposo y moldeado. Los valores promedio para CLP de conductividad térmica es de 0.26 W/m K, de densidad es de 1278 kg/ m³, de capacidad calorífica es de 1.99 kJ/ kg K, y de difusividad térmica 1.09×10^{-7} m²/s. Las variaciones en los valores en las propiedades termofísicas en las CPL dependen del aumento de la temperatura.

4.3 Parámetros texturales

La evaluación de la textura se realiza empleando analizadores de textura o texturómetros [Juri-Morales y Ramirez Navas, 2018]. Generalmente, vienen provistos de una celda de carga de 500 N. Las muestras se colocan sobre dos soportes paralelos, separadas a una distancia conocida. Un tercer eje paralelo, del mismo material de los soportes se desplazó verticalmente ejerciendo una fuerza hasta producir un quiebre en la estructura de la muestra, en este caso la CLP. A partir de las curvas fuerza-deformación de ruptura obtenidas con el software acoplado al computador, se obtienen los siguientes parámetros de texturales: fracturabilidad (N), dureza (N), y rigidez (N mm⁻¹).

González-Morelo *et al.* [2017] evaluaron estas propiedades para las CLP elaboradas a diferentes temperaturas a (T1: 70°C y T3: 90°C). Observaron que la variación en la fracturabilidad, dureza y rigidez de las cocadas se pueden explicar por cambios después del proceso de cocción, como desnaturalización de proteínas y la deshidratación. Encontraron que los valores más altos en todos los parámetros texturales los obtuvieron las muestras tratadas a mayor temperatura (90 °C). A menor temperatura (70 °C), las cocadas tuvieron menor fracturabilidad, dureza y rigidez. Los valores de fracturabilidad oscilaron entre 1.95 y 22.01 N, los de dureza entre 6.66 y 26.78 N, y los de rigidez entre 3.62 y 14.6 N/mm.

En la fracturabilidad y dureza el factor de mayor influencia fue el tiempo de procesamiento, mientras que para la rigidez fue la temperatura. Dadas las diferencias por González-Morelo *et al.* [2017], las condiciones óptimas para elaborar unas CLP con una buena fracturabilidad, dureza y rigidez serían a temperatura y tiempo de 70°C durante 60 min.

Las características texturales de las CLP se deben al proceso de cocción, a los ingredientes utilizados durante la elaboración de la misma, y a la variación de la composición proximal, especialmente de la humedad de las muestras. Los datos de la dureza, fracturabilidad y rigidez de las muestras se relacionan con un buen grado de frescura del producto, mientras que la rigidez evidencia información sobre la estructura interna de las CLP. Otro factor que influye en la textura es la refrigeración.

5 Comentarios finales

Las cocadas elaboradas a 90°C por tiempos mayores a 60 minutos presentan un menor contenido de humedad, debido a la pérdida de agua ocurrida en el proceso de cocción, lo que trae consigo la mayor concentración de grasa, proteína y cenizas. A temperaturas y tiempos de cocción mayores disminuye estadísticamente la luminosidad y aumenta la variación de los cambios de color (ΔE), debido a las reacciones de pardeamiento no enzimático, igualmente la fracturabilidad, dureza y rigidez. Una temperatura de 70°C permite obtener cocadas de buena aceptabilidad, por lo cual es la mejor alternativa para elaborar CLP.

Referencias bibliográficas

- ALARCÓN GARCÍA, M.Á., LÓPEZ VARGAS, J.H. Y RESTREPO MOLINA, D.A. Caracterización de la funcionalidad tecnológica de una fuente rica en fibra dietaria obtenida a partir de cáscara de plátano. *Revista Facultad Nacional Agronomía Medellín*, 2013, vol. 66, no. 1, p. 6959–6968.
- ALVIS, A., CAICEDO, I. Y PEÑA, P. Determinación de Propiedades Termofísicas de Alimentos en Función de la Concentración y la Temperatura empleando un Programa Computacional. *Información tecnológica*, 2012, vol. 23, no. 1, p. 111-116. 10.4067/s0718-07642012000100012
- ARRÁZOLA, G., ALVIS, A. Y PÁEZ, M. Composición, Análisis Termofísico y Sensorial de Frutos Colombianos. Parte 2: Acerola (*Malpighia emarginata* L.). *Información tecnológica*, 2014a, vol. 25, p. 23-30.
- ARRÁZOLA, G., PÁEZ, M. Y ALVIS, A. Composición, Análisis Termofísico y Análisis Sensorial de Frutos Colombianos: Parte 1: Almendro (*Terminalia Catappa* L.). *Información tecnológica*, 2014b, vol. 25, p. 17-22.
- BADUI DERGAL, S. *Química de los alimentos*. México: Pearson Educación, 2013. 744 p.
- CABRERA, J. Y CÁRDENAS, M. Importancia de la fibra dietética para la nutrición humana. *Revista Cubana de Salud Pública*, 2006, vol. 32, p. 100–105.
- CLAEYS, W.L., VERRAES, C., CARDOEN, S., DE BLOCK, J., HUYGHEBAERT, A., RAES, K., DEWETTINCK, K. Y HERMAN, L. Consumption of raw or heated milk from different species: An evaluation of the nutritional and potential health benefits. *Food Control*, 2014, vol. 42, p. 188-201. 10.1016/j.foodcont.2014.01.045

- CHOI, Y. Y OKOS, M.R. *Thermal properties of liquid foods: review*. American Society of Agricultural Engineering, 1986, p. 93-101.
- DHINGRA, D., MICHAEL, M., RAJPUT, H. Y PATIL, R.T. Dietary fibre in foods: a review. *Journal of Food Science and Technology*, 2011, vol. 49, no. 3, p. 255-266. 10.1007/s13197-011-0365-5
- DOMÍNGUEZ, V., GONZÁLEZ, D. Y RAMÍREZ-NAVAS, J.S. Gelatina de pata de res. *La Alimentación Latinoamericana*, Dic 2013, vol. 307, p. 58-63.
- ENB, A., ABOU DONIA, M.A., ABD-RABOU, N.S., ABOU-AR-AB, A.A.K. Y EL-SENAITY, M.H. Chemical composition of raw milk and heavy metals behavior during processing of milk products. *Global Veterinaria*, 2009, vol. 3, p. 268–275.
- FOEGEDING, E.A. Y DAVIS, J.P. Food protein functionality: A comprehensive approach. *Food Hydrocolloids*, 2011, vol. 25, no. 8, p. 1853-1864. 10.1016/j.foodhyd.2011.05.008
- GONZÁLEZ-MORELO, K.J., ACEVEDO CORREA, D. Y MONTERO-CASTILLO, P.M. Effect of Processing Variables on Quality Parameters of Cocadas with Panela. *International Journal of Engineering and Technology*, 2017, vol. 9, no. 6, p. 4238-4249. 10.21817/ijet/2017/v9i6/170906102
- JHA, A., KUMAR, A., JAIN, P., OM, H., SINGH, R. Y BUNKAR, D.S. Physico-chemical and sensory changes during the storage of lal peda. *Journal of Food Science and Technology*, 2012, vol. 51, no. 6, p. 1173-1178. 10.1007/s13197-012-0613-3
- JURI-MORALES, G. Y RAMIREZ NAVAS, J.S. Efecto de la variación del porcentaje de deformación y velocidad de descenso en análisis de perfil de textura. *Revista RECITEIA*, 2018, vol. 16, no. 1, p. 7-17.

- KRISTBERGSSON, K. Y OLIVEIRA, J. *Traditional foods*. New York, USA: Springer Science+Business Media 2016. XXVIII, 416 p.
- MOYANO, P.C. Y PEDRESCHI, F. Kinetics of oil uptake during frying of potato slices. *LWT - Food Science and Technology*, 2006, vol. 39, no. 3, p. 285-291. 10.1016/j.lwt.2005.01.010
- MOYANO, P.C., TRONCOSO, E. Y PEDRESCHI, F. Modeling Texture Kinetics during Thermal Processing of Potato Products. *Journal of Food Science*, 2007, vol. 72, no. 2, p. E102-E107. 10.1111/j.1750-3841.2006.00267.x
- NOVOA, D.F. Y RAMÍREZ-NAVAS, J.S. Caracterización colométrica del Manjar Blanco del Valle. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 2012, vol. 10, no. 2, p. 54-60.
- PAULA, A.M. Y CONTI-SILVA, A.C. Texture profile and correlation between sensory and instrumental analyses on extruded snacks. *Journal of Food Engineering*, 2014, vol. 121, p. 9-14. 10.1016/j.jfoodeng.2013.08.007
- PEDRESCHI, F., MERY, D., MENDOZA, F. Y AGUILERA, J.M. Classification of Potato Chips Using Pattern Recognition. *Journal of Food Science*, 2006, vol. 69, no. 6, p. E264-E270. 10.1111/j.1365-2621.2004.tb10996.x
- PENCI, M.C. Y MARÍN, M.A. Dulce de Leche: Technology, Quality, and Consumer Aspects of the Traditional Milk Caramel of South America. En: KRISTBERGSSON Y OLIVEIRA. *Traditional foods*. New York, USA: Springer Science+Business Media 2016, p. 123-136.
- RAGHAVENDRA, S.N., RAMACHANDRA SWAMY, S.R., RAS-TOGI, N.K., RAGHAVARAO, K.S.M.S., KUMAR, S. Y THARANATHAN, R.N. Grinding characteristics and hydration properties of coconut residue: A source of dietary fiber. *Journal of Food Engineering*, 2006, vol. 72, no. 3, p. 281-286. 10.1016/j.jfoodeng.2004.12.008

- RAMÍREZ-NAVAS, J.S. Espectrocolorimetría: caracterización de leche y quesos. *Tecnología Láctea Latinoamericana*, 2010, vol. 61, p. 52-58.
- RAMÍREZ-NAVAS, J.S. Y RODRÍGUEZ DE STOUVENEL, A. Characterization of Colombian Quesillo Cheese by Spectrocolorimetry. *VITAE*, Ago 2012, vol. 19, no. 2, p. 178-185.
- SALDAÑA, E., BEHRENS, J.H., SERRANO, J.S., RIBEIRO, F., DE ALMEIDA, M.A. Y CONTRERAS-CASTILLO, C.J. Microstructure, texture profile and descriptive analysis of texture for traditional and light mortadella. *Food Structure*, 2015, vol. 6, p. 13-20. 10.1016/j.foostr.2015.09.001
- TRAPICHE GUALANDAY. La panela Yolombó, Antioquia, Colombia, 2013, [citado 18 sep]. Disponible en: <<http://trapichepanelerogualanday.com/>>.
- UNC, I., & JAC. *Manual de Elaboración de Dulces y Panelitas de Leche (Vol. 1)*. Bogota, Colombia Universidad Nacional de Colombia, 1988.
- VERBEKE, W., GUERRERO, L., ALMLI, V.L., VANHONACKER, F. Y HERSLETH, M. European consumers' definition and perception of traditional foods. En: KRISTBERGSSON Y OLIVEIRA. *Traditional foods*. New York, USA: Springer Science+Business Media 2016, p. 3–16.

PARÁMETROS DE CALIDAD

Juan Sebastián Ramírez-Navas
<https://orcid.org/0000-0002-6731-2784>

1 Introducción

La calidad total de un alimento puede determinarse según cinco grupos de parámetros: sensorial, nutricional, sanitaria, fisicoquímica y funcional [Ramírez-Navas *et al.*, 2015]. En la Tabla 1 se detallan algunas de las características de estos grupos de parámetros de calidad.

Tabla 1. *Algunas características de calidad de un alimento.*

Calidad	Características de calidad
Sensorial	Forma, color, olor, sabor, textura
Nutricional	Composición, digestibilidad
Sanitaria	Inocuidad (microorganismos, agentes químicos, contaminantes)
Fisicoquímica	pH, acidez, color, propiedades coligativas, propiedades reológicas, propiedades texturales
Funcional	Envasado, capacidad de depósito, capacidad de porcionado, untuosidad, etc.

Fuente: Ramírez-Navas et al. [2015]

Para el consumidor el valor organoléptico ocupa un lugar predominante, debido a que se trata de cualidades que él mismo puede comprobar y calificar. El segundo lugar lo ocupa el valor sanitario. Sin embargo, el valor nutricional está ganando importancia en la determinación de la calidad para determinados grupos de consumidores.

En este capítulo se presenta un resumen de algunas pruebas que se realizan para evaluar los parámetros de calidad de los dulces de leche. En la medida de lo posible se relaciona la información con normas técnicas nacionales e internacionales.

2 Requisitos que deben cumplir las materias primas

Los dulces de leche, generalmente se producen por la concentración por evaporación de una mezcla de leche, azúcar y/o panela, en presencia de un neutralizante como bicarbonato. En algunos casos específicos se adiciona algún tipo de harina o almidón (panelitas de leche, Manjar Blanco del Valle) o coco rallado (cocadas de leche). Todas estas materias primas deben cumplir con ciertos requisitos para ser aptas para su empleo en la elaboración de estos dulces lácteos. Sin embargo, si la muestra ensayada no cumple con uno o más de los requisitos, debe ser rechazada. También es importante señalar que cuando se emplean aditivos, debe cumplirse con lo establecido por el *Codex Alimentarius*, según las características de diseño del producto. Para determinar los requisitos que deben cumplir existen diversos métodos de rutina, lo importante es que éstos estén correctamente validados y periódicamente controlados con respecto al método de referencia. A continuación, se presentan los requisitos básicos que deben cumplir las materias primas.

2.1 Leche

La leche cruda debe presentar un aspecto normal, estar limpia y libre de calostro, preservantes, colorantes, materias extrañas y olores objetables o extraños. Debe obtenerse a partir de animales sanos, libres de enfermedades tales como fiebre aftosa, brucelosis, tuberculosis, estomatitis vesicular y rabia [ICONTEC, 2002]. En la Tabla 2 se presenta un resumen de los requisitos que debe cumplir la leche cruda. Con relación a la calidad microbiológica la leche cruda tomada en hato, ésta debe cumplir con un recuento de microorganismos mesófilos máximo de 700 000 UFC/ml y un recuento máximo de 700 000 células somáticas/ml. El ensayo de reductasa para la leche cruda tomada en hato debe ser mínimo de cuatro horas. Esta prueba es una medida fisicoquímica indirecta del grado de contaminación de una leche.

Para el caso de la *leche*, se realizan los siguientes ensayos de rutina: a) materia grasa (NTC 4722:1999; ISO 1211:1999, IDF Standard 1D-1996 (MG < 6 %), IDF Standard 16 C:1987 (MG > 6 %), IDF Standard 22B:1987); b) sólidos totales (NTC 4979:2001, ISO 6731:1989, IDF Standard 21 B:1987); c) sólidos no grasos (extracto seco desengrasado), para esto se emplea la fórmula de Richmond: $\% \text{ESD} = 250(D - 1) + 0,2 \times G + 0,14$, donde: ESD: extracto seco desengrasado; D: densidad de la leche a 15/15 °C; G: porcentaje de materia grasa m/m en la leche, d) acidez (NTC 4978:2001, AOAC 33.2.06 (947.05)), e) impurezas macroscópicas (sedimento) (AOAC 16.3.01 (952.21), AOAC 33.2.42 (960.28)), f) índice crioscópico (DE568/2001, ISO/FDIS 5764, IDF Standard 108B:1991, AOAC 33.2.35 (961.07), AOAC 33.2.04 (990.22)), g) gravedad específica (densidad) (AOAC 33.2.03 (925.22)).

Tabla 2. *Requisitos para la leche cruda.*

Requisitos	Mínimos	Máximos
Densidad 15°/15 °C (Gravedad específica)	1,030	1,033
Materia grasa, en % m/m	3,0	
Sólidos totales en % m/m	11,3	
Sólidos no grasos (Extracto seco desengrasado), en % m/m	8,3	
Acidez expresada como ácido láctico, en % m/v	0,13	0,18
Índice crioscópico,	-0,530°C (-0,550°H)	- 0,510 °C (- 0,530 °H)
Proteínas de leche en los sólidos no grasos de la leche (Nx6,38), % m/m	33	-
Índice lactométrico, en °L	8,4	—

Tabla 2. *Requisitos para la leche cruda (continuación).*

Requisitos	Mínimos	Máximos
Estabilidad proteica al etanol	No se coagulará por la adición de un volumen igual de alcohol de 68 % en peso o 75 % en volumen	
Presencia de conservantes		Negativa
Presencia de adulterantes		Negativa
Presencia de neutralizantes		Negativa
Plomo, en mg/kg, máx		0,02

Fuente: ICONTEC [2002]

2.2 Azúcar

El azúcar blanco es el producto sólido cristalizado constituido esencialmente por sacarosa, obtenido mediante procedimientos industriales apropiados y que no ha sido sometido a proceso de refinación [ICONTEC, 2004a]. Debe ser procesado bajo las buenas prácticas de manufactura según lo establecido por la legislación nacional vigente. En la Tabla 3 se presentan los requisitos fisicoquímicos y microbiológicos que debe cumplir el azúcar blanco.

Tabla 3. *Requisitos para el azúcar blanco.*

Requisitos fisicoquímicos	Límite
Polarización en grados sacarimétricos, a 20 °C, min.	99,4
Cenizas, % m/m, máx.	0,15
Humedad, % m/m, máx.	
Granulado	0,07
Moldeado	0,06
Color a 420 nm, UI, max	400
Turbiedad a 420 nm, UI, máx.	400

Tabla 3. *Requisitos para el azúcar blanco (continuación).*

Requisitos microbiológicos	Límite máximo
NMP de coliformes/g	3
NMP de coliformes fecales/g	< 3
Recuento de bacterias mesófilas aerobias/g	< 200 UFC
Recuento de mohos y de levaduras/g	<100 UFC

Requisitos microbiológicos (por métodos de filtración por membrana)	Límite máximo
Recuento de coliformes	80 UFC/10 g
Recuento de coliformes fecales	10 UFC/10 g
Recuento de bacterias mesófilas aerobias	200 UFC/g
Recuento de mohos y recuento de levaduras	100 UFC/g

NOTA UI: unidades ICUMSA

Fuente: ICONTEC [2004a]

En el caso del *azúcar blanco*, se realizan los siguientes ensayos de rutina: a) polarización (NTC 586), b) cenizas (NTC 570), c) humedad (NTC 572), d) color (NTC 2085), e) turbiedad relativa (NTC 2085).

2.3 Panela

La panela es el producto sólido de cualquier forma y presentación proveniente de la evaporación de jugo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), sin centrifugar, que contiene microcristales anhedrales no visibles al ojo humano, manteniendo sus elementos constitutivos como sacarosa, glucosa y minerales, no provenientes de la reconstitución de sus elementos [ICONTEC, 2009c]. Se encuentra en varias presentaciones: sólida, polvo, granulada o como mezcla saborizada. Puede presentar diferentes colores dependiendo de la materia prima usada, la variedad de la caña, las condiciones

agroecológicas y del proceso de elaboración. Para emplearla como materia prima ésta debe estar libre de materias, olores y sabores extraños; no puede estar fermentada ni presentar ataques visibles de hongos o presencia de insectos. Preferiblemente la panela deberá estar libre de contaminantes. Sin embargo, en la normatividad se presentan valores de referencia máximos permitidos de contaminantes: 0.2 mg/kg de Pb, 0.1 mg/kg de As, < 0,05 mg/kg de SO₂. En la Tabla 4 se presentan los requisitos fisicoquímicos y microbiológicos que debe cumplir la panela.

Tabla 4. Requisitos físico químicos y microbiológicos para la panela.

Requisito fisicoquímicos	Valor		Valor	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
	<i>(panela en bloque)</i>		<i>(panela polvo o grano)</i>	
Humedad, fracción en masa en %	--	9	--	5
Cenizas, fracción en masa en %	0,8	--	1	--
Azúcares totales (sacarosa), fracción en masa en %	--	83	--	93
Azúcares reductores (glucosa), fracción en masa en %	5,5	--	5	--
Proteínas, en % (N x 6,25)	0,20%	-	0,20%	-
Potasio en mg/100 g	100	--	100	--
Calcio en mg/100 g	10	--	10	—
Fósforo en mg/100 g	5	--	5	—
Hierro en mg/100 g	1,5	--	1,5	—
Colorantes	Ausencia		Ausencia	
Requisitos microbiológicos	n	m	M	C
Recuento de mohos y levaduras, en UFC/g	5	50	150	2

En donde n = número de muestras que se van a examinar, m = parámetro normal, M = valor máximo permitido, C = número de muestras aceptadas con M
Fuente: ICONTEC [2009c]

El límite de residuos de plaguicidas en la panela debe estar de acuerdo con lo establecido por la Comisión del *Codex Alimentarius*.

Para el caso de la *panela*, se realizan los siguientes ensayos de rutina: a) humedad (AOAC 925.45), b) cenizas (AOAC 900.02), c) azúcares totales (sacarosa) y azúcares reductores (glucosa) (AOAC 923.09), d) potasio, calcio, sodio y hierro (AOAC 985.35), e) fósforo (AOAC 995.11), f) plomo (AOAC 999.11, NTC 4399), f) arsénico (AOAC 986.15), g) sulfitos (ensayo cualitativo - AOAC 975.32, ensayo cuantitativo - AOAC 990.28), h) proteína (AOAC 981.10).

2.4 Glucosa

Se puede conseguir comercialmente como jarabe de glucosa o jarabe de glucosa deshidratado. El primero es una solución acuosa, viscosa, ligeramente dulce, de incolora o translúcida a ligeramente amarilla, miscible al calentar en todas las proporciones con agua, concentrada y clarificada de sacáridos, obtenida por la hidrólisis parcial de almidón alimenticio y/o inulina, a través de ácidos y/o enzimas grado alimenticio. Dependiendo del grado de hidrólisis, el jarabe de glucosa contiene cantidades variables de D-glucosa. El jarabe de glucosa tiene un contenido equivalente de dextrosa de mínimo 20 % m/m (expresado como D-glucosa sobre peso seco) y un contenido total de sólidos de no menos del 70 % m/m. El segundo es un producto al cuál se le ha separado parcialmente el agua, hasta darle una presentación sólida y para obtener un contenido total de sólidos de no menos del 93 % m/m. Su presentación es en polvo o gránulos dulces, blancos a ligeramente amarillos solubles en agua. Cuando el jarabe de glucosa se deshidrata para una presentación sólida, se le llama sólidos de jarabe de glucosa [ICONTEC, 2001]. En la Tabla 5 se presentan los requisitos fisicoquímicos y microbiológicos que debe cumplir la panela.

Tabla 5. *Requisitos físico químicos y microbiológicos para el jarabe de glucosa.*

Requisitos fisicoquímicos	Jarabe de glucosa	Jarabe de glucosa deshidratado		
Grados Baumé (60 °C /15 °C)	36- 46	N.A.		
Equivalente de dextrosa (DE), en %	20 - 70	20 - 70		
Sólidos totales, en %	70 - 90	Mínimo 93		
pH	4,0 - 6,0	4,0 - 6,0		
Cenizas sulfatadas, en %	Máximo 0,80	Máximo 0,80		
Dióxido de azufre, en mg/kg (ppm)	Máximo 40	Máximo 40		
Dióxido de azufre, en mg/kg (ppm), para jarabes utilizados en productos que se someten a alta cocción.	Máximo 400	Máximo 150		
Color original (densidad óptica):				
Para D.E. ≤ 46,0 Para D.E. > 46,0	Máximo 2.0 N.A.			
Almidón cualitativo	Negativo	Negativo		
Humedad, en %	10-30	Máximo 7		
Metales pesados (expresados como plomo), en mg/kg (ppm)	Máximo 5	Máximo 5		
Arsénico, en mg/kg (ppm)	Máximo 1	Máximo 1		
Plomo, en mg/kg (ppm)	Máximo 0,5	Máximo 0,5		
Requisitos microbiológicos	n	c	m	M
Recuento de microorganismos aerobios mesófilos, UFC/g	3	1	5 000	10 000
NMP coliformes fecales/g	3	0	<3	-
Recuento de mohos y levaduras, UFC/g	3	1	500	1000
Detección de Salmonella / 25 g	3	0	0	-

En donde n = número de muestras que se van a examinar, m = índice máximo permisible para identificar nivel de buena calidad, M = índice

máximo permisible para identificar nivel aceptable de calidad, $C = \text{número máximo de muestras permisibles con resultados entre } m \text{ y } M$.

Fuente: ICONTEC [2001]

2.5 Harinas y almidón

En el caso de las panelitas de leche y el manjar blanco de Valle, está permitida la adición de almidón o harinas como espesantes. Los límites máximos para residuos de plaguicidas en estas materias primas no deben exceder los establecidos por la legislación nacional vigente o en su defecto por el *Codex Alimentarius*.

El *almidón* es un polisacárido de reserva alimenticia predominante en las plantas, constituido por amilosa y amilopectina. Proporciona del 70 % al 80 % de las calorías consumidas por los seres humanos. Se comercializa como *fécula de maíz* o almidón de maíz no modificado. Este producto se obtiene por la molienda húmeda del grano de maíz (*Zea Mays*). Químicamente es un carbohidrato, exento de sustancias tóxicas o nocivas [ICONTEC, 2016]. Su presentación comercial es en forma de polvo fino blanco, libre de partículas negras, suciedad u otras impurezas visibles.

La *harina de maíz* precocida blanca o amarilla es el producto obtenido a partir del endospermo de granos de maíz (*Zea mays L.*), clasificados para consumo humano, que han sido sometidos a un proceso de limpieza, desgerminación, precocción, laminado, secado y molturación o molienda [ICONTEC, 2014]. La harina precocida de maíz debe presentar un color homogéneo, y no debe tener grumos ni materiales o contaminantes extraños.

La *harina de trigo* es el producto obtenido de la molienda y cernido, del endospermo de granos de trigo común (*Triticum aestivum L.*), o trigo ramificado (*Triticum compactum Host.*), o mezcla de ellos, con el fin de obtener un tamaño de partícula determinado. Para ser empleada como materia prima, la harina de trigo debe estar exenta de sabores y olores extraños y debe ser inocuo y apropiado para el consumo humano.

Para los casos de la *harina de trigo*, la *fécula* y la *harina de maíz*, se realizan los siguientes ensayos de rutina: a) pH (NTC 440, AACCI 02-52.01), b) humedad (NTC 529, ISO 1666, AOAC 925.09 b), c) cenizas (NTC 3806, ISO 2171, AOAC 923.03, AACCI 08-17.01), d) proteína (ISO 1871, ISO 5378, AOAC 960.52), e) contenido de sulfitos (SO_2) (AOAC 990.28), f) contenido de fibra (AOAC 993.21, AOAC 985.29), g) contenido de grasa (NTC 668, AOAC 920.39C), h) metales pesados (AOAC 986.15), i) granulometría (AOAC 965.22), j) materia extraña (fragmentos de insectos – AACCI 28-41.03, excretas de roedores - AACCI 28-50.01, pelos - AACCI 28-51.02).

2.6 Bicarbonato de sodio

Comúnmente se utiliza bicarbonato de sodio como neutralizante o reductor de la acidez de la leche y como potencializador del color en la elaboración de dulces de leche [Cortés Jiménez *et al.*, 2014]. El bicarbonato de sodio se clasifica de acuerdo a su uso en: a) Tipo 1: corresponde al tipo industrial que comprende los grados A y B, y b) Tipo 2: corresponde al tipo farmacéutico, cuya densidad aparente es $0,81 \text{ g/cm}^3$. También se clasifican según su apariencia: a) Grado A: aquel que se presenta en estado cristalino, con una densidad aparente de $0,86 \text{ g/cm}^3$, y b) Grado B: aquel que se presenta en forma de polvo, con una densidad aparente de $0,81 \text{ g/cm}^3$ [ICONTEC, 1985]. En la Tabla 6 se presentan los requisitos que debe cumplir el bicarbonato de sodio.

Tabla 6. *Requisitos de bicarbonato de sodio.*

Requisitos	Porcentaje en masa	
	Tipo 1	Tipo 2
Bicarbonato de sodio expresado como NaHCO_3 , mín.	98,0	99,5
Carbonato de sodio expresado como Na_2CO_3 , máx.	0,40	0,4
Materia insoluble en agua, máx.	0,50	0,0
Cloruros, expresados como NaCl , máx.	0,05	0,05
Hierro, expresado como Fe , máx.	0,005	0,005
Humedad, máx.	2,0	0,25
Metales pesados, expresados como Pb , máx.	0,0005	0,0005
Arsénico, expresado como As , máximo.	-	0,0003

Fuente: ICONTEC [1985]

3 Requisitos que deben cumplir los dulces de leche

3.1 Leche condensada azucarada

Las leches condensadas azucaradas (LCA), deben presentar un aspecto y consistencia uniformes, exento de grumos y cristales de azúcar. Su color debe ser blanco o crema claro o el característico del sabor correspondiente. El olor y el sabor deben ser característicos del producto. Debe estar exento de sustancias tóxicas, residuos de droga o medicamentos, grasa de origen vegetal o animal diferente a la láctea. El producto debe estar exento de materias extrañas (partículas quemadas, restos de insectos, etc.) [ICONTEC, 2017].

En las LCA se permite la adición de colorantes naturales en una cantidad mínima para obtener el efecto deseado y de colorantes artificiales en un nivel máximo de 30 mg/kg, aprobados por la autoridad sanitaria competente. En Colombia, se permite la adición de: café, cacao, fruta, jugo de frutas, concentrado de frutas, leche, leche en polvo, crema de leche, sacarosa y aditivos aprobados por la autoridad sanitaria competente

para este tipo de productos. Se permite el uso de saborizantes naturales y/o artificiales aprobados por la autoridad sanitaria competente. Se permite la adición de estabilizantes como sales de potasio, sodio y calcio del ácido clorhídrico, del ácido cítrico, del ácido carbónico y del ácido ortofosfórico, expresadas como sustancias anhidras, máx 2 000 mg/kg solas, 3 000 mg/kg en mezcla y de carragenina, máx 150 mg/kg.

En la Tabla 7 se presentan los requisitos que deben cumplir el arequipe, el manjar blanco del Valle y la leche condensada azucarada.

Tabla 7. *Requisitos fisicoquímicos para el arequipe, el manjar blanco y la leche condensada azucarada.*

Requisito *	Arequipe	Manjar Blanco	Leche condensada azucarada		
			Entera	Semidescremada	Descremada
Materia grasa láctea, en %	mín 7	mín 6,5	8	4 a 4,5	0 a 1
Sólidos lácteos no grasos, mín, en %	17	16	20	20	20
Sólidos lácteos totales, mín, en %			28	24	20
Proteínas (N x 6), mín, en %			7	7	7
Extracto seco, mín, en %	70	65	70	70	70
Cenizas, máx, en %	2	2			
Índice de Reichert Meissl, en %.	23 -32	--	--	--	--
Almidones	Negativo	--	Negativo	Negativo	Negativo
Almidones, máx, en %	--	4	--	--	--

* Fracción de masa, en %

NOTA Los resultados obtenidos para el contenido de materia grasa láctea, sólidos lácteos no grasos, extracto seco, cenizas, índice de Reichert

-Meissl y almidones se expresan en fracción de masa según el Sistema Internacional de Unidades, el cuál dice: “Fracción de masa de B, WB: Esta cantidad se expresa frecuentemente en por ciento, %. La notación ‘% (m/m)’ no deberá usarse”.

Fuente: ICONTEC [2017], ICONTEC [2008]

3.2 Dulces de leche

En la elaboración de dulces de leche no debe emplearse ningún tipo de grasa de origen vegetal o animal diferente de la láctea. La normatividad señala que, si se combina el dulce de leche con otros ingredientes alimenticios como frutas, jaleas, derivados del cacao, derivados de café, entre otros, aptos para consumo humano y permitidos por la autoridad sanitaria competente; el dulce de leche debe ser el componente principal, en una cantidad mínima del 70 % en fracción de masa, declarándose el porcentaje de los otros ingredientes en el rotulado general [ICONTEC, 2008].

En la fabricación del dulce de leche se debe tener en cuenta la aplicación de las Buenas Prácticas de Manufactura y/o cualquier otro sistema de gestión de la inocuidad para la elaboración, preparación y manipulación del producto [OMS, 2015].

4 Muestreo

Para realizar el muestreo de leches y derivados lácteos se recomienda seguir las instrucciones de las normas técnicas ISO 707- IDF 50:2008 o GTC 263:2016.

4.1 Generalidades

La toma de muestra debería realizarse de forma que se obtengan muestras representativas del producto. El método preciso de muestreo y la masa o volumen del producto que se va a tomar varía con la naturaleza del producto y con el propósito de las muestras. Por ejemplo, si los productos contienen partículas gruesas, puede ser necesario aumentar el tamaño mínimo de la muestra. Después de realizar el muestreo, el recipiente de la muestra se deberá cerrar de inmediato. En la medida

de lo posible, se debe tomar una muestra adicional para el control de temperatura, durante el transporte al laboratorio de ensayo.

El equipo de muestreo deberá estar limpio y seco y no deberá influir sobre propiedades tales como olor, sabor o consistencia y composición del producto. En algunos casos, se requiere equipo estéril para evitar la contaminación microbiana del producto.

Es importante que los materiales y la construcción de los recipientes para las muestras brinden una protección adecuada y no provoquen cambios en la muestra que puedan afectar los resultados de los análisis posteriores. Dentro de los materiales que se consideran apropiados se encuentran el vidrio, algunos metales (por ejemplo: acero inoxidable) y algunos plásticos (por ejemplo: polipropileno). Por la influencia que la luz pudiera tener sobre la muestra es conveniente que los recipientes sean opacos y que luego de ser llenados, su almacenamiento se realice en un lugar oscuro. Al momento de muestrear los recipientes y cierres éstos deben estar secos, limpios y estériles o adecuados para esterilización. En la medida de lo posible, debe evitarse el uso de recipientes de vidrio para la toma de muestras dentro de las áreas de producción.

La forma y capacidad de los recipientes debe ser la apropiada para los requisitos particulares del producto al que se va a hacer el muestreo. También pueden utilizarse recipientes plásticos desechables o de papel de aluminio con resistencia adecuada (estériles y no estériles) y bolsas plásticas adecuadas, con los métodos de cierre apropiados.

Los recipientes diferentes de las bolsas plásticas deben cerrarse de una manera segura mediante un tapón o una tapa roscada de plástico o metal, y si es necesario, un revestimiento plástico interior hermético, insoluble, no absorbente y a prueba de grasa, que no afecte la composición, propiedades, olor y sabor de la muestra. Los recipientes para muestras necesitan ser herméticos y estar sellados para prevenir la contaminación por entrada de aire.

Si se utilizan tapones, éstos deben ser de un material no absorbente, inodoro e insaboro, o deberán estar cubiertos con él.

Los recipientes para las muestras destinadas a exámenes microbiológicos no deberán utilizar tapones o tapas de corcho, aun cuando estén forrados. Los recipientes para productos sólidos, semisólidos o viscosos, deberán ser de boca ancha.

En el caso de recipientes pequeños para venta al por menor, estos se consideran como los recipientes para muestra; ésta deberá constar del contenido de uno o más recipientes intactos, sin abrir.

El marcado de las muestras no debería influir sobre las propiedades o la composición del producto. Deberían utilizarse equipos de marcado inodoros, como la tinta permanente o los rotuladores permanentes inodoros.

Si es necesario, durante el transporte se deben tomar precauciones para evitar la exposición a olores externos o extraños, luz directa y demás condiciones adversas. Se recomienda que la temperatura de almacenamiento después del muestreo se alcance lo más rápidamente posible. Además, el tiempo y la temperatura deben considerarse en combinación y no independientemente.

Las muestras deben enviarse al laboratorio de ensayo inmediatamente después del muestreo. El tiempo para el envío de las muestras al laboratorio debe ser el menor posible, no más de 24 h. De igual forma, los análisis deben realizarse inmediatamente después de la preparación de la porción para análisis.

4.2 Leche condensada azucarada y dulces de leche

El muestreo de recipientes a granel puede ser extremadamente difícil, particularmente cuando el producto no es homogéneo y es muy viscoso. Los problemas en el muestreo pueden surgir por la presencia de grandes cristales de sacarosa o de lactosa, por la precipitación de diferentes sales que puede ocurrir en el cuerpo del producto o adherirse a las paredes, o por la presencia de material en grumos. Estas condiciones se evalúan previamente introduciendo una varilla de muestreo en el contenedor del producto, y retirándola después de explorar el mayor volumen posible del recipiente. Puesto que el

tamaño de los cristales de azúcar es de menos de 6 μm , no deberían presentarse problemas por esta causa.

Ya que la leche condensada azucarada con frecuencia se almacena a temperatura atmosférica, se recomienda llevar el contenido a una temperatura de $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Al concentrado cristalizado en tanques de almacenamiento no se le puede realizar un muestreo representativo a menos que el tanque esté diseñado y equipado con un agitador accionado mecánicamente. En el informe de toma de muestras debe indicarse si el producto no es homogéneo, y en particular si los cristales no se distribuyen de forma regular. La toma de muestras se realiza inmediatamente después de mezclar.

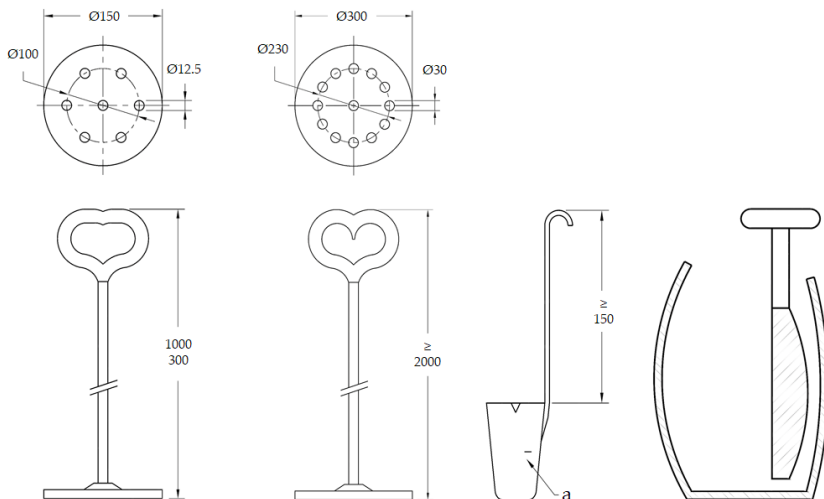
Cuando se muestrean recipientes a granel, antes de abrir el recipiente o de retirar la cubierta superior (tapa), se debe limpiar exhaustivamente y enjuagar con agua fría estéril el borde externo del recipiente o del barril, en el caso de que sea de tipo abierto (con boca). Si es necesario, la superficie se puede flamear repetidamente con alcohol para conseguir su esterilización.

En el caso de la leche condensada, que fluye con facilidad y es de consistencia uniforme, los bidones con boca se inclinan. La muestra debería recogerse según se deja salir el producto. Las bocas con tapón de rosca son difíciles de desinfectar, por lo que deben tomarse precauciones especiales. Cuando el producto se haya vuelto viscoso, tiene que retirarse la capa superficial hasta una profundidad de entre 20 mm y 30 mm utilizando una cuchara tratada (esteril), realizándose entonces la toma de muestras.

Al realizar el muestreo de recipientes con extremo abierto (tambores con tapa), el extremo por donde se recogerá la muestra, antes de abrirlo, debe limpiarse y secarse bien, para evitar que entren materiales extraños durante el proceso de apertura. Se mezcla bien el contenido por medio de un agitador adecuado (Figura 1) y se raspan los lados y el borde del recipiente para retirar cualquier producto que se haya podido adherir. Se mezcla bien el contenido mediante una combinación de movimientos giratorios y verticales, con el agitador inclinado diagonalmente, evitando que penetre aire en la muestra. Se retira el

agitador y se transfiere a un recipiente 5 L la leche condensada adherida a él, por medio de una espátula o cuchara. Se repite la mezcla y se retira el agitador hasta que se hayan colectado de 2 L a 3 L. Se mezcla el volumen hasta que esté homogéneo y se toma la muestra.

Figura 1. Agitadores (de izquierda a derecha: agitador recomendado para bidones y cubos; agitador adecuado para carrotanques, transporte en vías férreas y tanques de fincas; cucharón para líquidos; agitador adecuado para mezcla de leche condensada azucarada en barriles). Dimensiones en milímetros.



5 Análisis bromatológico

5.1 Preparación de la muestra

Se pesan 200 g de muestra en un recipiente y se agregan 400 ml de diluyente (agua para los ensayos fisicoquímicos) y se agita hasta obtener una dispersión homogénea (alternativamente puede usarse un agitador mecánico, siempre y cuando no se produzca mucha espuma).

Para muestras con adición de fruta se pasa la muestra mezclada con el solvente por un tamiz No. 40 ASTM (425 μ m ISO) o equivalente

para separar las partículas macroscópicas de fruta y luego se homogeneiza de acuerdo con lo indicado en el párrafo anterior.

5.2 Ensayos de rutina

A la muestra se le determinan:

- humedad (FIL – IDF 15B: 1991, AOAC 952.08)
- grasa láctea (NTC 4722, FIL – IDF 13C o AOAC 920.111 *Rose-Gottlieb Method. Gravimetric*),
- ácidos grasos saturados (extracción de la materia grasa, met. CITIL. Cromatografía gaseosa de los ésteres metílicos de los ácidos grasos, Ref. Norma IRAM 5650 Parte II)
- colesterol (AOAC 976.26 y AOAC 954.03)
- extracto seco o sólidos totales (NTC 4979 o AOAC 920.107),
- azúcares totales (AOAC 923.09 *Lane-Eynon Method, Volumetric* o AOAC 974.06 *Modified Fehling - Soxhlet. Titration*),
- sacarosa por polarimetría (NTC 4980),
- hidratos de carbono (calculado por diferencia a 100% del resto de los componentes)
- almidón (NTC 5303 o ISO 15914.),
- Índice de Reichert Meissl (NTC 5532 ó en la norma AOAC 925.41),

- contenido de nitrógeno (proteína cruda - N* 6.38) (NTC 5025, AOAC 955.04),
- proteína total (FIL – IDF 20:B: 1993, parte II, Método de Bloque Digestor (Macro Método))
- fibra (AOAC 962.09)
- cenizas (AOAC 942.05 *Ash of Animal Feed*, AOAC 930.30 *Ash of dried milk - Gravimetric Method* ó AOAC 945.48 *Evaporated Milk (Unsweetened)*),
- calcio (digestión vía seca a 500-550 °C y cuantificación por espectrofotometría de absorción atómica.)
- sodio (digestión vía húmeda con ácido nítrico y cuantificación por espectrofotometría de absorción atómica)

Para la determinación de almidón, se puede aplicar la Prueba de Lugol. Para hacerla, se toma una muestra homogenizada de 5 ml, se

coloca en un tubo de ensayo, se hierve y se enfría en agua-hielo. Se agregan cinco gotas de solución yodo-yoduro de potasio. La aparición de una coloración azul indica la presencia de almidón o de harina. Una coloración amarillenta significa un ensayo negativo.

Los sólidos lácteos no grasos se obtienen de la siguiente relación: $\%SLNG = S - (G + A)$, donde $\%SLNG$ es el porcentaje de sólidos lácteos no grasos (fracción de masa) G es grasa láctea (fracción de masa en %), A es azúcar (fracción de masa en %), y S es extracto seco (fracción de masa en %).

Para la leche condensada azucarada no saborizada, los sólidos lácteos totales se calculan mediante la siguiente relación: Sólidos lácteos totales = Sólidos totales - sacarosa por polarimetría. Para leche condensada azucarada saborizada, se determinan en función de la proteína. Los sólidos lácteos no grasos se determinan mediante la siguiente relación: Sólidos lácteos no grasos = sólidos lácteos totales - materia grasa

Los resultados obtenidos para el contenido de sólidos lácteos no grasos, grasa, azúcar y extracto seco deben expresarse en fracción de masa según el Sistema Internacional de Unidades.

La cantidad de energía o aporte calórico (kcal/100 g o kJ/100g) se determinan relacionando los porcentajes de proteínas (%P), materia grasa (%MG) y carbohidratos (%CHO) de acuerdo a la ecuación (1). En el caso de los lácteos, los factores de conversión (FC) que deben incluirse en la ecuación son: para proteína: 4.27 kcal/g o 17.9 kJ/g, para materia grasa 8.79 kcal/g o 36.8 kJ/g, y para carbohidratos totales 3.87 kcal/g o 16.2 kJ/g [FAO, 2002].

$$\text{Aporte calórico} = FC_P \cdot \%P + FC_{MG} \cdot \%MG + FC_{CHO} \cdot \%CHO \quad (1)$$

Por ejemplo, si se desea calcular el aporte calórico de una panelita que

$$\text{Aporte calórico}_{\text{panelita}} = 4.27 \cdot 4.5 + 8.79 \cdot 6.7 + 3.87 \cdot 77 = 374,34 \text{kcal}/100\text{g}$$

Utilizando los factores de conversión adecuados se puede obtener la respuesta en kcal/100 g o kJ/100g. En el caso del ejemplo se utiliza-

ron los que relacionaban kcal/100, sin embargo, la recomendación del Sistema Internacional de Unidades es que se trabaje en kJ/100. En los casos en que se deba tomar en cuenta el contenido de ácidos orgánicos, alcoholes, polialcoholes o polidextrosas para el cálculo de contenido energético se deben utilizar los siguientes FC: ácidos orgánicos 3 kcal/g o 13 kJ/g, alcohol 7 kcal/g o 29 kJ/g, polialcoholes 2,4 kcal/g o 10 kJ/g y polidextrosas 1 kcal/g o 4 kJ [DGN, 2009].

6 Calidad microbiológicos

Los ensayos para el control microbiológico se efectúan de acuerdo con lo indicado en la norma ISO 8261 *Milk and Milk Products. General Guidance for the Preparation of Test Samples, Initial Suspensions and Decimal Dilutions for Microbiological Examination*. Entre los ensayos de rutina se encuentran:

- Recuento de mohos y levaduras, UFC/g (NTC 4132),
- Recuento de *Staphylococcus aureus* coagulasa positiva, UFC/g (NTC 4779),
- Recuento de coliformes, UFC/g (NTC 4458),
- Recuento de E. Coli, UFC/g (NTC 4458),
- Recuento de microorganismos mesofílicos, UFC/g (NTC 5034).

7 Parámetros fisicoquímicos

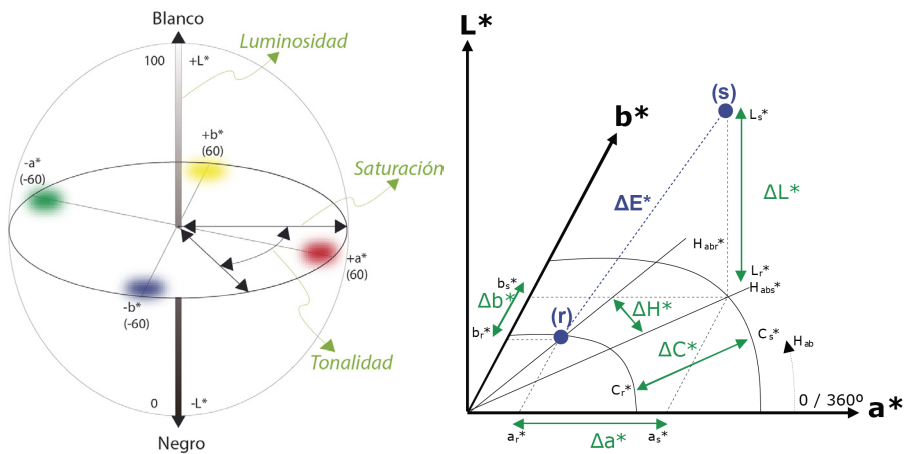
7.1 Actividad acuosa (Aw)

Existe una gran variedad de métodos para la determinación de actividad acuosa [Vélez-Ruiz, 2001]. Para efectuar la medición de actividad de agua, de manera rápida, se pueden emplear equipos como el *AquaLab 4TE*. Estos equipos requieren una calibración inicial con sales patrón estándar que se introducen en el equipo una a una, hasta que el equipo muestra los valores correctos de actividad de agua para cada patrón. Con el equipo calibrado se mide la Aw de las muestras, colocando aproximadamente 12 g de muestra en el portamuestras.

7.2 Color

El color es una propiedad de la luz y una respuesta del cerebro a la percepción de esta. Existen diferentes métodos para determinar el color de los alimentos [Jimenez y Gutiérrez, 2001], entre ellos el sistema CIE-Lab, empleando las coordenadas L^* a^* b^* [Ramírez-Navas, 2010] (ver Figura 3). La luminosidad es indicada por L^* , en la cual se clasifican la serie de grises que va del negro al blanco en una escala de 0 a 100, siendo el menor valor negro puro y el mayor blanco puro. Las coordenadas a^* y b^* , indican la dirección del color; $+a^*$ rojo a $-a^*$ verde y $+b^*$ amarillo a $-b^*$ azul y se relacionan con la cromaticidad y la tonalidad.

Figura 2. Espacio CIELab, Diagrama de diferencia cromática en el espacio tridimensional.



Fuente: Ramírez-Navas [2010]

Para realizar la determinación colorimétrica se emplea como modelo de color el sistema CIE-Lab y el iluminante de referencia D65 (estándar luz de día), obteniendo los valores experimentales mediante el empleo del espectrocolorímetro (Color Flex- HunterLab). Para obtener dichas mediciones se calibra el equipo con los platos de referencia verde, blanco y negro, ubicando previamente la caja Petri,

sobre la cual se colocan las muestras, en el puerto de lectura. Cada muestra se sitúa en la caja Petri previo a su análisis. Todas las muestras se cubren antes del análisis con el cubreobjetos de color negro (parte del equipo). Para evitar que la luz cause interferencia en la lectura. Las muestras se rotan aproximadamente 120° después de cada lectura, repitiéndose la misma [Novoa y Ramírez-Navas, 2012]. A partir de las coordenadas se estiman ΔL^* , Δa^* , Δb^* , ΔE^* , Cromaticidad (C) y ΔC (%) mediante las siguientes ecuaciones:

$$\Delta L^* = L_i^* - L_f^* \quad (2) \quad H^* = \arctg\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \quad (7)$$

Variación de la luminosidad Tonalidad

$$\Delta b^* = b_i^* - b_f^* \quad (3) \quad \Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (8)$$

Variación de b^* Diferencia de color

$$\Delta a^* = a_i^* - a_f^* \quad (4) \quad IA = 142.86 \left[\frac{b^*}{l^*} \right] \quad (9)$$

Variación de a^* Índice de Amarillez

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (5) \quad IB = 100 - \sqrt{(100 - L)^2 + (a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (10)$$

Croma o saturación Índice de blancura

$$\Delta C^* (\%) = \frac{C_i^* - C_f^*}{C_i^*} * 100 \quad (6)$$

Variación de cromaticidad

ΔE^* , cuantifica numéricamente la diferencia de percepción de color, para el ojo humano, entre dos muestras del alimento. Los valores de ΔE^* obtenidos para una muestra en referencia al estándar permiten evidenciar si el observador podrá o no percibir la diferencia de color [Ramírez-Navas, 2010]. El parámetro C^* es una medida del grado de pureza de color.

7.3 Índice de refracción

El índice de refracción puede definirse como la relación entre la velocidad de una luz monocromática en el aire y su velocidad en la sustancia considerada, y es la división entre los senos de los ángulos de incidencia y de refracción (θ), cuando la luz pasa del aire a la sustancia. El índice de refracción se determina empleando un refractómetro. Este instrumento es importante y muy útil en la industria,

se usa en el control y análisis de productos alimentarios comerciales y en la identificación de sustancias desconocidas; también se utiliza para distinguir sustancias con un mismo punto de ebullición, y compuestos de naturaleza similar. El refractómetro mide la concentración de soluciones con mayor seguridad que cuando se utilizan hidrómetros. Los refractómetros pueden ser instalados en líneas de producción, como es el caso de leche condensada, para obtener lecturas continuas del grado de concentración del producto, o sirven como instrumento de control [Alvarado, 2001a].

Para confirmar que las lecturas del refractómetro son válidas, debe probarse con agua o líquidos orgánicos de índice de refracción conocidos. En el caso de utilizar agua destilada, el índice de refracción a 15°C es 1.3334; disminuye en 0.0001, por el incremento de 1°C, hasta un valor de 1.3325 a 25°C. En todos los casos la temperatura debe ser controlada, se recomienda una variación entre $\pm 0,2^\circ\text{C}$, para lo que se utiliza agua termostatazada que pasa por la caja que contiene los prismas; en los refractómetros de inmersión, como el de Zeiss, la variación de temperatura debe ser menor, $\pm 0,05^\circ\text{C}$.

En el caso de leche condensada y evaporada, cuando se usa el refractómetro de Abbé, que utiliza una fina capa de muestra, se pueden hacer medidas satisfactorias del índice de refracción. Conociendo este parámetro se puede obtener el valor del porcentaje de sólidos totales en la muestra empleando las ecuaciones propuestas por [Hall *et al.*, 1986]: a) para leche entera condensada y endulzada: $S = 70 + 444 (n - 1.4658)$, y para leche descremada condensada y endulzada: $S = 70 + 393 (n - 1.4698)$.

7.4 PH

El pH se mide con un potenciómetro, haciendo uso del método oficial de análisis 981,12 [AOAC, 2000]. Para esta medición se toman 10mL de la muestra y todas las mediciones se realizan por triplicado. Al llevar a cabo la determinación del pH debe ponerse especial cuidado en el mantenimiento y calibración del electrodo del equipo. El equipo de pH, capaz de hacer lecturas hasta de 0,01 unidades de

pH, debe constar de un electrodo medidor de vidrio y un electrodo de referencia o un electrodo múltiple, calibrados por medio de dos soluciones reguladoras de pH conocido y que estén dentro de $\pm 0,01$ unidades de pH.

7.5 Sólidos solubles

El contenido de sólidos solubles (grados Brix, °Bx) se mide utilizando un refractómetro portátil (0-90%), con compensación de temperatura a 20°C. Se puso suficiente muestra para cubrir el lente óptico del equipo y se procedió a leer. La lectura se reportó directamente en la pantalla del equipo. Es importante registrar la temperatura a la que se realiza la medida. Generalmente, los refractómetros proporcionan dos valores, uno de índice de refracción y otro de °Bx.

8 Parámetros reológicos

8.1 Viscosidad

La reología es la parte de la mecánica que estudia la elasticidad, plasticidad y viscosidad de la materia. “La ciencia del flujo y la deformación”, estudia las propiedades mecánicas de los gases, líquidos, plásticos, sustancias asfálticas, materiales cristalinos y otros. Por lo tanto, el campo de la reología se extiende desde la mecánica de fluidos *newtonianos* hasta la elasticidad de Hook [Ramírez-Navas, 2006]. El parámetro reológico que interesa en el caso de los dulces de leche y la leche condensada azucarada es la viscosidad. La viscosidad es la medida de la resistencia a fluir de un gas o líquido. Se define entonces el esfuerzo de corte (τ) como la relación F/A , y la viscosidad como la relación entre τ y velocidad de deformación (γ), y todos los fluidos que cumplen con esta relación, son llamados fluidos *newtonianos* [Alvarado, 2001b; Ramírez-Navas, 2006].

Las leches condensadas azucaradas y dulces de leche, presentan, por lo general comportamiento de fluido no *newtoniano*; las características de este tipo de productos varían desde los líquidos viscosos con pro-

propiedades elásticas hasta las de los sólidos con propiedades viscosas. La viscosidad de estos fluidos, no permanece constante cuando la temperatura y la composición permanecen invariables, sino que depende del esfuerzo cortante o gradiente de velocidad y, a veces del tiempo de aplicación del esfuerzo y de la historia previa del producto [Kofg, 2001].

Entre los diversos viscosímetros disponibles, para determinar la viscosidad de mezclas para helados, el de más amplio empleo es el viscosímetro rotacional, cuyo principio de funcionamiento es conducir una aguja (que se sumerge en el fluido de ensayo) a través de un resorte calibrado. El arrastre viscoso del fluido contra la aguja se evalúa por la desviación del resorte que se mide con un transductor rotatorio. Dicha aguja varía de tamaño según el tipo de fluido evaluado [BEL, s.f.].

Para lograr en la medición unos valores adecuadamente reproducibles, resulta decisivo efectuar una cuidadosa termoadaptación de los aparatos de medida y de la muestra a analizar, siendo la temperatura de 5°C la más recomendable [Geyer, 1989].

Las mediciones reológicas se llevan a cabo en un viscosímetro o en un reómetro rotatorio. Con los datos obtenidos de τ y $\dot{\gamma}$ se obtiene la curva que permite evidenciar el tipo de fluido al cual corresponde la muestra. En el caso de los dulces de leche, los datos se ajustan adecuadamente al modelo de Ley de Potencia (11). Con el modelo, se puede calcular el índice de consistencia (K) y el índice de comportamiento al flujo (n). El umbral de fluencia puede determinarse empleando el modelo de Casson (12). También se puede calcular la magnitud de la tixotropía, definida como el área comprendida entre la curva ascendente y la curva descendente.

$$\tau = K (\dot{\gamma})^n \quad (11)$$

$$\tau^{0,5} = (\tau_0)^{0,5} + K_1 (\dot{\gamma})^{0,5} \quad (12)$$

8.2 Textura

Las propiedades texturales de los alimentos son aquellas que están relacionadas con el flujo, deformación y desintegración del producto y las cuales pueden ser evaluadas sensorial (pruebas subjetivas) e instrumentalmente (pruebas objetivas) [Juri-Morales y Ramirez Navas, 2018].

La textura de cocadas y panelitas de leche es inherente a la formulación y a los ingredientes utilizados en su manufactura. Estos alimentos son ampliamente consumidos por la frescura y su textura característica. Cambios en la formulación o incorporación de otros ingredientes modifican considerablemente la textura de estos productos.

Instrumentalmente, la textura puede determinarse por pruebas de compresión, penetración o mediante la aplicación de un análisis de perfil de textura (TPA), utilizando un equipo analizador de textura o texturómetro. La compresión uniaxial se aplica a muestras con área transversal uniforme para deformaciones pequeñas antes de la ruptura. El producto es presionado con cierta fuerza o velocidad. Dependiendo del experimento, los datos obtenidos se relacionan con el módulo (dureza), fractura de tensión, trabajo de fractura o la combinación de estos parámetros. La prueba de penetración se basa en la medición de la fuerza de cizalla máxima requerida para atravesar completamente una sección del producto con un pistón. A valores más altos de fuerza mayor la resistencia del producto [Demonte, 1995; Durán *et al.*, 2001; Zúñiga Hernández *et al.*, 2007].

En las *pruebas de compresión* el vástago y la base del equipo analizador de textura deben ser mayores al área transversal de la muestra. El ensayo se realiza a una velocidad constante de 1,00 mm/s, para simular las deformaciones ocurridas en la boca cuando se comen estos productos. Durante la prueba de compresión de muestras, al comprimir 25% de la altura original a la muestra, la pendiente inicial indica la deformación resultante por la fuerza aplicada, para posteriormente alcanzar una meseta antes de registrar la fuerza máxima. En las pruebas de compresión las fuerzas registradas son relativa-

mente pequeñas, por lo que generalmente se reporta la fuerza máxima de compresión, así como el trabajo de compresión (integral de la curva) [Ramírez-Navas *et al.*, 2015].

Las *pruebas de penetración* determinan la dureza o fuerza máxima durante la penetración en la muestra. En estas pruebas se utilizan cilindros de medidas conocidas. La altura inicial y el área transversal dependen del diámetro de la muestra. El diámetro de la muestra debe ser al menos tres veces el diámetro del vástago para mantener una relación de geometrías semi-infinita. El vástago utilizado es de un diámetro pequeño (8-10 mm), a fin de registrar la fuerza en función de la profundidad de penetración (usualmente 10 mm). En estas pruebas se introduce el vástago 10 mm de la superficie de la muestra. La presencia de un primer pico significativo representa la fracturabilidad de la muestra, y a medida que el vástago avanza se observan diferentes picos de fuerza, hasta llegar a la fuerza máxima detectada durante la penetración. Claramente al ser de menor diámetro el vástago utilizado, las fuerzas de penetración necesarias son hasta 10 veces mayores a las de la prueba de compresión [Ramírez-Navas *et al.*, 2015].

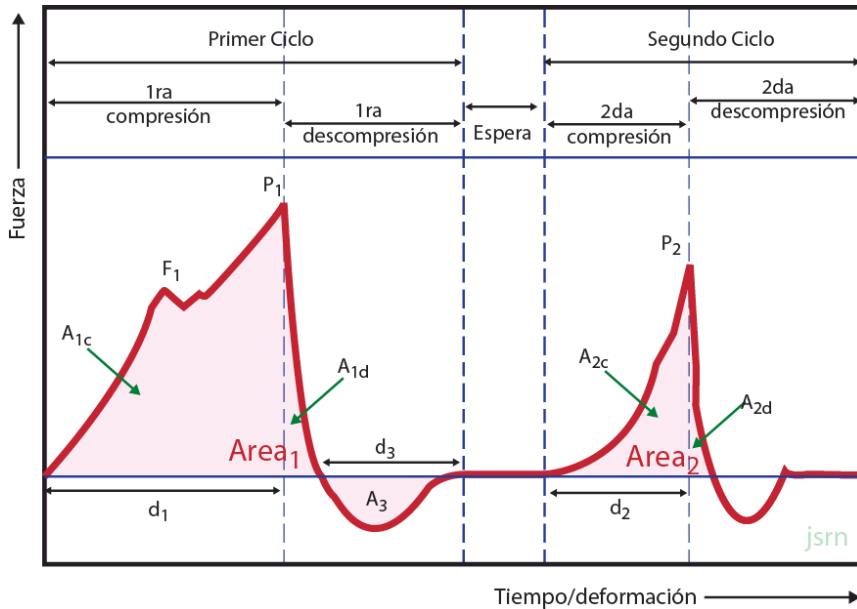
El TPA también es denominado “prueba de dos mordidas” debido a que simula la masticación [Demonte, 1995; Durán *et al.*, 2001]. La versatilidad del TPA como un método de análisis, consiste en que se pueden cuantificar múltiples parámetros de textura en un solo experimento. Para realizar la prueba de TPA a muestras de panelitas o cocadas debe utilizarse un texturómetro. El ensayo se realizó a temperatura ambiente (20 ± 1 °C), que representa la temperatura oral durante el consumo. Las muestras se ensayan a diferentes tasas de compresión con respecto a la altura inicial del producto y diferentes velocidades de descenso. Para todas las muestras, el tiempo de contacto antes del ensayo debe ser, preferiblemente de cinco segundos, con dobles ciclos de compresión a desplazamiento constante. Las muestras se comprimieron usando una sonda cilíndrica de acero inoxidable equipada con una célula de carga, generalmente de 500 N. El equipo registra automáticamente la fuerza ejercida sobre el producto. Con los datos obtenidos se calculan los nueve parámetros de textura (Tabla 8) a partir de las curvas (Figura 3) de fuerza (N) x tiempo (s) generadas durante el ensayo.

Tabla 8. *Parámetros texturales obtenidos del Análisis de Perfil de Textura.*

Parámetro textural	Relación matemática	Análisis dimensional y Unidades SI¹
Fracturabilidad (<i>Fracturability</i>)	F_1	$[MLT^{-2}] = (N)$
Dureza (<i>Hardness</i>)	P_1	$[MLT^{-2}] = (N)$
Cohesividad (<i>Cohesiveness</i>)	$\frac{A_{2c}}{A_{1c}}$	$\left[\frac{ML^2T^{-2}}{ML^2T^{-2}}\right] = (-)$
Adhesividad (<i>Adhesiveness</i>)	A_3	$[ML^2T^{-2}] = (J)$
Elasticidad (<i>Springiness</i>)	d_2	$[L] = (m)$
Gomosidad (<i>Gumminess</i>)	Gomosidad = Cohesividad * Dureza $\frac{A_{2c}}{A_{1c}} \cdot P_1$	$[MLT^{-2}] = (N)$
Masticabilidad (<i>Chewiness</i>)	Masticabilidad = Gomosi- dad * Elasticidad $\frac{A_{2c}}{A_{1c}} \cdot P_1 \cdot d_2$	$[ML^2T^{-2}] = (J)$
Fibrosidad (<i>Stinginess</i>)	d_3	$[L] = (m)$
Resiliencia (<i>Resilience</i>)	$\frac{A_{1d}}{A_{1c}}$	$\left[\frac{ML^2T^{-2}}{ML^2T^{-2}}\right] = (-)$

¹ L = longitud (m); M = masa (kg); T = tiempo (s). Las unidades apropiadas del SI aparecen en paréntesis.

Figura 3. Curva típica de un Análisis de perfil de textura.



Fuente: modificado de: Friedman *et al.* [1963]

9 Parámetros sensoriales

Se debe prestar atención para asegurar que cuando se tomen las muestras para exámenes sensoriales, el sabor de ellas no se vea afectado por la esterilización del equipo de muestreo o los grifos de muestreo, por ejemplo, por flameado con etanol.

Para evaluar los parámetros sensoriales es importante contar con un panel de jueces semientrenados o entrenados. Si no se cuenta con dicho equipo, es importante constituirlo con el personal de la empresa [ISO, 2012]. Los posibles jueces deben ser entrenados de acuerdo a lo establecido en la normatividad correspondiente [ICONTEC, 2009a, b; ISO, 2012]. Con los jueces o panelistas se debe establecer un *vocabulario de referencia*. Esto se hace de acuerdo a la metodología expuesta en la norma AFNOR ISO 11035:1995 [AFN,

1995]. Con dicho vocabulario, se debe entrenar a los jueces y una vez se conozca e identifique cada uno de los términos, se realiza la *evaluación sensorial de las muestras*. La técnica recomendada es el Análisis Descriptivo Cuantitativo (QDA) utilizando una escala no estructurada de 15cm con referencias ancladas en 1 cm (intensidad débil) y en 14cm (intensidad fuerte) [ICONTEC, 2004b; Meilgaard *et al.*, 2007].

Cuando se realizan pruebas encaminadas a conocer la reacción del consumidor, es conveniente seguir la metodología propuesta por Ramírez-Navas [2012]. En Ramírez-Navas *et al.* [2016] se encuentra un ejemplo de la aplicación de esta metodología.

10 Parámetros funcionales

Las propiedades funcionales de los alimentos son un conjunto de indicadores que permiten cuantificar los requisitos de desempeño. De alguna manera, éstas se relacionan con las expectativas o la percepción que el consumidor tiene respecto al producto. Durante la última década éstas han adquirido mayor relevancia [Ramírez-Navas, 2010b]. En el caso de los dulces de leche, una propiedad importante sería la extensibilidad, y en el de las cocadas y panelitas, la facilidad de corte.

Referencias bibliográficas

- AFN *NF-ISO-11035-Sensory Analysis - Identification And Selection Of Descriptors For Establishing A Sensory Profile By A Multidimensional Approach*. Paris, Francia: Association Francaise de Normalisation, 1995. 26 p.
- ALVARADO, J.D.D. Índice de refracción. En: ALVARADO Y AGUILERA. *Métodos para medir propiedades físicas en industrias de alimentos*. Zaragoza, España: Editorial ACRIBIA S.A., 2001a, p. 347-368.
- ALVARADO, J.D.D. Viscosidad. En: ALVARADO Y AGUILERA. *Métodos para medir propiedades físicas en industrias de alimentos*. Zaragoza, España: Editorial ACRIBIA S.A., 2001b, p. 61-87.
- BEL I. *Brookfield DV-III Ultra, Programmable Rheometer. Operating Instructions*. Middleboro, MA. USA: Brookfield Engineering Laboratories, INC., s.f.
- CORTÉS JIMÉNEZ, A., ORTIZ ÁLVAREZ, J.R. Y RAMÍREZ-NAVAS, J.S. Panelitas de leche colombianas. *Tecnología Láctea Latinoamericana*, jun 2014, vol. 81, p. 52-61.
- DEMONTE, P. Evaluación sensorial de la textura y búsqueda de correlaciones con medidas instrumentales. En: *Seminario de Textura y Reología de Alimentos*, Cali, Colombia Escuela de Ingeniería de Alimentos, Universidad del Valle, 1995.
- DGN. Productos y servicios. Cereales y sus productos. Cereales, harinas de cereales, sémolas o semolinas. Alimentos a base de: cereales, semillas comestibles, de harinas, sémolas o semolinas o sus mezclas. Productos de panificación. Disposiciones y especificaciones sanitarias y nutrimentales. En: *Métodos de Prueba*. México: Dirección General de Normalización, 2009,

- vol. Norma Oficial Mexicana NOM-247-SSA1-2008.
- DURÁN, L., S., F. Y C., B. Propiedades mecánicas empíricas [online]. En: ALVARADO Y AGUILERA. *Métodos para medir propiedades físicas en industria de alimentos*. [Zaragoza, España]: Ed. Acribia, S.A, 2001.
- FAO Food energy – methods of analysis and conversion factors. FAO Food and nutrition papers, 2002, vol. 77, p. 1-93.
- FRIEDMAN, H.H., WHITNEY, J.E. Y SZCZESNIAK, A.S. The Texturometer—A New Instrument for Objective Texture Measurement. *Journal of Food Science*, 1963, vol. 28, no. 4, p. 390-396. 10.1111/j.1365-2621.1963.tb00216.x
- GEYER, J. Métodos de análisis químicos y físicos. En: FRITZ. *Fabricación de Helados*. Zaragoza, España: Editorial ACRIBIA S.A., 1989, p. 265-285.
- HALL, C.W., FARRALL, A.W. Y RIPPEN, A.L. *Encyclopedia of food engineering*. AVI Pub. Co., 1986. 882 p.
- ICONTEC. NTC 1616. Productos químicos. Bicarbonato de sodio. En. Bogota, Colombia: Instituto Colombiano de Normas Tecnicas y Certificacion, 1985, vol. 1616, p. 7.
- ICONTEC. NTC 610. Industrias alimentarias. Jarabe de Glucosa. En. Bogota, Colombia: Instituto Colombiano de Normas Tecnicas y Certificacion, 2001, vol. 610, p. 9.
- ICONTEC. NTC 399. Productos lácteos. Leche cruda. En. Bogota, Colombia: Instituto Colombiano de Normas Tecnicas y Certificacion, 2002, vol. 399, p. 10.
- ICONTEC. NTC 611. Industria alimentaria. Azúcar blanca. En. Bogota, Colombia: Instituto Colombiano de Normas Tecnicas y Certificacion, 2004a, vol. 611, p. 9.

- ICONTEC NTC 5328-Análisis sensorial. Directrices para el uso de escalas de respuesta cuantitativas. Bogota, Colombia Instituto Colombiano de Normas Tecnicas y Certificacion, 2004b. 15 p.
- ICONTEC. NTC 3757. Arequipe o dulce de leche y manjar blanco. Bogota, Colombia Instituto Colombiano de Normas Tecnicas y Certificacion, 2008.
- ICONTEC GTC178-1-Análisis sensorial. Guía general para el personal de un laboratorio de evaluación sensorial. Parte 1: responsabilidad del personal. Bogota, Colombia Instituto Colombiano de Normas Tecnicas y Certificacion, 2009a. 16 p.
- ICONTEC GTC178-2-Análisis sensorial. Guía general para el personal de un laboratorio de evaluación sensorial. Parte 1: reclutamiento y formación de líderes de panel. Bogota, Colombia Instituto Colombiano de Normas Tecnicas y Certificacion, 2009b. 19 p.
- ICONTEC. NTC 1311. Producto agrícola. Panela. Bogota, Colombia: Instituto Colombiano de Normas Tecnicas y Certificacion, 2009c, vol. 1311, p. 16.
- ICONTEC. NTC 3594. Productos de molinería. Harina precocida de maíz para consumo humano.. Bogota, Colombia: Instituto Colombiano de Normas Tecnicas y Certificacion, 2014, vol. 3594, p. 18.
- ICONTEC. NTC 926. Productos de molinería. Almidón de maíz no modificado (fécula de maíz). Bogota, Colombia: Instituto Colombiano de Normas Tecnicas y Certificacion, 2016, vol. 926, p. 15.
- ICONTEC. NTC 879. Productos lácteos. Leche condensada azucarada (concentrada). Bogota, Colombia: Instituto Colombiano de Normas Tecnicas y Certificacion, 2017, vol. 879, p. 7.

ISO ISO 8586-Sensory analysis -- General guidelines for the selection, training and monitoring of selected assessors and expert sensory assessors. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization, 2012. 28 p.

JIMENEZ, A. Y GUTIÉRREZ, G. Color. En: ALVARADO Y AGUILERA. *Métodos para medir propiedades físicas en industrias de alimentos*. Zaragoza, España: Editorial ACRIBIA S.A., 2001, p. 325-346.

JURI-MORALES, G. Y RAMIREZ NAVAS, J.S. Efecto de la variación del porcentaje de deformación y velocidad de descenso en análisis de perfil de textura. *Revista RECITEIA*, 2018, vol. 16, no. 1, p. 7-17.

KOFG. *Reología: Boletín Técnico*. Huston, TX, USA: Kelco Oil Feld Group, 2001.

MEILGAARD, M., CIVILLE, G.V. Y CARR, B.T. *Sensory evaluation techniques*. 4th ed. Boca Raton, USA: Taylor & Francis, 2007. 448 p.

NOVOA, D.F. Y RAMÍREZ-NAVAS, J.S. Caracterización colorimétrica del Manjar Blanco del Valle. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 2012, vol. 10, no. 2, p. 54-60.

OMS. Generalidades de las buenas practicas. Washington, D.C., USA, 2015. Disponible en: <<https://goo.gl/qf3rA9>>.

RAMÍREZ-NAVAS, J.S. Introducción a la reología de los alimentos. *Revista RECITEIA*, 2006, vol. 6, no. 1, p. 1-46.

RAMÍREZ-NAVAS, J.S. Espectrocolorimetría: caracterización de leche y quesos. *Tecnología Láctea Latinoamericana*, 2010, vol. 61, p. 52-58.

- RAMÍREZ-NAVAS, J.S. Análisis sensorial: pruebas orientadas al consumidor. Revista *RECITEIA*, 2012, vol. 12, no. 1, p. 83-102.
- RAMÍREZ-NAVAS, J.S., CALLEJAS, G., QUICENO, C. Y VALEN-
LENCIA, Y. Consumer preference and acceptance of two Co-
lombian sweet milks: results of a consumer survey. *UGCien-
cia*, Enero 2016, vol. 21, p. 9-15.
- RAMIREZ-NAVAS, J.S., RENGIFO VELÁSQUEZ, C.J. Y RU-
BIANO VARGAS, A. Parámetros de calidad en helados. Re-
vista *RECITEIA*, Septiembre 2015, vol. 15, no. 1, p. 79-94.
- VÉLEZ-RUIZ, J.F. Actividad Acuosa. En: ALVARADO Y AGUIL-
ERA. *Métodos para medir propiedades físicas en industrias
de alimentos*. Zaragoza, España: Editorial ACRIBIA S.A.,
2001, p. 237-262.
- ZÚÑIGA HERNÁNDEZ, L.A., CIRO VELÁSQUEZ, H.J. Y OS-
ORIO SARAZ, J.A. Estudio de la dureza del queso Edam
por medio de análisis de perfil de textura y penetrometría por
esfera. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, Medellín,
2007, vol. 60, p. 3797-3811.

DISEÑOS EXPERIMENTALES APLICADOS EN INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DE DULCES DE LECHE

Jessica Alejandra Hidalgo-Piamba
<https://orcid.org/0000-0001-8468-4830>

José Steven Motato-Guerra
<https://orcid.org/0000-0003-2041-1846>

Juan Sebastián Ramírez-Navas
<https://orcid.org/0000-0002-6731-2784>

1 Introducción

En Colombia se producen diferentes tipos de dulces de leche (DL); entre ellos están el Arequipe, el Manjar Blanco del Valle y las panelitas de dulce de leche [Cortés Jiménez *et al.*, 2014; Ramírez-Navas *et al.*, 2016]. Dependiendo de la región del país se presentan variantes de estos productos, un claro ejemplo es la región del eje cafetero, donde se fabrica arequipe con sabor a café. La Norma Técnica Colombiana, [ICONTEC, 2008], define al arequipe como “el producto higienizado obtenido por la concentración térmica de una mezcla de leche, sacarosa u otros edulcorantes y aditivos permitidos por la legislación nacional vigente”, y al manjar blanco (MB) como “el producto higienizado obtenido por la concentración térmica de una mezcla de leche, sacarosa u otros edulcorantes y adi-

tivos permitidos por la legislación nacional vigente, con el agregado de harina o almidones”. El MB propio de la región del Valle del Cauca se prepara con harina de arroz o almidón de maíz [Novoa y Ramírez-Navas, 2012b], siendo éste un factor diferenciador respecto al arequipe. El proceso de elaboración del arequipe lo describe detalladamente Neira Bermúdez y López Torres [2010] y el del MB Novoa y Ramírez-Navas [2012b].

Debido a la demanda que han tenido estos DL, se han desarrollado investigaciones en la industria, ya sea, sustituyendo materias primas, material de empaque o cambiando condiciones de proceso, entre otras. Sin embargo, en algunas ocasiones la manera de experimentar se queda solo en el ensayo y error, no se aplican diseños experimentales adecuados para el estudio del producto, lo que proporciona escasez de información. La investigación científica y tecnológica se lleva a cabo con el fin de ampliar el conocimiento en el área de interés. Para esto es necesario contar con información relevante y confiable. Una de las varias formas en que se puede producir dicha información, optimizando el uso de los recursos y garantizando la precisión y la falta de sesgo de los resultados, de modo que puedan hacerse predicciones confiables, es aplicando el diseño estadístico y el análisis de los experimentos. El diseño experimental (DE) es aplicable a todas las áreas de la ciencia y la tecnología. El diseño de experimentos es clave para el desarrollo de cualquier investigación a realizar, de este depende su éxito. En este capítulo se describen algunos diseños experimentales empleados en investigación, desarrollo y análisis del DL.

2 Diseño estadístico de experimentos

En el campo de la industria, con la intención de resolver un problema o comprobar una idea (conjetura, hipótesis), es frecuente realizar experimentos o pruebas. Sin embargo, es común que éstas se hagan sobre la marcha, con base en el ensayo y error, apelando a la experiencia y a la intuición, en lugar de seguir un plan experimental adecuado que garantice una buena respuesta a las interrogantes planteadas. El DE es precisamente la forma más eficaz de hacer pruebas. El

DE consiste en determinar cuáles pruebas se deben realizar y de qué manera, para obtener datos que, al ser analizados estadísticamente, proporcionen evidencias objetivas que permitan responder las interrogantes planteadas, y de esa manera clarificar los aspectos inciertos de un proceso, resolver un problema o lograr mejoras [Gutiérrez Pulido y de la Vara Salazar, 2008].

Muchas de las aplicaciones originarias del DE estuvieron relacionadas con la agricultura y la biología. Los diseños factoriales fueron utilizados en el siglo XIX por John Bennet Lawes y Henry J. Gilbert de la Rothamsted Experimental Station, en Inglaterra [Lawes y Gilbert, 1880]. Sin embargo, Ronald A. Fisher es considerado el padre del DE. Durante su trabajo en *Rothamsted Experimental Station*, en Inglaterra, desde 1920-1932, desarrolló sus ideas en el contexto de la investigación agrícola, realizando experimentos en parcelas. Fue el encargado de diseñar métodos de experimentación eficientes y analizar los datos obtenidos en los experimentos planteados [Fisher, 1937]. Fisher señaló, en 1926, que la aplicación de diseños complejos, como los diseños factoriales, incrementaba la eficiencia en la obtención de información que estudiando un factor a la vez. Fisher escribió: “ningún aforismo se repite tan frecuentemente respecto de las pruebas de campo, que aquel de que a la naturaleza debemos hacerle pocas preguntas, o, idealmente, hacérselas de a una. Quien escribe es un convencido de que este punto de vista está totalmente equivocado”.

A la lista de los pioneros del DE se suman Frank Yates [Yates, 1967], W.G. Cochran [Cochran y Cox, 1957] y G.E.P. Box [Box *et al.*, 1978]. Yates realizó importantes contribuciones significativas hechas, particularmente en el análisis. Por otra parte, Box y sus colaboradores desarrollaron diseños apropiados para uso industrial y de laboratorio tomando como base las ideas de Fisher. Aunque su libro está orientado a la industria química y a otras industrias de procesos continuos, las ideas pueden aplicarse fácilmente a la industria alimentaria.

William Edwards Deming fue un estadístico estadounidense, quien afirmaba que todo proceso es variable y cuanto menor sea la variabilidad del mismo, mayor será la calidad del producto resultante [Dem-

ing, 1982]. En sus publicaciones promovió una filosofía de mejora continua de la calidad. Sus ideas fueron ampliamente utilizadas en tiempos de la segunda guerra mundial en los Estados Unidos y más tarde en la posguerra en Japón, donde atrajeron mucho interés y un gran número de entusiastas seguidores. Por ejemplo, el ingeniero japonés Genichi Taguchi, desarrolló una teoría completa de la mejora de la calidad [Taguchi, 1986]. Sus ideas fueron adoptadas por la industria en Japón y mucho más tarde por la industria automotriz estadounidense. Una parte importante de su teoría son los diseños experimentales de factores múltiples que se llevan a cabo en la fábrica.

Tanto el enfoque de Box como el de Taguchi enfatizan la importancia de la experimentación. Sugieren que deben llevarse a cabo muchos experimentos relativamente pequeños con un gran número de factores. Los diseños experimentales que defienden son muy similares. Difieren en la manera en que se analizan los resultados. Box recomienda un análisis más formal, basado en modelos; Taguchi prefiere métodos gráficos relativamente simples. Sin embargo, las ideas de Box tienen una base estadística más sólida, pero están orientadas hacia la experimentación en laboratorio y en la planta piloto, no en planta industrial en modo de producción.

Según Gutiérrez Pulido y de la Vara Salazar [2008], el DE es la manera más eficiente de realizar pruebas, consiste en establecer los ensayos que se deben realizar y la forma de hacerlos, para obtener datos que al ser analizados proporcionen información objetiva que resuelvan las interrogantes planteadas, y de esa manera solucionar los sucesos inesperados del proceso o lograr mejoras. Para Gómez [2006], un DE es la estrategia ideal para obtener la información que se requiere, donde se manipulan intencionalmente una o más variables independientes (supuestas causas-antecedentes), para analizar el efecto que tiene sobre una o más variables dependientes (supuestos efectos-consecuentes), dentro de una situación de control establecida por el investigador.

Algunos problemas típicos que pueden resolverse con el diseño y el análisis de experimentos son los siguientes: 1) Comparar a dos o más materiales con el fin de elegir al que mejor cumple los requerimientos. 2) Comparar varios instrumentos de medición para verificar si traba-

jan con la misma precisión y exactitud. 3) Determinar los factores de un proceso que tienen impacto sobre una o más características del producto final. 4) Encontrar las condiciones de operación (temperatura, velocidad, humedad, por ejemplo) donde se reduzcan los defectos o se logre un mejor desempeño del proceso. 5) Reducir el tiempo de ciclo del proceso. 6) Hacer el proceso insensible o robusto a oscilaciones de variables ambientales. 7) Apoyar el diseño o rediseño de nuevos productos o procesos. 8) Ayudar a conocer y caracterizar nuevos materiales [Gutiérrez Pulido y de la Vara Salazar, 2008].

2.1 Elementos de un DE

En todo experimento se debe definir la unidad experimental (UE) y los tratamientos. La UE es el material mínimo requerido para aplicar los tratamientos (las causas) y evaluar las respuestas (los efectos). Los tratamientos son cada una de las diferentes condiciones experimentales que van a ser evaluadas en el experimento.

Las variables en un DE se clasifican fundamentalmente en dos grandes grupos de acuerdo a su rol en la UE: variables de entrada y variables de salida. Las variables de entrada son todas aquellas variables a las que está expuesta la UE. Comprende los siguientes grupos de variables: factores experimentales, factores de bloqueo, factores de ruido, variables deliberadamente controladas, variables no controladas. Las variables de salida son el conjunto de variables que se van a evaluar en la UE, una vez que el tratamiento haya impactado, para determinar los efectos de tratamiento. Las respuestas se seleccionan en base a dos criterios: las respuestas que son sensibles a los factores experimentales que se están investigando y las respuestas que son de importancia económica.

Los componentes de un DE, son la repetición y la aleatorización. La repetición se refiere a que cada condición experimental que debe ser aplicada de manera independiente, al menos a dos UE. La aleatorización se refiere al proceso de asignación de tratamientos a las UE.

A través de un DE se pretende probar una hipótesis acerca del efecto de los tratamientos bajo condiciones controladas. Para tal fin todo

DE consta de dos componentes: 1) Arreglo geométrico de las unidades experimentales, que se enfoca en mejorar la precisión de las estimaciones reduciendo variabilidad de unidades experimentales dentro de tratamientos. 2) Arreglo de tratamientos, que se enfoca en generar la estructura de los tratamientos adecuada a la hipótesis que se desea probar. En DE todo el análisis de resultados se lleva a cabo mediante el ajuste de modelos que se emplean para establecer las relaciones entre variables. Estos modelos, en general se establecen como:

$$\text{Respuesta} = \text{Independientes} + \text{Error} \quad (1)$$

En las variables independientes deben distinguirse aquellas que son fijas de las que son aleatorias. Las fijas se agrupan dentro de la parte sistemática del modelo y las aleatorias en lo que se considera la parte aleatoria del modelo, dentro de la cual se puede ubicar el error, por lo que la estructura del modelo quedaría como:

$$\text{Respuesta} = \text{Sistemática} + \text{Aleatoria} \quad (2)$$

En la parte sistemática se incluirían entonces los factores experimentales y los factores de bloqueo, en tanto que en la parte aleatoria se incluirían los efectos aleatorios y el error experimental.

2.2 Diseños experimentales básicos

Un experimento bien diseñado es importante porque los resultados y las conclusiones que se pueden extraer del experimento dependen en gran medida de la manera en que se recolectaron los datos [Montgomery, 2013]. A continuación, se presentan algunas definiciones [Berger *et al.*, 2018; Dean *et al.*, 2017; Gutiérrez Pulido y de la Vara Salazar, 2008; Montgomery, 2013; Welham *et al.*, 2015] y los ejemplos de DE aplicados en la investigación y desarrollo de DL, cabe resaltar que no son muchos ejemplos los que se encuentran en la literatura científica sobre DL.

2.2.1 Diseño completamente al azar (DCA)

El DCA es el arreglo geométrico más simple en el DE. Se utiliza para realizar experimentos con un solo factor donde se comparan dos o más tratamientos. En éste se supone que tanto las UE como el ambiente físico en el que se lleva a cabo el experimento son totalmente homogéneos, uniformes y sin cambio. En este sólo se consideran dos fuentes de variabilidad: los tratamientos y el error aleatorio. Sin embargo, difícilmente se logran cubrir los requisitos para poder aplicar este diseño, por lo que en la práctica solo se recomienda para condiciones muy controladas, como es el caso de experimentos de laboratorio. El DCA es una generalización para comparar más de dos tratamientos, de la comparación de dos medias, mediante la prueba de t para muestras independientes. Los datos en un DCA solo tienen un criterio de clasificación, correspondiente a los tratamientos. Para identificar a cada una de las observaciones, se requieren entonces de dos subíndices ligados a la letra que representa la variable de respuesta; de acuerdo al modelo estadístico:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij} \quad (3)$$

Hipótesis: $H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_k = \mu$

$H_A: \mu_i \neq \mu_j$ para algún $i \neq j$

Balanceado: $i = 1, 2, \dots, t; j = 1, 2, \dots, r$

Desbalanceado: $j = 1, 2, \dots, r_i$

El subíndice i está asociado al tratamiento y el subíndice j está asociada a la repetición dentro de cada tratamiento. Y_{ij} corresponde al valor de la variable de respuesta en la repetición j del tratamiento i . μ es el parámetro de escala común a todos los tratamientos, llamado media global, o simplemente es la media general del experimento. τ_i es el efecto del tratamiento i . ε_{ij} es el error experimental en la repetición j del tratamiento i .

En la ecuación (3) se observa que en el experimento hay t tratamientos, y cada tratamiento se realiza r veces (número de repeticiones). Cuando el número de repeticiones es el mismo en cada tratamiento; entonces el experimento está balanceado. Cuando el número de repeticiones varía de tratamiento a tratamiento, el diseño experimental será desbalanceado y el subíndice j llegará a un número diferente para cada tratamiento.

Por ejemplo, López Barrera y Vaquero Peraza [2013] evaluaron seis tipos de DL con los mismos ingredientes a diferentes concentraciones. El DE utilizado fue DCA con dos medidas repetidas en el tiempo (día 1 y 30). Efectuaron tres repeticiones por tratamiento, para un total de 36 unidades experimentales, con una separación de medias Tukey. Encontraron que no hay diferencias significativas en el tiempo y las características físico-químicas. El tratamiento más aceptado fue el DL con 40% de leche, 25% crema, 25% azúcar y 10% de leche descremada en polvo.

Rodríguez *et al.* [2011], evaluaron el desarrollo de color, con el tiempo de tratamiento térmico y el pH inicial como variables tecnológicas, en un sistema modelo (el sistema modelo estuvo compuesto por caseinato, lactosa, sacarosa y agua destilada cuya composición fue similar a la del DL comercial). Para esto utilizaron un DCA que consistió en unidades experimentales (tubos cerrados) que incluían el sistema modelo, las unidades experimentales se encontraban distribuidas aleatoriamente en una gradilla, las cuales fueron sumergidas en un baño de aceite a la temperatura preestablecida, constante e igual a 112 °C (el sistema estuvo con agitación y control automático de temperatura), se empleó una plancha calefactora (IKA C-MAG HS7) y termocupla (IKA ETS-D5). Dichas muestras fueron retiradas a los tiempos (0, 10, 30, 60 minutos) y enfriadas inmediatamente con agua a una temperatura de 2°C y las experiencias se realizaron por duplicado. Concluyeron que hubo un aumento significativo de los índices de color con el tiempo, tratamiento térmico y el pH inicial, además con el sistema CIELab también observaron una tendencia a disminuir la luminosidad con el tiempo y el aumento del pH inicial, y el aumento de a^* con el tiempo.

2.2.2 Diseño de bloques

Cuando las UE no son homogéneas en alguna de las variables identificadas como de impacto importante sobre la respuesta, o bien, las condiciones físicas en que se lleva a cabo el experimento no son totalmente uniformes, entonces se puede emplear un diseño en bloques (DB) para asegurar comparaciones más justas entre los tratamientos. El DB surge por la necesidad que tiene el investigador de ejercer un control local de la variación, es decir, cuando se quieren comparar ciertos tratamientos o estudiar el efecto de un factor.

En un *diseño en bloques completos al azar* (DBCA) cada bloque generado debe contener un número de UE igual al número de tratamientos, ya que cada bloque debe contener a todos los tratamientos. Los bloques en este diseño constituyen las repeticiones del experimento. En un DBCA se consideran tres fuentes de variabilidad: el factor de tratamientos, el factor de bloque y el error aleatorio. El modelo completo de un DBCA contiene los efectos de tratamiento (como en el DCA) y el de los bloques, dado por:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \gamma_j + \varepsilon_{ij} \quad (4)$$
$$i = 1, 2, \dots, k; j = 1, 2, \dots, b$$

Hipótesis: $H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_k = \mu$ o $H_0: \tau_1 = \tau_2 = \tau_3 = \dots = \tau_k$

$H_A: \mu_i \neq \mu_j$ para algún $i \neq j$ o $H_A: \tau_i \neq 0$ para algún i

Donde Y_{ij} es la variable de respuesta en el bloque j y el tratamiento i . μ es la media general del experimento. τ_i es el efecto del tratamiento i . γ_j es el efecto del bloque j . ε_{ij} es el error experimental en el bloque j y el tratamiento i .

La palabra *completo* en el nombre del diseño se debe a que en cada bloque se prueban todos los tratamientos. La aleatorización se hace dentro de cada bloque; por lo tanto, no se realiza de manera total como en el DCA. En este diseño, es deseable que las posibles diferencias se deban principalmente al factor de interés y no a otros factores que no se consideran en el estudio. Cuando esto no ocurre y existen otros factores que no se controlan para hacer la comparación, los resultados podrían ser afectados sensiblemente.

Dentro del DB se tiene el *diseño en cuadro latino* (DCL) y el *diseño en cuadro grecolatino* (DCGL). En el primero se controlan dos factores de bloques y se estudia un factor de tratamiento, por lo que se tienen cuatro fuentes de variabilidad que pueden afectar el resultado objetivo, estas son: los tratamientos, el factor de bloque I (columnas), el factor de bloque II (renglones) y el error aleatorio. Se llama cuadro latino debido a que tiene la restricción adicional de que los tres factores involucrados se prueban en la misma cantidad de niveles y latino, porque las letras latinas denotan los tratamientos o niveles del factor de interés.

El DCL es una generalización del DBCA. El nombre de este arreglo geométrico se debe a que el número de niveles en las variables de hileras es igual al número de niveles en la variable de columnas y es igual al número de tratamientos; estos últimos se denotan por letras latinas dentro de las celdas del cuadrado que forman las hileras y las columnas. Su modelo es:

$$Y_{ijl} = \mu + \tau_i + \gamma_j + \delta_l + \varepsilon_{ijl} \quad (5)$$

Donde Y_{ijl} es la observación del tratamiento i , en el nivel j del factor renglón y en el nivel l del factor columna; ε_{ijl} es el error atribuible a dicha observación

Las variables de bloqueo incluidas en este arreglo son estrictamente, como en el arreglo en bloques, para el control de la variación en las unidades experimentales o de las condiciones en que se lleva a cabo el experimento, pero no son de interés como factores de investigación. El objetivo entonces de las variables de bloqueo sigue siendo eliminar posibles fuentes de variación en el experimento que pudieran impactar sobre la variable de respuesta y enmascarar el efecto de los tratamientos.

Por otro lado, el diseño en cuadro grecolatino (DCGL) consiste en tres factores de bloques, además del factor de tratamiento. Se llama cuadro grecolatino porque los cuatro factores involucrados se prueban en la misma cantidad de niveles; además, se utilizan letras latinas para denotar los tratamientos y letras griegas para nombrar a los niveles del tercer factor de bloque. Su modelo es:

$$Y_{ijlm} = \mu + \tau_i + \gamma_j + \delta_l + \varphi_m + \varepsilon_{ijlm} \quad (5)$$

donde Y_{ijlm} es la observación o respuesta que se encuentra en el tratamiento i (i -ésima letra latina), en el renglón j , en la columna l y en la m -ésima letra griega; τ_i es el efecto del tratamiento i , γ_j es el efecto del renglón j , δ_l representa el efecto de la columna l y φ_m representa el efecto de la m -ésima letra griega, que son los niveles del tercer factor de bloque; el término ε_{ijlm} representa el error aleatorio

atribuible a la medición Y_{ijlm} . Es importante no confundir las letras griegas del modelo que representan efectos, con las letras griegas en el diseño que simbolizan a los niveles del tercer factor de bloque.

Por ejemplo, Toledo Calvopiña [2011], realizó un DB donde evaluó diferentes niveles de harina de quinua (2, 4, 6%), frente a un tratamiento control 0%, con cuatro repeticiones por tratamiento en la elaboración de DL. Encontró que al elaborar el manjar con el 2% de harina de quinua mejora sus propiedades físico-químicas elevando su rentabilidad al 33% y con una buena aceptación respecto a la muestra control.

Terán-Llorente y Posada-López [2011], para evaluar el efecto de la incorporación de lactosuero (LS) sobre la calidad del dulce de leche, utilizaron un DBCA. Las formulaciones que elaboraron fueron: A, B y C, las cuales se concentraron hasta 75°Bx y 80°Bx. La formulación A elaborada con 100% de LS, la formulación B elaborada con leche y LS en relación 50:50 y la formulación C con 100% leche entera. La mejor formulación fue con 50% de LS y 75 °Bx. En las que se incorporó 100% de LS evidenciaron el fenómeno de cristalización, defecto no es deseado en los DL factorial 5x2; con diez tratamientos obtenidos por la combinación de diferentes proporciones de leche de cabra (0, 25, 50, 75 y 100%) y dos tiempos de evaluación (1 y 60 días de almacenamiento). Encontraron que las formulaciones evaluadas cumplen con las características teóricas de un DL, además obtuvo buena aceptación por parte de la población evaluada sensorialmente. Sin embargo, la muestra que tuvo una sustitución del 75% de leche, fue rechazada, debido a que presentó una disminución en la textura, característica importante del DL producido con leche de vaca. La incorporación de leche de cabra no tuvo un impacto negativo en el dulce de leche para la muestra con combinación del 50:50.

Castañeda *et al.* [2004] utilizaron un DB incompleto, con el fin de analizar las características físico-químicas, reológicas y sensoriales del DL elaborado por ocho empresas. La investigación se realizó a temperatura ambiente (20°C a 24°C). Las muestras fueron colocadas en vasos medianos desechables transparentes (70 mL), rotulados previamente con números de tres dígitos escogidos aleatoriamente. Los resultados se obtuvieron empleando análisis de varianza de un factor (ANOVA) utilizando $\alpha = 0.05$, mínima diferencia significativa

(método de Tukey) e intervalo de confianza (considerando distribución t-Student). Los resultados obtenidos les permitieron caracterizar y/o tipificar al DL argentino variedad tradicional.

2.2.3 Diseño factorial

El objetivo de un diseño factorial es estudiar el efecto de varios factores sobre una o varias respuestas, cuando se tiene el mismo interés sobre todos los factores. Muchos experimentos implican el estudio de los efectos de dos o más factores. En general, los diseños factoriales son más eficientes para este tipo de experimento. En diseño factorial, en cada prueba completa o réplica del experimento se investigan todas las combinaciones posibles de los niveles de los factores.

Para estudiar el efecto de varios factores sobre una o varias respuestas, cuando se tiene el mismo interés sobre todos los factores, se debe utilizar el diseño factorial, que puede ser: 2^k , con k factores y dos niveles; ó 3^k , con k factores y tres niveles. Un diseño factorial permite evaluar el efecto de varios factores e incluso interacciones entre ellos, que se determinarán con el mismo número de ensayos que son necesarios determinar de los efectos con el mismo grado de exactitud.

En los diseños factoriales con dos factores se consideran los factores A y B con a y b ($a, b \geq 2$) niveles de prueba, respectivamente. Con ellos se puede construir el arreglo o diseño factorial $a \times b$, el cual consiste en $a \times b$ tratamientos. Algunos casos particulares de uso frecuente son: el factorial 2^2 , el factorial 3^2 y el factorial 3×2 . Su modelo general es:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk} \quad (6)$$

$$i = 1, 2, \dots, a; j = 1, 2, \dots, b; k = 1, 2, \dots, n$$

$$\text{Hipótesis: } H_0: \alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = \dots = \alpha_k$$

$$H_A: \alpha_i \neq 0 \text{ para algún } i$$

Donde μ es la media general, α_i es el efecto debido al i -ésimo nivel del factor A, β_j es el efecto del j -ésimo nivel del factor B, $(\alpha\beta)_{ij}$ re-

presenta al efecto de interacción en la combinación ij y ε_{ijk} es el error aleatorio que se supone sigue una distribución normal con media cero y varianza constante σ^2 ($N(0, \sigma^2)$) y son independientes entre sí.

Por ejemplo, Valencia García *et al.* [2008] para evaluar la influencia de sustitutos del azúcar (polidextrosa, fructosa y sorbitol) en las propiedades fisicoquímicas, sensoriales y texturales del arequipe, utilizaron un DE factorial y superficies de respuesta, con cuatro tratamientos en los cuales se reemplazó aproximadamente el 50% de azúcar con polidextrosa, el otro 50% del azúcar se reemplazó con fructosa y sorbitol, las cuales se combinaron a dos concentraciones. Encontraron que los tratamientos que presentaron la mejor aceptación fueron los que contenían el 3.9% de fructosa y 8.5% de sorbitol, también el de 4.7% de fructosa y 8.5% de sorbitol. Respecto a los atributos individuales como sabor y textura el tratamiento que presentó mayor aceptación fue el que se elaboró con menor contenido de fructosa (3.9% de fructosa y 8.5% de sorbitol).

2.2.4 Diseño de mezclas

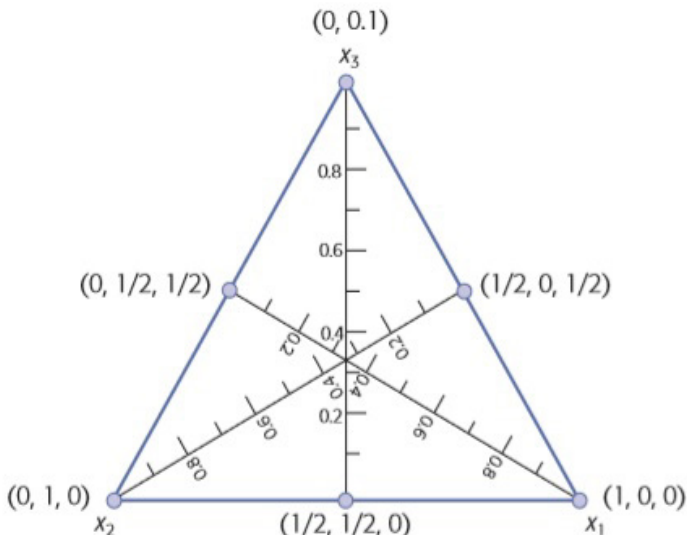
El diseño de un experimento con mezclas (DEM) consiste en aplicar una metodología de planeación y análisis que asegure obtener los conocimientos y soluciones. Existen diferentes tipos de DEM, por ejemplo, el Simplex- lattice (reticular) y Simplex-centroide. Entre los objetivos de un DEM se encuentran: 1) determinar cuáles de los ingredientes de la mezcla o interacciones entre ellos, tienen mayor influencia sobre una o varias respuestas de interés; 2) modelar las respuestas de interés en función de las proporciones de los componentes de la mezcla; 3) usar dichos modelos para determinar en qué porcentaje debe participar cada uno de los ingredientes para lograr que la fórmula tenga las propiedades deseadas. En los DEM, los factores son los componentes o ingredientes de una mezcla y los niveles de los mencionados anteriormente no son independientes. Los DEM tendrán q componentes y cada tratamiento en el experimento consiste en una combinación particular o mezcla de dichos ingredientes. En general para q componentes este modelo está dado por:

$$E(y) = \sum_{i=1}^q \beta_i x_i + \sum_{i < j} \sum_{j=2}^q \beta_{ij} x_i x_j \quad (7)$$

Donde: y representa la respuesta esperada en la mezcla pura = 1, y al mismo tiempo es la altura de la superficie en el vértice = 1. β_i representa el exceso de la respuesta del modelo cuadrático sobre el lineal, y dependiendo de su signo se habla de sinergismo o antagonismo entre los componentes correspondientes debido a la mezcla no aditiva.

El DEM simplex con centroide para tres componentes (Figura 1) se aplica con pocos componentes y consiste en 2^{q-1} puntos definidos. Los vértices son las mezclas puras, los puntos medios de las aristas representan mezclas binarias o de dos componentes y los puntos interiores o centroides de las caras definidas representan mezclas ternarias.

Figura 1. Diseño simplex con centroide ($q=3$).



Fuente: Gutiérrez Pulido y de la Vara Salazar [2012].

En la industria cobra un gran significado la validez técnica y económica de las formulaciones que se desarrollen. Para Ortega *et al.* [2015] las bondades del uso del diseño de experimento para la formulación de mezclas industriales son superiores al método tradicional del ensayo y error; sin embargo, es necesario asegurar su correcta aplicación, para ello se puede usar la estrategia del ciclo PHVA (ideado por Walter A. Shewhart y difundido por Edwards Deming) para definir el plan experimental, obtener los datos, ajustar un modelo estadísticamente significativo y con alto significado práctico.

Por ejemplo, Roca Castro [2011] empleó un DEM, compuesto por leche fresca, leche reconstituida y una proporción de 50:50 con la mezcla de ambas, para la determinación del mejor proceso de elaboración de DL a partir de la sustitución parcial o total de leche fresca por leche en polvo. Concluyó que es posible reemplazar la leche fresca por la leche en polvo en la elaboración del DL, pero solo parcialmente, es decir, se debe sustituir máximo por el 50% de leche fresca y el 50% de leche reconstituida en polvo, ya que la cantidad precisa de sólidos lácteos en el producto final será del 24 % y el porcentaje de glucosa agregado en la mezcla de azúcares será del 10%.

3 Ejemplos adicionales de aplicación de los DE en la investigación con DL

Novoa y Ramírez-Navas [2012a], utilizaron un DE anidado donde seleccionaron tres muestras de tres lotes diferentes para cada marca de MB, con el objetivo de caracterizar instrumentalmente el color (CIE-L*a*b*) de muestras comerciales, para establecer un rango de referencias. Esto lo realizaron mediante el empleo de un espectrocolorímetro. Encontraron un rango para los parámetros del color que se pueden emplear como referencia en la fabricación del MB.

Oliveira Ferreira *et al.* [2011], utilizaron un DE rotacional compuesto central con un porcentaje de sustitución de leche por lactosuero (LS) y adición de café. Realizaron once ensayos: cuatro factoriales (combinaciones entre niveles ± 1), tres centrales (tres variables en el nivel 0) y cuatro ensayos axiales (una variable en el nivel $\pm 1,41$ y uno en

el nivel 0). Aplicaron dicho DE para encontrar la mejor formulación para la elaboración del DL con café. Hallaron que la metodología de superficie de respuesta empleada por sí sola, no fue suficiente, claro ejemplo de la importancia en la elección del DE adecuado. Sin embargo, obtuvieron muestras con diferentes proporciones de LS y café que fueron aceptadas por los consumidores; estas fueron: 10% de LS de leche con 1% de café, 30% de LS con 1% de café y 20% de LS de leche con 1,25% de café.

4 Conclusiones

Los DE son herramientas claves para el desarrollo de un estudio exitoso, estos permiten tener un control sobre la variabilidad de los resultados que se obtengan en determinada experimentación. Un DE plantea un conjunto de pruebas, de tal manera que, los datos generados puedan analizarse estadísticamente para obtener conclusiones válidas. Para cualquier investigación siempre habrá un diseño experimental que se acople mejor y no excluya características importantes que puedan influir posteriormente en los resultados del experimento

Referencias bibliográficas

- BERGER, P., MAURER, R. Y CELLI, G.B. *Experimental design: with applications in management, engineering and the sciences*. 2nd ed. Gewerbestrasse, Cham, Switzerland: Springer International Publishing, 2018. XVIII, 639 p.
- BOX, G.E., HUNTER, W.G. Y HUNTER, J.S. *Statistics for experimenters: an introduction to design, data analysis, and model building*. New York, USA: Wiley, 1978.
- CASTAÑEDA, R., MUSET, G., CASTELLS, L., ARANIBAR, G., MURPHY, M. Y RODRÍGUEZ, G. *Dulce de leche argentino variedad tradicional. Su caracterización*. Argentina: INTI - Instituto Nacional de Tecnología Industrial, 2004. 1-3 p.
- COCHRAN, W.G. Y COX, G.M. *Experimental designs*. 2 ed. New York, USA: Wiley, 1957.
- CORTÉS JIMÉNEZ, A., ORTIZ ÁLVAREZ, J.R. Y RAMÍREZ-NAVAS, J.S. Panelitas de leche colombianas. *Tecnología Láctea Latinoamericana*, jun 2014, vol. 81, p. 52-61.
- CHACÓN-VILLALOBOS, A., PINEDA-CASTRO, M.L. Y MÉNDEZ-ROJAS, S.G. Efecto de la proporción de leche bovina y caprina en las características del dulce de leche. *Agronomía Mesoamericana*, 2013, vol. 24, no. 1, p. 149-167.
- DEAN, A., VOSS, D. Y DRAGULJIĆ, D. *Design and Analysis of Experiments*. Gewerbestrasse, Cham, Switzerland: Springer International Publishing, 2017. 852 p.
- DEMING, W.E. *Quality, productivity, and competitive position*. Massachusetts, USC: Massachusetts Institute of Technology, Center for advanced engineering study Cambridge, 1982.

FISHER, R.A. *The design of experiments*. Oliver And Boyd; Edinburgh; London, 1937.

GÓMEZ, M.M. *Introducción a la metodología de la investigación científica*. Argentina: Brujas, 2006. 190 p.

GUTIÉRREZ PULIDO, H. Y DE LA VARA SALAZAR, R. *Análisis y diseño de experimentos*. México: McGraw-Hill, 2008. 571 p.

GUTIÉRREZ PULIDO, H. Y DE LA VARA SALAZAR, R. *Análisis y diseño de experimentos*. España McGraw-Hill Interamericana de España S.L., 2012.

ICONTEC. NTC-3757 Arequipe o dulce de leche y manjar blanco. En: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, 2008, vol. 3757.

LAWES, J.B. Y GILBERT, J.H. Agricultural, botanical, and chemical results of experiments on the mixed herbage of permanent meadow, conducted for more than twenty years in succession on the same land. Part I. Philosophical Transactions of the Royal Society of London, 1880, vol. 171, p. 289-416.

LÓPEZ BARRERA, E.C. Y VAQUERO PERAZA, M.F. Caracterización físico química y evaluación sensorial de seis formulaciones de dulce de leche. Tesis de Ingeniero en Agroindustria Alimentaria. Zamorano, Honduras: Escuela Agrícola Panamericana, 2013. 40 p.

MONTGOMERY, D.C. *Design and analysis of experiments*. Eighth edition. ed. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc., 2013. xvii, 730 p.

NEIRA BERMÚDEZ, E. Y LÓPEZ TORRES, J. *Guía técnica para la elaboración de productos lácteos*. 5 ed. Bogotá: De la Mancha Impresores, 2010. 247 p.

- NOVOA, D.F. Y RAMÍREZ-NAVAS, J.S. Caracterización colorimétrica del Manjar Blanco del Valle. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 2012a, vol. 10, no. 2, p. 54-60.
- NOVOA, D.F. Y RAMÍREZ-NAVAS, J.S. Manjar Blanco del Valle: Un dulce de leche típico colombiano. *Tecnología Láctea Latinoamericana*, 2012b, vol. 68, p. 48-52.
- OLIVEIRA FERREIRA, L., PIMENTA, C.J., MARQUES PINHEIRO, A.C., PIMENTA PEREIRA, P.A. Y SANTOS, G. Sensory evaluation of “dulce de leche” with coffee and whey using different affective data analysis methods. *Food Science and Technology*, 2011, vol. 31, p. 998-1005.
- ORTEGA, D.C., BUSTAMANTE RÚA, M.O., GUTIÉRREZ-RÔA, D.F. Y CORREA-ESPINAL, A.A. Mixture experiments in industrial formulations. *Dyna*, 2015, vol. 82, no. 189, p. 149-156. 10.15446/dyna.v82n189.42785
- RAMÍREZ-NAVAS, J.S., CALLEJAS, G., QUICENO, C. Y VALENCIA, Y. Consumer preference and acceptance of two Colombian sweet milks: results of a consumer survey. *UGCiencia*, Enero 2016, vol. 21, p. 9-15.
- ROCA CASTRO, E.P. Determinación del mejor proceso de elaboración de dulce de leche a partir de la sustitución parcial o total de leche fresca por leche en polvo. Tesis de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción. Guayaquil, Ecuador: Escuela Politécnica del Litoral, 2011. 347 p.
- RODRÍGUEZ, A., PIAGENTINI, A., ROZYCKI, S., LEMA, P., PAULETTI, M.S. Y PANIZZOLO, L.A. Evolución del desarrollo del color en sistema modelo de composición similar al dulce de leche. Influencia del tiempo de calentamiento y del pH. *Innotec*, 2011, vol. 7, p. 38-42.

TAGUCHI, G. *Introduction to quality engineering: designing quality into products and processes*. Tokyo, Japan: Asian Productivity Organization, 1986. 191 p.

TERÁN-LLORENTE, D.M. Y POSADA-LÓPEZ, K. Efecto de la incorporación de lactosuero sobre las propiedades físicas y sensoriales de un dulce de leche repostero. Tesis de Ingeniero de Alimentos. Cali, Colombia: Universidad del Valle, 2011. 45 p.

TOLEDO CALVOPINIÑA, B.M. Evaluación de Diferentes Niveles de Harina de Quinoa en la Elaboración del Manjar de Leche. Tesis de Ingeniero en Industrias Pecuarias. Riobamba, Ecuador: Escuela Superior Politecnica de Chimborazo, 2011. 76 p.

VALENCIA GARCÍA, F.E., CARDONA, M., DE JESÚS, L. Y RAMIREZ HERRERA, N. Evaluación de los efectos en las propiedades fisicoquímicas, sensoriales y texturales de poli-dextrosa, fructosa y sorbitol como sustitutos de azúcar en la elaboración de arequipe. *Revista Lasallista de Investigación*, 2008, vol. 5, no. 2, p. 20-27.

WELHAM, S.J., GEZAN, S.A., CLARK, S.J. Y MEAD, A. *Statistical methods in biology : design and analysis of experiments and regression*. Boca Raton, FL, USA: Taylor & Francis Group, LLC, 2015. xx, 582 pages p.

YATES, F. A fresh look at the basic principles of the design and analysis of experiments. En: *Proceedings of the Fifth Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability, Volume 4: Biology and Problems of Health*. The Regents of the University of California, 1967.

ACERCA DE LOS AUTORES

Juan Sebastián Ramírez-Navas, Ph.D.

Coordinador

Ingeniero Químico de la Universidad Central del Ecuador. Doctor en Ingeniería, con énfasis en Ingeniería de Alimentos de la Universidad del Valle. Profesor en el Programa de Química en la Universidad Santiago de Cali y Profesor Asistente en la Escuela de Ingeniería de Alimentos de la Universidad del Valle. Editor y director de la revista RECITEIA (ISSN 2027-6850).

Durante los últimos 13 años, ha trabajado en I&D+i de Derivados Lácteos (productos autóctonos, postres y productos dulces, y helados) y Alimentos Funcionales e Ingredientes Naturales (fitoquímicos, extracción, caracterización) en los grupos de investigación GI-EMA-USC y GIPAB-UV.

<https://orcid.org/0000-0002-6731-2784>

juan.ramirez06@usc.edu.co

juan.sebastian.ramirez@correounivalle.edu.co

Diofanor Acevedo Correa, Ph.D.

Universidad de Cartagena, Facultad de Ciencias Económicas, Programa de Administración Turística y Hotelera, Avenida el Consulado, Calle 30 N°. 48-152. Cartagena, Bolívar, Colombia.

<https://orcid.org/0000-0002-1364-7044>

diofanor3000@gmail.com

Juan de Dios Alvarado, M.Sc.

Profesor-Investigador jubilado Universidad Técnica de Ambato
Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos Campus Huachi. Los
Chasquis y Río Payamino, Ambato, Ecuador.

<https://orcid.org/0000-0001-7877-7539>
jalv69@hotmail.com

Kevin José González Morelo, I.A.

*Universidad de Cartagena, Facultad de Ingeniería, Programa de
ingeniería de Alimentos, Avenida el Consulado, Calle 30 N°. 48-
152. Cartagena, Bolívar, Colombia. Cartagena, Bolívar, Colombia.*

<https://orcid.org/0000-0003-4017-6388>
pmargaritamontero@hotmail.com

Jessica Alejandra Hidalgo-Piamba, I.A.

*Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería de Alimentos, Univer-
sidad del Valle. Ciudad Universitaria Meléndez, Calle 13 # 100-00,
Edificio 338. Santiago de Cali, Valle del Cauca, Colombia.*

<https://orcid.org/0000-0001-8468-4830>
jessica.hidalgo@correounivalle.edu.co

Jannet López Torres, M.Sc.

Profesora - Investigadora Fundación Universitaria Agraria De Colombia - UNIAGRARIA Dirección Calle 170 # 54 A 10 Bogotá D.C., Colombia.

*<https://orcid.org/0000-0003-2745-8110>
lopez.jannet@uniagraria.edu.co*

Piedad Margarita Montero Castillo, Ph.D.

Universidad de Cartagena, Facultad de Ingeniería, Programa de ingeniería de Alimentos, Avenida el Consulado, Calle 30 N°. 48-152. Cartagena, Bolívar, Colombia. Cartagena, Bolívar, Colombia.

*<https://orcid.org/0000-0001-7148-5285>
pmargaritamontero@hotmail.com*

José Steven Motato-Guerra, I.A.

Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería de Alimentos, Universidad del Valle. Ciudad Universitaria Meléndez, Calle 13 # 100-00, Edificio 338. Santiago de Cali, Valle del Cauca, Colombia.

*<https://orcid.org/0000-0003-2041-1846>
jose.motato@correounivalle.edu.co*

Carlos Fernando Novoa Castro, M.Sc.

Profesor Asociado Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos-ICTA Universidad Nacional de Colombia Carrera 30 No 45-03, Edificio 500A, Bogotá, Colombia, Tel 3165000 ext 19217 Bogotá D.C., Colombia

*<https://orcid.org/0000-0003-1688-4624>
cfnovoa@unal.edu.co*

Diego Fabián Novoa, Mg.

Ingeniero de Alimentos Investigador Independiente, Reología y Análisis Térmico Carrera 80 # 6A-60, Santiago de Cali, Valle del Cauca, Colombia.

*<https://orcid.org/0000-0002-6370-9186>
diegonovoa@ingenieros.com*

Jorge Fernando Vélez-Ruiz, Ph.D.

Doctor en Ingeniería de Alimentos. FN Consultores, S.A. de C. V. Instituto de Innovación y Desarrollo Tecnológico Boulevard del Niño Poblano 2901. Unidad Territorial Atlixcayotl Puebla, Puebla, México. CP. 72197 Departamento de Ingeniería Química y Alimentos, Universidad de las Américas Puebla, Ex hacienda Santa Catarina Mártir S/N, San Andrés Cholula, Puebla, C.P. 72810, México.

*<https://orcid.org/0000-0003-1526-989X>
jorgef.velez@udlap.mx*

PARES EVALUADORES

Enrique Pardo Pérez

Universidad de Córdoba

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-6467-5790>

Edisson Duarte Restrepo

Universidad de Cartagena

Adriana Correa Bermúdez

Corporación Centro Internacional de Entrenamiento e
Investigaciones médicas CIDEIM

Alexander Luna Nieto

Fundación Universitaria de Popayán

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-9297-8043>

Alexander López Orozco

Universidad de San Buenaventura

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-0068-6252>

Carlos Andrés Rodríguez Torijano

Universidad de los Andes

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-0401-9783>

Carlos David Grande Tovar

Universidad del Atlántico

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-6243-4571>

Ingrid Paola Cortes Pardo

Pontificia Universidad Javeriana

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-0282-0259>

Jean Jader Orejarena Torres

Universidad Autónoma de Occidente

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-0401-3143>

John James Gómez Gallego

Universidad Católica de Pereira

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-6685-7099>

Juan Manuel Rubio Vera
Servicio Nacional de Aprendizaje Sena
Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-1281-8750>

Margaret Mejía Genéz
Universidad de Guanajuato
Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-5142-5813>

María Alexandra Rendón Uribe
Universidad de Antioquia
Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-1062-6125>

Willian Fredy Palta Velasco
Universidad de San Buenaventura
Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-1888-0416>

Yenny Patricia Ávila Torres
Universidad Tecnológica de Pereira
Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-1399-7922>

Diana Milena Díaz Vidal
Universidad de San Buenaventura
Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-6428-8272>

Marco Antonio Chaves García
Fundación Universitaria María Cano
Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-7226-4767>

Nelson Jair Cuchumbé Holguín
Universidad del Valle
Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-9435-9289>

Ángela María Salazar Maya
Universidad de Antioquia
Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-7599-1193>

Este libro fue diagramado utilizando fuentes tipográficas Times New Roman en sus respectivas variaciones a 12 y 13 puntos. Se Terminó de imprimir en noviembre en los talleres de SAMAVA EDICIONES E.U. POPAYÁN - COLOMBIA 2018.

Fue publicado por la Facultad de Ciencias Básicas de la Universidad Santiago de Cali.