

Efecto de la temperatura de enfriamiento y formulación en la elaboración de Dulce de Leche

Lisa Marcela Lamothe Ávila

Honduras
Diciembre, 2006

Efecto de la temperatura de enfriamiento y formulación en la elaboración de Dulce de Leche

Proyecto especial presentado como requisito parcial para optar
al título de Ingeniera en Agroindustria en el Grado
Académico de Licenciatura.

presentado por:

Lisa Marcela Lamothe Ávila

Honduras
Diciembre, 2006

La autora concede a Zamorano permiso para reproducir y distribuir copias de este trabajo para fines educativos. Para otras personas físicas o jurídicas se reservan los derechos de autor.

Lisa Marcela Lamothe Ávila

Honduras
Diciembre, 2006

Efecto de la temperatura de enfriamiento y formulación en la elaboración de Dulce de Leche

presentado por

Lisa Marcela Lamothe Ávila

Aprobada

Luis Fernando Osorio, Ph.D.
Asesor Principal

Raúl Espinal, Ph.D.
Director
Carrera de Agroindustria

Francisco Javier Bueso, Ph.D.
Asesor

George Pilz, Ph.D.
Decano Académico

Kenneth L. Hoadley, D.B.A.
Rector

DEDICATORIA

A Dios.

A mis padres, Luis y Rosario.

A mis hermanos, Luis Fernando y Mauricio.

A mis amigos zamoranos.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por bendecirme con la oportunidad de terminar mis estudios universitarios, por guiarme y cuidarme siempre.

A mis padres por su apoyo y amor incondicional, por darme el ejemplo del trabajo y ser la inspiración de mi esfuerzo. Con inmensurable amor, respeto y orgullo les agradezco por permitirme alcanzar mis sueños.

A mis hermanos por su ayuda, consejos, bromas y cuidados. Les agradezco infinitamente por cuidarme y apoyarme siempre.

A Miguel Castillo por su compañía en los buenos momentos y en los difíciles. Muchas gracias por sus palabras y por creer en mí.

A mi asesor, Dr. Luís Fernando Osorio, con mucha admiración y respeto le agradezco por brindarme su conocimiento, su confianza y su apoyo como profesor y amigo.

Al personal de la planta de lácteos especialmente a Rigoberto Silva y Juan Ferrara por apoyarme siempre cuando necesité de sus consejos y conocimientos.

A todos mis amigos en Zamorano en especial a Sara Brune, Estuardo Gómez, Lesbia Martínez, Miguel Cocom y Carlos Lynch por compartir conmigo tantos momentos, darme su amistad sincera y hacerme sonreír cuando más lo necesité. Gracias a ustedes me llevo los mejores recuerdos de Zamorano.

RESUMEN

Lamothe, L. 2006. Efecto de la temperatura de enfriamiento y formulación en la elaboración de dulce de leche. Proyecto de Graduación del Programa de Ingeniería en Agroindustria Alimentaria, Escuela Agrícola Panamericana, El Zamorano, Honduras. 38 p.

La temperatura de enfriamiento afecta la formación y el tamaño de los cristales de lactosa. Una práctica común para evitar la formación de estos cristales es el uso de β -D-galactosidasa en la elaboración de dulce de leche. El objetivo principal del estudio fue evaluar el efecto de dos formulaciones y dos temperaturas de enfriamiento que retrasen la formación de cristales de lactosa en el producto final. Se utilizó un arreglo factorial con diseño de bloques completos al azar y con medidas repetidas en el tiempo. Se evaluó cada formulación y temperatura de enfriamiento (4 °C y -10 °C) al alcanzar 72 °Brix. La formulación A incluyó crema al 40%, LDP, azúcar y agua. La formulación B incluyó leche entera al 3.8% y azúcar. A ambas formulaciones se les agregó β -D-galactosidasa utilizando una concentración de 2.2 ml/L (Maxilact). La formación de cristales de lactosa y atributos sensoriales como color, dulzura y aceptación general del producto fueron evaluados a los días cero, quince y treinta. Asimismo se evaluaron características físico-químicas como color, viscosidad y se realizó un análisis proximal de los dos tratamientos que presentaron menor cristalización y mayor aceptación. Los cristales de lactosa fueron percibidos a partir del día quince para todos los tratamientos siendo los tratamientos de la formulación A los que presentaron menor cristalización ($P < 0.05$). Estos tratamientos obtuvieron la mejor evaluación en aceptación general con promedios de 3.69 y 3.59 ($P < 0.05$). La formulación A tuvo un menor desarrollo de cristales de lactosa. Entre los tratamientos de esta misma formulación, el que fue enfriado a -10 °C tuvo una menor cantidad y tamaño de cristales ($P < 0.05$). El aumento en el porcentaje de grasa láctea y sólidos totales de la formulación A originó una cantidad y tamaño menor de cristales de lactosa ($P < 0.05$).

Palabras clave: β -D-galactosidasa, cristales de lactosa, LDP, Maxilact

CONTENIDO

	Portadilla.....	i
	Autoría.....	ii
	Página de Firmas.....	iii
	Dedicatoria.....	iv
	Agradecimientos.....	v
	Resumen.....	vi
	Contenido.....	vii
	Índice de Cuadros.....	ix
	Índice de Figuras.....	x
	Índice de Anexos.....	xi
1	REVISIÓN DE LITERATURA	1
1.1	DEFINICIÓN DE DULCE DE LECHE.....	1
1.2	FORMULACIÓN.....	1
1.3	CRISTALIZACIÓN DE LACTOSA.....	2
1.4	MÉTODOS PARA PREVENIR LA CRISTALIZACIÓN.....	3
2	INTRODUCCIÓN	5
3	MATERIALES Y MÉTODOS	6
	FORMULACIONES PARA LA ELABORACIÓN DE DULCE DE LECHE.....	6
3.1	LECHE.....	6
3.2	PROCEDIMIENTO.....	6
3.3	EVALUACIÓN SENSORIAL DE CRISTALIZACIÓN.....	10
3.4	ANÁLISIS FÍSICOS.....	10
3.4.1	Color.....	10
3.4.2	Viscosidad.....	10
3.5	ANÁLISIS QUÍMICOS.....	11
3.6	ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	11
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	12
4.1	ANÁLISIS EXPLORATORIO.....	12

4.1.1	Cantidad de cristales.....	12
4.1.2	Tamaño de cristales.....	13
4.1.3	Intensidad de color.....	13
4.1.4	Dulzura.....	14
4.1.5	Aceptación general.....	15
4.2	ANÁLISIS FÍSICOS	16
4.2.1	Viscosidad.....	16
4.3	ANÁLISIS QUÍMICOS	17
4.3.1	Análisis proximal.....	17
5	CONCLUSIONES	18
6	RECOMENDACIONES	19
7	BIBLIOGRAFÍA	20
8	ANEXOS	22

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro

1	Formulación A.....	6
2	Formulación B.....	6
3	Descripción de tratamientos.....	11
4	Cantidad de cristales del dulce de leche.....	12
5	Tamaño de cristales del dulce de leche.....	13
6	Intensidad de color del dulce de leche.....	14
7	Valores promedio de L*, a* y b*.....	14
8	Dulzura del dulce de leche.....	14
9	Aceptación general del dulce de leche.....	15
10	Valores de viscosidad a 20 y 120 RPM de dulce de leche.....	16
11	Composición química del dulce de leche de la formulación A.....	17

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura

1	Gráfica de tasa de enfriamiento de tratamientos.....	7
2	Diagrama de flujo tratamientos 1 y 3.....	8
3	Diagrama de flujo tratamientos 2 y 4.....	9
4	Viscosidad de dulce de leche.....	16

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo

1	Formato de Evaluación Sensorial.....	23
2	Análisis de Color.....	24
3	Análisis químicos.....	25
	A. Cálculos de humedad.....	25
	B. Cálculos de cenizas.....	25
	C. Cálculos de proteína.....	26
	D. Cálculos de grasa.....	26

1. REVISIÓN DE LITERATURA

1.1 DEFINICIÓN DE DULCE DE LECHE

El dulce de leche es el producto 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 láctico y/o crema y de sacarosa (parcialmente sustituido o no por monosacáridos y/u otros disacáridos) y de otras sustancias alimenticias (Zunino, 1998).

Según el Código Alimentario Argentino (2003), en el Capítulo VIII, las características que debe tener el dulce de leche son una consistencia sirupuosa, textura lisa, suave y uniforme, sin cristales perceptibles. La cantidad de agua no debe superar el 30%, los sólidos totales de leche no deben superar el 24% y deberá tener como mínimo un 6% de grasa láctea. En su elaboración se permite el uso de alcalinizantes como bicarbonato de sodio para neutralizar parcialmente la acidez. Puede haber una sustitución de hasta el 40% de azúcar por edulcorantes permitidos. Se permite también el uso de la enzima lactasa para la hidrólisis parcial de la lactosa (sin declaración en la etiqueta) y el uso de otras sustancias como aromatizantes naturales.

El dulce de leche es un producto de gran consumo en todos los países latinoamericanos y tiene diferentes nombres y procesos de elaboración de acuerdo al país. Por ejemplo, en Perú se le denomina “Manjar blanco”, en Ecuador se conoce con el nombre de “Manjar de Leche” y es un producto de color café claro, en Colombia se le conoce como “Arequipe”; en Argentina, Uruguay y Paraguay se le denomina “Dulce de Leche” y estos son más viscosos y oscuros. Asimismo, su consumo se ha difundido y está en creciente expansión en los Estados Unidos y Europa.

1.2 FORMULACIÓN

La formulación para la elaboración del dulce de leche puede variar de acuerdo a la región donde se elabora y la finalidad con que se produce; ya que puede ser para repostería o para la producción de helados.

Según Zunino (1998), de forma general se pueden nombrar los siguientes ingredientes como componentes de la formulación del dulce de leche. A. Leche: puede ser fluida o reconstituida, entera o parcialmente descremada, según el contenido de grasa inicial y final del dulce deseado. Tanto la leche en polvo como la fluida

tienen ventajas e inconvenientes, de modo que se puede aconsejar su uso alternativo o combinado conforme a las circunstancias y a las instalaciones. Se trata de todas formas de leches aptas para el consumo humano. No se pueden usar leches ácidas, sucias, quemadas, bacteriológicamente no Aptas, etc. Estas no sólo aportan productos de baja calidad sino también dificultan su elaboración y aumentan sus costos de producción

- A. Azúcar: se utiliza normalmente sacarosa y es muy importante en el desarrollo del sabor, color y textura del dulce de leche.
- B. Glucosa: se permite su uso como sustituto de la sacarosa. Se justifica su uso por varias razones. Su poder edulcorante es inferior al de la sacarosa, es mas económico, agrega brillo al producto y ayuda a retardar el desarrollo de cristales de lactosa.
- C. Bicarbonato de Sodio: se utiliza como neutralizante de acidez porque el ácido láctico se va concentrando a medida que la cantidad de agua de la mezcla va disminuyendo.

1.3 CRISTALIZACIÓN DE LACTOSA

La lactosa es el principal carbohidrato de la leche, es un disacárido único en la leche de las hembras de muchos mamíferos (Walstra y colaboradores 1999). El método de obtención de lactosa parte del suero de la leche. El suero se higieniza, pasteuriza y enfría. Posteriormente se ultrafiltra en equipos de membranas separando las proteínas del suero para obtener la lactosa. El permeado se refina y concentra por medio de evaporación para facilitar la etapa de cristalización; luego se enfría para lograr la formación de cristales. La masa de cristales en suspensión es sometida a separación centrífuga y se seca. Cuando ya se obtiene el cristal de lactosa refinado, se muele para obtener un polvo fino con tamaño de partícula más homogéneo (Sepúlveda y colaboradores 2004). La lactosa es un ingrediente importante en la industria farmacéutica, es prácticamente inerte y por eso es compatible con muchas sustancias farmacológicamente activas. Además, se usa como diluyente de compuestos activos en la fabricación de cápsulas.

La cristalización de lactosa no siempre es deseable. En productos como la leche condensada, helados y el dulce de leche es causa del deterioro de las características sensoriales; le da al producto una textura arenosa que es rechazada por el consumidor. Varios estudios realizados para evitar la cristalización de lactosa en leche condensada, mencionan que este defecto es controlado con la siembra de cristales de lactosa pero en dulce de leche es difícil aplicar esta técnica por su alta viscosidad. La siembra se hace para generar la formación de cristales pequeños que no sean perceptibles. De los estudios realizados con leche condensada también se concluye que un enfriamiento rápido evita la precipitación incontrolada de lactosa que eso da lugar a la formación de cristales gruesos (Agroinformación 2004). En un estudio realizado por Martínez y colaboradores (1990) se demostró que si el contenido de lactosa no es reducido, 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.

Según Jennes y Patton (1959), la lactosa existe en dos formas isoméricas en la leche que se designan como α - y β -lactosa. Estas formas de lactosa rotan su estructura cuando están en soluciones acuosas y buscan establecer un equilibrio en las cantidades presentes de cada una. Además, a 20°C y a un equilibrio rotacional, una solución de lactosa estará compuesta de 62.25% de β -lactosa y 37.75% de α -lactosa. La solubilidad de cada una de las formas de lactosa varía mucho. Siendo la forma β - mucho más soluble que la forma α -. A 15°C, aproximadamente 7 g de α -lactosa se disolverán en 100 gramos de agua y aproximadamente 50 g de β -lactosa se disolverán en la misma cantidad de agua. Por lo tanto, en soluciones de lactosa, aunque se presente equilibrio rotacional entre las dos formas, la forma α - se cristalizará debido a su baja solubilidad.

La α -lactosa tiende a cristalizarse en productos como helados, leche condensada y dulce de leche. Cristales grandes se forman porque la enucleación y el crecimiento de los cristales es lento (Walstra y colaboradores 1999). Debido a su baja solubilidad, la lactosa en el dulce de leche ya se encuentra en una solución supersaturada. Esta solución también es afectada por la cantidad de sacarosa (solubilidad= 146 g/100 g agua) agregada que disminuye sustancialmente la solubilidad de lactosa. Bajo estas condiciones, la cristalización de lactosa es inevitable en el dulce de leche (Hough y colaboradores 1990).

1.4 MÉTODOS PARA PREVENIR LA CRISTALIZACIÓN

Varios métodos tecnológicos se han desarrollado e investigado para prevenir la cristalización de lactosa en productos que tienen este problema. Pero la mayoría de estos métodos se han investigado para leche condensada y helados.

Una de las técnicas más populares es la siembra de microcristales de lactosa. El objetivo es generar una formación de cristales pequeños que no sean percibidos por el consumidor (Hough y colaboradores 1990). La siembra consiste en agregar lactosa en polvo cristalizada y se recomienda agregar desde un 0.04-2% de polvo de lactosa en la formulación. Se disuelve el polvo de lactosa en una cantidad pequeña para mejorar su distribución y se agrega al resto de producto cuando tiene una temperatura alrededor de 30° C. Se mantiene en constante agitación durante una hora (Hunziker 1946). Según Hough y colaboradores (1990), el tamaño de los cristales del polvo de lactosa no debe exceder los 8 μm para así dar lugar a la formación de cristales de lactosa que no excedan los 45 μm que es el umbral de percepción de los cristales de lactosa por el consumidor.

Esta técnica no es utilizada en dulce de leche por dificultades técnicas y de contaminación del producto. Las recomendaciones de Hunziker (1946), son de forzar la cristalización con agitación a 30 °C para fomentar la enucleación o aumentar la tasa de formación de cristales de lactosa. A esta temperatura, el dulce de leche es bien viscoso y los requerimientos del bombeo mecánico y la agitación son altos. Otra de las dificultades es la contaminación con mohos y levaduras cuando se agita el producto. La actividad de agua del dulce de leche no es lo suficiente baja para prevenir el crecimiento de este tipo de microorganismos.

Otro factor importante que se puede controlar durante la elaboración del dulce de leche es la velocidad de enfriamiento. Una disminución lenta de la temperatura del producto favorece la formación de cristales grandes. Lo contrario ocurre cuando el descenso de la temperatura es rápido porque esto facilita la formación de muchos cristales de tamaño pequeño que no son percibidos por el consumidor. Asimismo, a temperaturas menores la viscosidad del dulce de leche dificulta la formación de cristales de lactosa.

Otro método para prevenir la cristalización de lactosa es el control sobre la naturaleza de los ingredientes utilizados en la elaboración del dulce de leche (Zunino 1998). Las características de los ingredientes afectan el comportamiento físico-químico del producto final, su composición y rendimiento.

Según Gonzales (1968) citado por Zunino (1998), para una leche con un promedio de 3% de grasa y 4.5% de lactosa se recomienda agregar sacarosa de un 18-23%. Para leches con porcentajes de grasa de 1.5% se recomienda agregar 19.5% de sacarosa con la salvedad de que un máximo de 2% de esa sacarosa sea sustituida por glucosa. De forma general se puede decir que la cantidad de sacarosa a utilizarse depende del contenido de grasa, lactosa y proteínas de leche. Si la leche contiene un mayor porcentaje de proteínas que lactosa, se puede utilizar hasta un 30% de sacarosa.

Según Fennema (1985) y Smith (1991), el uso de la enzima β -D-galactosidasa, enzima del grupo de las hidrolasas, rompe el enlace entre la galactosa y glucosa que son las dos azúcares que forman la lactosa. De acuerdo a Godfrey, Kilara & Desai y Waites y otros citados por Cousin (2006), los microorganismos utilizados en la producción de esta enzima para su uso en productos alimenticios son *Aspergillus Níger* (panificación), *Kluyveromyces fragilis* (suero de leche) y *Kluyveromyces lactis* (lácteos).

La lactosa no es fácilmente hidrolizada en condiciones de bajo pH y altas temperaturas (Walstra y colaboradores 1999). Pero si es fácilmente hidrolizable con la enzima lactasa (β -D-galactosidasa). Esta reacción de la enzima con la lactosa produce los monosacáridos glucosa y galactosa. Además, se producen di- y oligosacáridos que no son comunes en la leche. El objetivo principal de utilizar esta enzima en las formulaciones de dulce de leche es para reducir el contenido de lactosa y así retrasar el desarrollo de cristales de lactosa.

La hidrólisis de lactosa origina varios cambios en el producto final. (1) La dulzura del producto aumenta debido a que la mezcla de galactosa y glucosa es 2 a 3 veces más dulce que la lactosa. (2) El producto puede ser consumido por personas intolerantes a la lactosa porque ya ha sido digerida por la enzima. (3) La galactosa y glucosa generan una viscosidad menor a la de la lactosa, esto permite una concentración mayor de sólidos sin que ocurra cristalización. (4) La Reacción de Maillard es mas acentuada porque la glucosa y galactosa con mas reactivas en estas condiciones que la lactosa (Sepúlveda y colaboradores 2004).

2. INTRODUCCIÓN

El dulce de leche es un producto lácteo típico de América Latina elaborado a partir de leche que es concentrada por medio de evaporación y la adición de sucrosa (Moro y Hough 1985). Es un producto que tiene una consistencia cremosa y un color castaño claro. Estos atributos cambian durante el almacenamiento y pueden alcanzar niveles muy desagradables para el consumidor.

Una característica importante del dulce de leche es su textura, defectos en este atributo pueden causar el rechazo del producto por el consumidor. Uno de los factores que afecta la textura de este producto es la cristalización de lactosa. La formación de cristales de lactosa le da una textura arenosa al dulce de leche. Ocurre por una alta concentración de lactosa y un enfriamiento inadecuado del producto después de su elaboración. En un estudio previo se demostró que el contenido de lactosa del dulce de leche se debe reducir, de lo contrario su cristalización es inevitable (Martínez y colaboradores 1990).

Se han puesto a prueba varios métodos para retardar de la cristalización en el dulce de leche. Uno de estos métodos es descrito por Hunziker (1946) y está basado en la siembra de cristales de lactosa en el dulce de leche. Otro estudio realizado por Sabioni y colaboradores (1984), utilizó fermentación con *Kluyveromyces lactis* y levadura para producir lactasa. En el estudio de Edelsten y colaboradores (1997), se utilizó leche ultrafiltrada para producir un Dulce de Leche bajo en lactosa. Lamentablemente en la actualidad ninguno de estos métodos es económicamente rentable para la producción de dulce de leche.

Otro método que es más común en la elaboración de Dulce de Leche y otros productos lácteos como la leche condensada es el uso de β -D-galactosidasa para disminuir el contenido de lactosa en la leche utilizada y así prevenir el desarrollo de una textura arenosa (Hough y colaboradores 1990). La glucosa y galactosa son más solubles que la lactosa. Estas azúcares son de dos a tres veces más solubles en agua a 25 °C. Debido a su mayor solubilidad, habrá menos azúcares en exceso para la formación de cristales de lactosa.

El objetivo principal de este trabajo fue estudiar el efecto que tiene la temperatura de enfriamiento y dos tipos de formulaciones preparadas con β -D-galactosidasa en el desarrollo de la cristalización de lactosa en Dulce de Leche producidas en la planta de Lácteos en Zamorano.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 FORMULACIONES PARA LA ELABORACIÓN DE DULCE DE LECHE

Cuatro tipos de dulce de leche fueron elaborados, variando la formulación (A, B) y la temperatura de enfriamiento (4 °C, -10 °C). En los siguientes cuadros se describe cada formulación.

Cuadro 1. Formulación A

Ingrediente	Porcentaje
Crema estandarizada al 40% de grasa	30
Leche descremada en polvo	30
Azúcar	30
β -D-galactosidasa (Maxilact)	2.2 ml/L
Agua	10

Cuadro 2. Formulación B

Ingrediente	Porcentaje
Leche entera (3.6% de grasa, 11.82% sólidos totales)	74.77
Azúcar	25
β -D-galactosidasa (Maxilact)	2.2 ml/L
Bicarbonato de sodio	0.1
Citrato de sodio	0.13

3.2 PROCEDIMIENTO

Cuatro tratamientos de dulce de leche fueron elaborados, dos de ellos elaborados con la formulación A y los otros dos con la formulación B. Uno de los dos tratamientos de cada formulación fue enfriado a 4°C y el otro a -10°C.

Las muestras de dulce de leche se elaboraron en un recipiente de acero inoxidable (marca Tramontina) y un plato caliente de laboratorio (Fisher Scientific, modelo 919, Vernon Hills, IL. USA). Para la formulación A, la mezcla de la crema y la leche descremada en polvo se hizo con una licuadora (Cuisinart 1 L, modelo BFP-703, E. Windsor, NJ. USA) y un colador plástico para evitar la formación de grumos que podrían confundirse con cristales de lactosa.

Se calentó la mezcla entre 38-40 °C y se agregó 2.2 ml/L de Maxilac. Se dejó reposar por 1.5 h que es lo recomendado por el flujo de proceso del arequipe colombiano. Se comenzó la concentración por calor a 85 °C hasta alcanzar 72 °Brix. Durante la concentración del dulce de leche se agitó manualmente con una cuchara grande de acero inoxidable durante una hora hasta que alcanzara los grados Brix deseados.

El dulce de leche se envasó en recipientes con una capacidad de 1.5 L; una muestra que consistía de 800 g de la formulación A se enfrió a 4 °C y otra muestra de la misma formulación y cantidad que la anterior se enfrió a -10 °C (Figura 1). Después de alcanzar 65 °C se almacenó a temperatura ambiente.

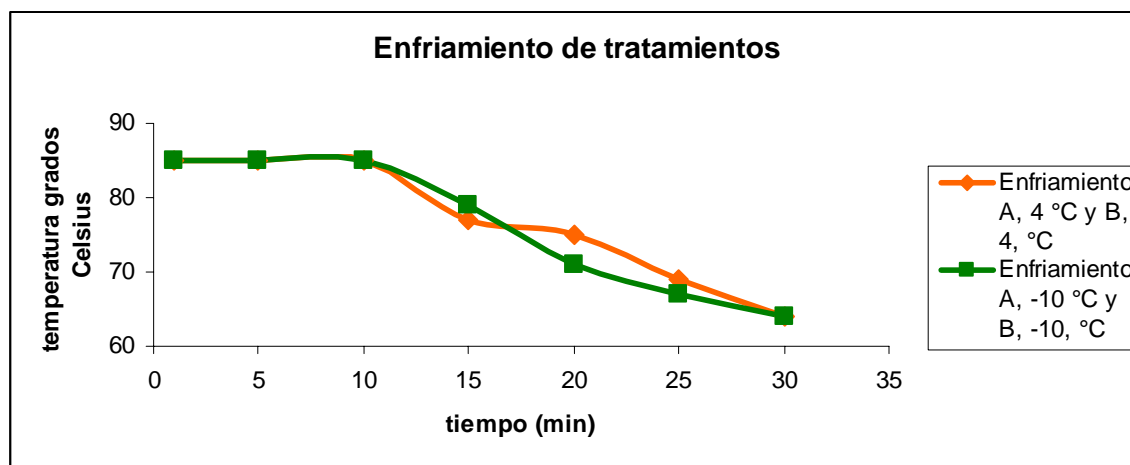


Figura 1. Gráfica de tasa de enfriamiento de tratamientos.

En la elaboración del dulce de leche con la formulación B se siguió un procedimiento muy similar. La leche entera se pasteurizó a 63 °C por 30 min en la misma olla de preparación antes de agregarle el Maxilac. Para estos tratamientos se agregó la misma cantidad de Maxilac que los tratamientos anteriormente descritos. Se dejó reposar por 1.5 h y después se neutralizó la acidez de la mezcla a 0.12% ATECAL con el bicarbonato de sodio y citrato de sodio. Se aplicó calor para concentrar y el azúcar se dividió en tres partes iguales para agregarla por etapas dependiendo de los grados Brix que el dulce de leche fuera alcanzando. Al lograr los 72 °Brix, se envasó en recipientes con una capacidad de 1.5 L. Se enfrió una muestra de 800 g de la formulación B a 4 °C y la otra muestra de la misma formulación y cantidad que la anterior se enfrió a -10 °C hasta que el dulce de leche alcanzó 65 °C (Figura 1). Generalmente en los procesos industriales de elaboración de dulce de leche se enfría hasta esta temperatura porque a una temperatura menor, la viscosidad del producto dificulta bastante el manejo del mismo. Las muestras se almacenaron a temperatura ambiente después de alcanzar 65 °C. Los procedimientos para la elaboración de los tratamientos se resumen en los diagramas de flujo (Figura 2 y 3).

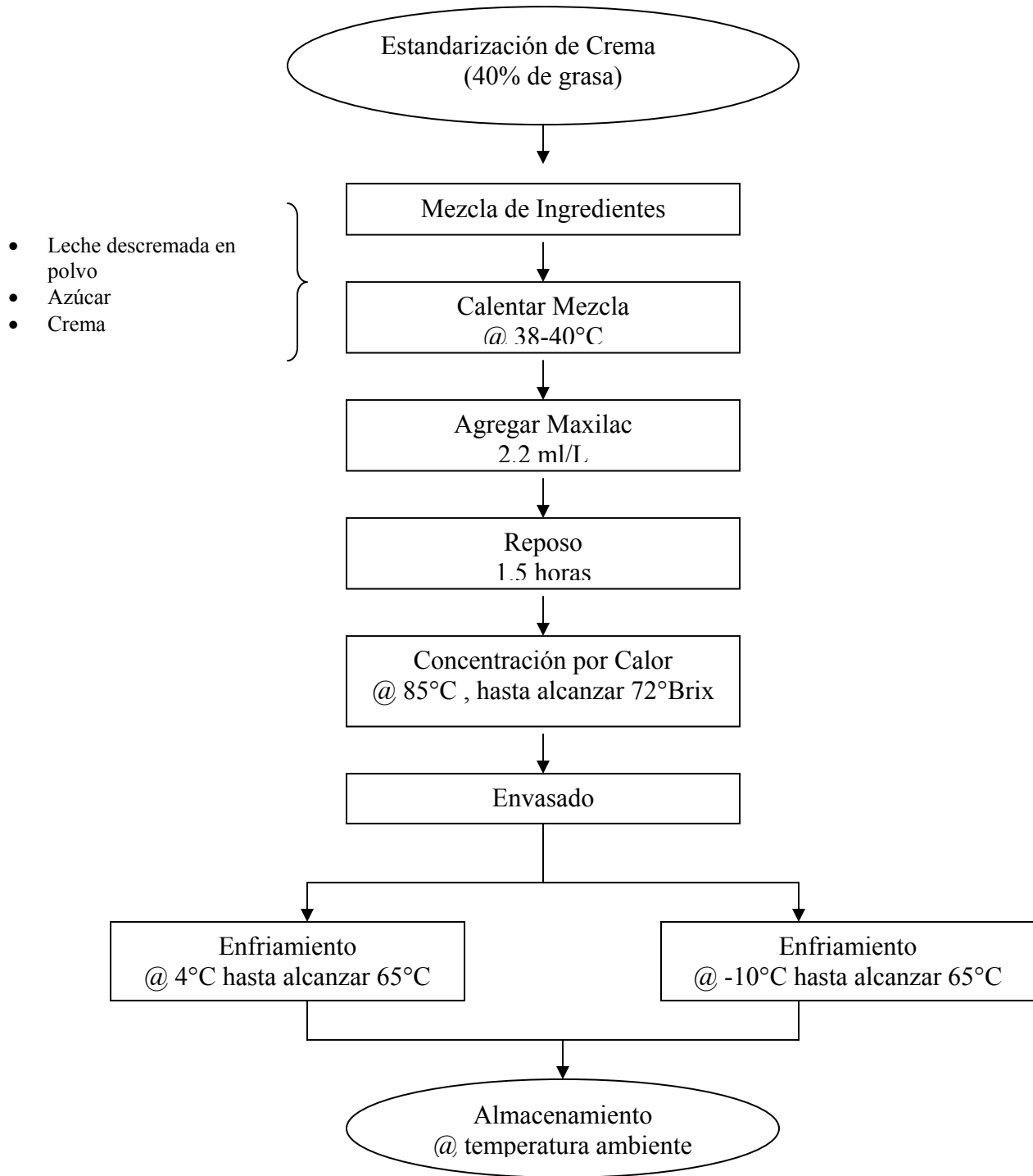


Figura 2. Diagrama de flujo de tratamientos 1 y 3.

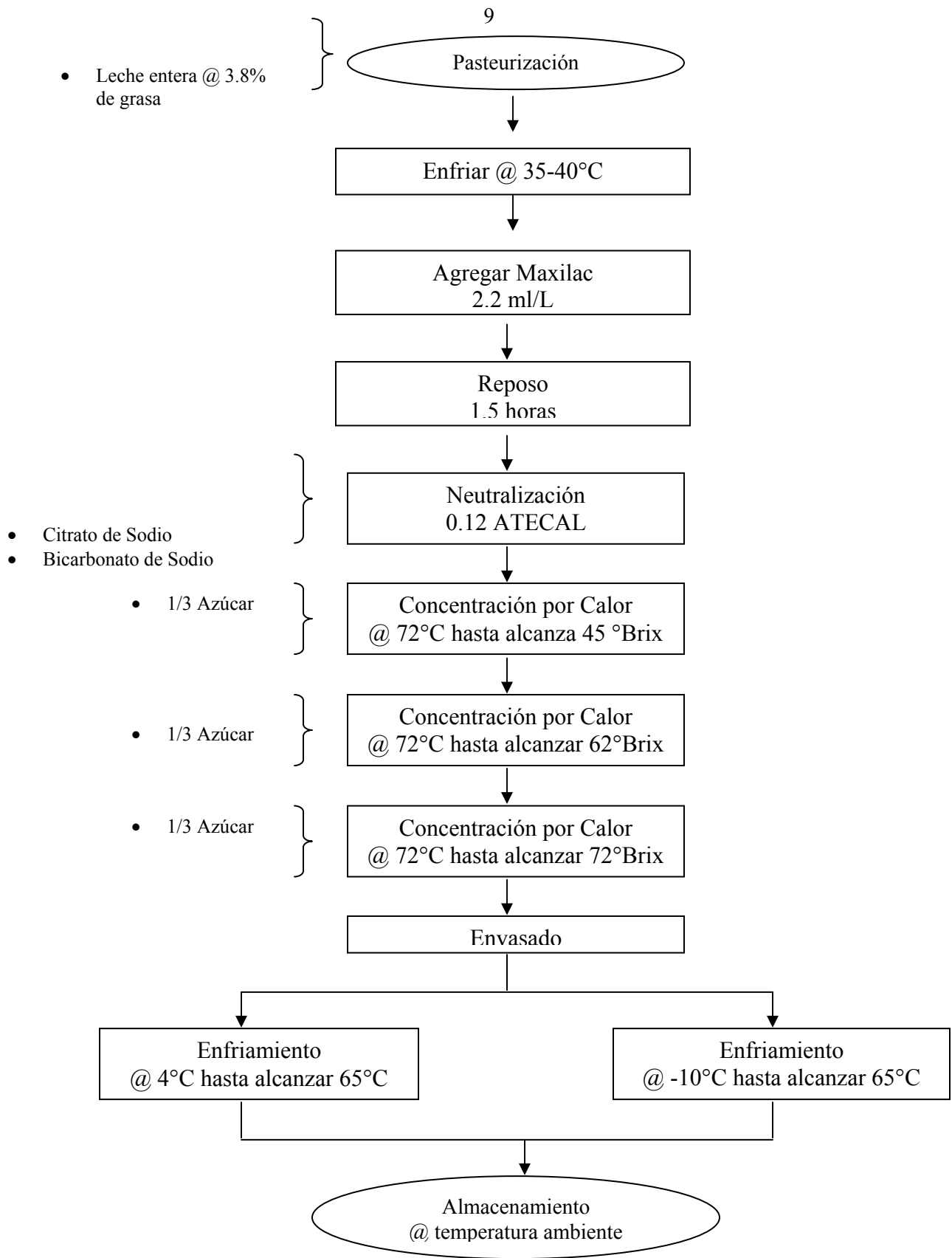


Figura 3. Diagrama de flujo de tratamientos 2 y 4.

3.3 EVALUACIÓN SENSORIAL DE CRISTALIZACIÓN

La cantidad y tamaño de partículas de cada muestra se evaluaron por medio de análisis sensoriales con un panel no capacitado compuesto de 10 personas. El panel utilizó una escala que consistió en 5 puntos que evaluaban diferentes niveles de cada parámetro en forma ascendente. Las características sensoriales evaluadas fueron cantidad de partícula, tamaño de partícula, intensidad de color, dulzura y la aceptación general del producto. Las muestras fueron almacenadas durante un mes a temperatura ambiente. Las evaluaciones se hicieron al día 0 de elaboración de la muestra, día 15 y día 30 para estudiar la formación de los cristales a medida que pasaba el tiempo (Anexo 1).

La preparación de las muestras se hizo media hora antes de la evaluación. Se le removió la capa superficial (1cm) de la muestra de dulce y se mezcló antes de sacar las muestras individuales para cada panelista. Fueron pesadas para garantizar que cada uno recibiera 4 muestras con la misma cantidad. Cada una tenía 25 g de dulce, cantidad recomendada por Konkel y otros (2004), en su estudio sobre evaluación sensorial de dulce de leche.

3.4 ANÁLISIS FÍSICOS

Las muestras de dulce de leche fueron evaluadas para color con el Colorflex HunterL*a*b* (modelo 45/0, Reston, VA. USA) y para viscosidad con el Viscosímetro de Brookfield (Brookfield Engineering Laboratories Inc. Modelo; RVDV II+, Middleboro, MA. USA).

3.4.1 Color

Se realizaron tres mediciones de color de cada tratamiento. Se colocó una cantidad de muestra en el recipiente de cuarzo. La cantidad de muestra es la necesaria para cubrir toda la base del recipiente. Se colocó el recipiente de cuarzo en el lente del aparato y se lee la muestra. Se registraron los valores de L, a y b para cada uno y se calculó el promedio para cada valor (ver resultados en anexo 2.)

3.4.2 Viscosidad

Las muestras de dulce de leche se evaluaron en el viscosímetro con el aditamento #7. Se realizó una prueba para cada tipo de dulce de leche cambiando las RPM cada minuto. Las RPM fueron aumentando en 10 unidades hasta alcanzar 120 RPM, después se fueron disminuyendo en 10 unidades.

Se registraron los resultados para viscosidad en centipoise que luego fueron convertidos a Pa*s. Se analizó como se comportó la viscosidad de cada muestra a través del tiempo y a medida cambiaban las RPM.

3.5 ANÁLISIS QUÍMICOS

Se realizaron análisis químicos en dos tratamientos que fueron los que presentaron menor cristalización a través del tiempo. Muestras por duplicado de cada tratamiento fueron analizadas para humedad, cenizas, grasa y proteína según los métodos declarados por la AOAC.

- 1 Humedad: método 990.19
- 2 Cenizas: método 945.46
- 3 Grasa: método 989.4
- 4 Proteína: método 991.20

3.6 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se evaluó el efecto de dos formulaciones de dulce de leche y dos temperaturas de enfriamiento. Los flujos de proceso variaron en una etapa por la naturaleza de los ingredientes que constituían la formulación. El resto de pasos en el proceso fueron estándares.

Cuadro 3. Descripción de tratamientos

Formulación	Temperatura de Enfriamiento	
	4 °C	-10 °C
A	TRT 1	TRT 3
B	TRT 2	TRT 4

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con medidas repetidas en el tiempo en un arreglo factorial donde cada repetición constituyó un bloque. La combinación de cada una de las dos temperaturas con cada una de las dos formulaciones constituyó cada tratamiento, según lo indica el Cuadro 3. Se realizó una separación de medias usando la prueba tukey.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 ANÁLISIS EXPLORATORIO

4.1.1 Cantidad de cristales

Los resultados demuestran que ambos factores (temperatura y formulación) tuvieron un efecto ($P < 0.05$) en la cantidad de cristales de lactosa formados (Cuadro 4). Hubo una interacción significativa entre la temperatura y formulación. La interacción entre los días y los tratamientos demuestra que el tiempo tuvo un efecto ($P < 0.05$) en el comportamiento de los tratamientos.

Cuadro 4. Cantidad de cristales del dulce de leche*

Día 0		Día 15		Día 30				
Trt	Media	Trt	Media	Trt	Media			
A, 4°C	1.43±0.50	A	B, 4°C	3.16±0.47	A	B, 4°C	4.13±0.77	A
B, 4°C	1.3±0.46	A B	B,-10°C	2.5±0.59	B	B,-10°C	2.53±0.81	B
B,-10°C	1.13±0.34	B	A, 4°C	1.33±0.56	C	A, 4°C	1.86±0.89	C
A,-10°C	1.1±0.30	B	A,-10°C	1.23±0.43	C	A,-10°C	1.76±0.77	C

*Medias con diferente letra en cada columna son significativamente diferentes ($P < 0.05$).

Al día 0 los tratamientos A, -10 °C y B, -10 °C fueron significativamente iguales y presentaron las medias más bajas para cantidad de partículas. Al día de elaboración la temperatura si tiene un efecto ($P < 0.05$) en la formación de cristales de lactosa. A menor temperatura se reportaron medias menores de cantidad de cristales en los tratamientos. Al día 15, ambos tratamientos de la formulación A fueron iguales ($P < 0.05$) y también presentaron las medias más bajas. La cantidad de partícula oscila entre 1 y 2 (en la escala de evaluación sensorial estos valores equivalen a nada y muy poco respectivamente). Esto indica que los % de grasa y de sólidos mayores tuvo un efecto en la cantidad de cristales formados. La formulación A presentó menos cantidad que los tratamientos de la formulación B. Finalmente al día 30 se observa que los tratamientos tuvieron un comportamiento igual al que tuvieron en el día 15. Los tratamientos de la formulación A son los que presentan medias menores y son estadísticamente iguales. Las medias para la cantidad de partícula no variaron mucho del día 15 al día 30, pero si presentan un incremento leve. A partir de estos datos se puede observar que al día de elaboración es la temperatura la variable determinante de esta característica del dulce de leche pero a los días 15 y 30, es la formulación que la afecta la cantidad de partícula.

4.1.2 Tamaño de cristales

Esta variable se evaluó indirectamente mediante la observación de los cristales visibles en una muestra de 25 g de dulce de leche. Los resultados evidencian que no hubo una interacción entre los factores de los tratamientos (formulación y temperatura), pero si hubo entre los días y los tratamientos (Cuadro 5). Al día de elaboración los tratamientos son significativamente iguales. Para todas las muestras evaluadas el tamaño percibido fue el mismo. Los panelistas evaluaron el tamaño de partícula como muy pequeño pero comentaron que no encontraron partículas visibles y la evaluaron así por las respuestas disponibles en el formato de evaluación sensorial.

Cuadro 5. Tamaño de cristales del dulce de leche*

Día 0		Día 15				Día 30		
Trt	Media	Trt	Media	Trt	Media	Trt	Media	
A, 4°C	1.0 ± 0.0	A	B, 4°C	2.6 ± 0.89	A	B, 4°C	3.03 ± 0.66	A
A, -10°C	1.0 ± 0.0	A	B, -10°C	2.43 ± 0.7	A	B, -10°C	2.5 ± 0.77	B
B, 4°C	1.0 ± 0.0	A	A, 4°C	1.13 ± 0.34	B	A, -10°C	1.43 ± 0.77	C
B, -10°C	1.0 ± 0.0	A	A, -10°C	1.03 ± 0.18	B	A, 4°C	1.36 ± 0.61	C

*Medias con diferente letra en cada columna son significativamente diferentes (P<0.05).

Al día 15 y 30 ya se hace evidente la relación entre los días y el tamaño de partícula. Al día 15, no se observaron diferencias significativas entre las temperaturas de enfriamiento pero si entre las formulaciones, es decir la temperatura no afectó el tamaño de los cristales de lactosa. Los tratamientos de la formulación A tienen medias menores que los de la formulación B. Los tratamientos de la formulación B ya presentaban cristales de lactosa evaluados con medias entre 2 y 3 lo que significa pequeño y mediano en la evaluación sensorial. Al día 30, los tratamientos de la formulación B fueron diferentes (P<0.05). El tratamiento enfriado a -10 °C de la formulación B obtuvo una media menor. Este cambio indica que la formulación B fue más susceptible a la rapidez de enfriamiento porque esta si tuvo un efecto en el tamaño de partícula para estos tratamientos al día 30. Esto puede ser el resultado del mayor porcentaje de lactosa en la formulación porque incluye leche entera. Los tratamientos de la formulación A se mantuvieron constantes. Fueron iguales (P<0.05) y presentaron las menores medias.

4.1.3 Intensidad de color

Como lo indica el Cuadro 6 el atributo sensorial de color presentó diferencias (P<0.05) entre los tratamientos. Los tratamientos de la formulación B fueron calificados como más oscuros. Esto se debe a que esta formulación es más susceptible a la Reacción de Maillard porque contiene más azúcares reductores que son necesarias en esta reacción. La calificación promedio de los tratamientos formulación B, 4 °C y formulación B, -10 °C fueron 3.8 y 3.34 respectivamente. En la escala de evaluación sensorial, estas medias equivalen a café opaco. Los tratamientos formulación A, 4 °C y formulación A, -10 °C obtuvieron calificaciones promedios que equivalen a café claro en la evaluación sensorial.

Cuadro 6. Intensidad de color del dulce de leche*

Tratamiento	Media	
B, 4°C	3.8 ± 0.50	A
B, -10°C	3.34 ± 0.46	B
A, -10°C	2.33 ± 0.34	C
A, 4°C	1.94 ± 0.30	D

*Medias con diferente letra son significativamente diferentes (P<0.05).

Existe una relación entre los resultados del análisis sensorial con el análisis físico (Cuadro 7). El color café característico de cada tratamiento fue evaluado con el Colorflex HunterL*a*b* y valores derivados de ese análisis coinciden con las diferencias significativas encontradas en los resultados del panel sensorial. Los resultados del análisis de color con el Colorflex HunterL*a*b* indican que los dos tratamientos de la formulación A son los más claros porque tienen los valores más altos de L*. Estos mismos tratamientos reportaron valores de a* más cercanos al rojo puro y valores de b* más cercanos al amarillo puro. Los tratamientos de la formulación B obtuvieron valores más bajos de L*, esto significa que es más oscuro porque su calificación se aproxima más al negro. Sus valores de a* y b* se aproximan más a los colores rojo y amarillo puro.

Cuadro 7. Valores promedios L*, a* y b*

Tratamiento	L*	a*	b*
A, 4°C	51.42	10.98	20.28
A, -10°C	53.4	10.22	19.85
B, 4°C	31.77	11.73	14.78
B, -10°C	35.56	11.17	15.52

4.1.4 Dulzura

La magnitud de la dulzura percibida fue evaluada, encontrando diferencias significativas entre los tratamientos de formulación B enfriado a 4 °C y -10 °C y formulación A enfriado a -10 °C (Cuadro 8). De acuerdo al análisis proximal realizado, los tratamientos de la formulación A tienen un alto porcentaje de carbohidratos. Estos tratamientos tienen porcentajes de 46.8 y 44.7 para 4 °C y -10 °C respectivamente.

Cuadro 8. Dulzura del dulce de leche*

Tratamiento	Media	
B, 4 °C	3.6 ± 0.63	A
B, -10 °C	3.51 ± 0.71	A
A, 4 °C	3.43 ± 0.76	A B
A, -10 °C	3.23 ± 0.67	B

*Medias con diferente letra son significativamente diferentes (P<0.05).

Estos resultados indican que la temperatura de enfriamiento no influyo en la dulzura percibida. La formulación A tiene un mayor porcentaje de azúcar y por ende tendría que

ser más dulce pero los panelistas encontraron más dulces a los tratamientos de la formulación B. Esta incoherencia de resultados puede ser porque la grasa contrarresta el sabor que dan los azúcares. El efecto residual de las muestras del análisis sensorial afecta la percepción de dulzura de las últimas muestras. Otro factor es la diferencia en percepción de la dulzura de los productos entre panelistas. Los individuos perciben los compuestos de diferentes formas. Las diferencias en percepción se deben a la ubicación de los alelos de los genes receptores de cada tipo de sabor (González 2004). Algunas personas son más susceptibles a la percepción de este atributo que otras (Espinal 2006).¹

4.1.5 Aceptación general

Como se puede observar en el Cuadro 9, los panelistas tuvieron una mayor aceptación por el tratamiento de la formulación A, -10 °C con una calificación promedio de 3.81. Los panelistas encontraron diferencias significativas entre formulaciones pero el tratamiento de formulación A, 4 °C fue estadísticamente igual a los tratamientos de la formulación B.

Comparando esta información con la información proporcionada por los cuadros 6 y 8, se puede concluir que el tratamiento de la formulación A, -10 °C reportó un color café claro y una dulzura entre baja e intermedia. Esto indica que el consumidor potencial prefiere un dulce de leche con estas características. En cuanto al color, los resultados con respaldados por la evaluación física del Colorflex HunterL*a*b* que detectó un valor de 53.4 para *L* que indican la claridad o aproximación al color blanco del color en el tratamiento formulación A, -10 °C. Asimismo, este tratamiento presentó los menores valores pasa cantidad y tamaño de partícula. Esto indica que fue el que tuvo menos cristalización de lactosa.

Cuadro 9. Aceptación general del dulce de leche*

Tratamiento	Media	
A, -10°C	3.81 ± 0.77	A
A, 4°C	3.57 ± 0.82	AB
B, -10°C	3.48 ± 0.91	B
B, 4°C	3.45 ± 0.82	B

*Medias con diferente letra son significativamente diferentes (P<0.05).

¹Comunicación personal.

4.2 ANÁLISIS FÍSICOS

4.2.1 Viscosidad

Al evaluar la viscosidad de las 4 muestras de dulce de leche se observó que todas las muestras tuvieron el mismo comportamiento a medida se aumentaban las RPM. La menor RPM utilizada fue de 20 y a este valor fue que las muestras presentaron la mayor viscosidad en los 4 tratamientos. La mayor RPM fue de 120 y los 4 tratamientos reportaron los menores valores de viscosidad. Se puede concluir con la información obtenida que el dulce de leche es un producto que va perdiendo viscosidad a medida aumenta la aplicación de un esfuerzo que en este caso fueron las RPM. Según Clara y colaboradores (1991), el dulce de leche presenta las características de un fluido pseudoplástico y tixotrópico y el dulce de leche se ajusta más al modelo Herschel-Bulkley de acuerdo a los reogramas de esfuerzo y velocidad de cizalla. El cuadro 8 muestra los valores obtenidos por cada tratamiento a las dos RPM.

Cuadro 10. Valores de viscosidad a 20 y 120 RPM del dulce de leche

Tratamiento	20 RPM	120 RPM	20 RPM*
	Pa*s	Pa*s	Pa*s
Formulación A, 4°C	15	5.6	6
Formulación A, -10°C	15.2	5.36	7.8
Formulación B, 4°C	20.4	17.7	27.8
Formulación B, -10°C	26.4	18.78	30

* Los segundos datos de 20 RPM fueron tomados después de haber alcanzado las 120 RPM. Se observó que fueron menores que los iniciales a las mismas RPM.

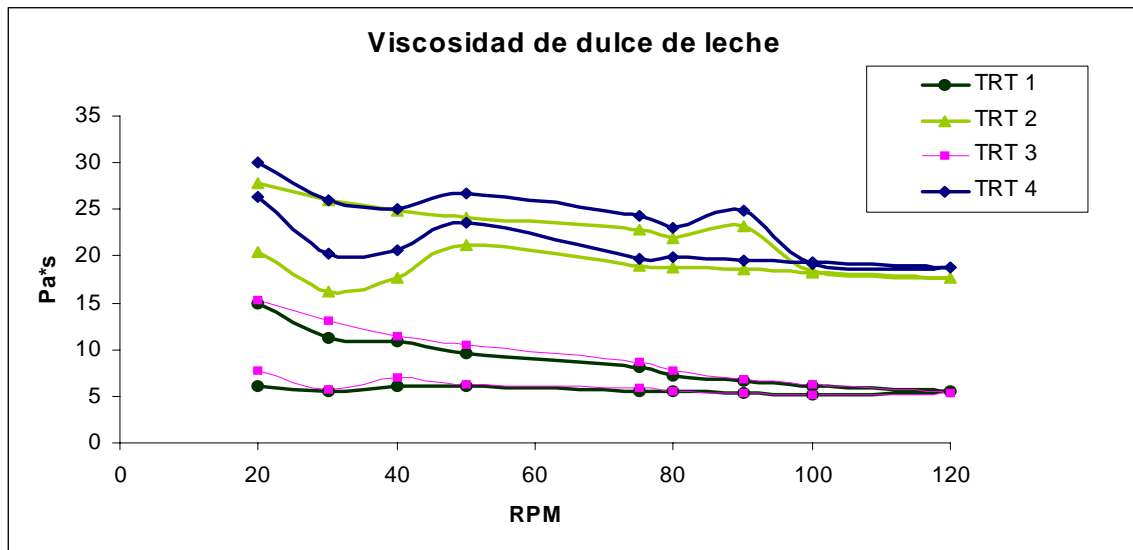


Figura 4. Viscosidad de dulce de leche.

De acuerdo con la información de la Figura 4 y los resultados de tamaño de partícula de cada tratamiento, se observa que existe una relación directa entre estas dos características.

A menor tamaño de partícula se registran menores valores para viscosidad. Esto es evidente en los tratamientos formulación A, 4°C y formulación A, -10 °C. Lo contrario sucede con los tratamientos de la formulación B, que registran mayores valores de tamaño de partícula y mayores valores de viscosidad.

4.3 ANÁLISIS QUÍMICOS

4.3.1 Análisis Proximal

A partir de los cálculos hechos y los resultados obtenidos de cada una de las pruebas de cuantificación de humedad, cenizas, proteína, grasa y carbohidratos de las muestras de los dos tratamientos que presentaron menor cristalización, se obtuvo el siguiente cuadro con la composición química de los tratamientos de la formulación A. Los grados Brix fueron los mismos para cada tipo de dulce de leche. Se alcanzaron 72 °Brix al finalizar la concentración de las mezclas de dulce de leche.

Cuadro 11. Composición Química del dulce de leche de formulación A

Componente	Formulación A, 4°C	Formulación A, -10°C
Humedad	31.1496%	31.0805%
Proteína	9.080%	10.2946%
Grasa	10.9%	11.46%
Carbohidratos	46.8648%	44.7181%
Cenizas	2.0054%	2.4465%

5. CONCLUSIONES

- La combinación entre la formulación A, que incluyó crema al 40% de grasa, azúcar, LDP y agua, y la temperatura $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ fue la que presentó menor cristalización y un color más claro.
- Los tratamientos de la formulación A (crema al 40% de grasa, azúcar, LDP y agua) fueron los mejores porque presentaron menor cristalización y mayor aceptación general.
- La formulación B, que incluyó leche entera al 3.6% de grasa y azúcar, en combinación con $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ generó el color más oscuro entre todos los tratamientos.
- La dulzura del dulce de leche fue mayor en los tratamientos de la formulación A (crema al 40% de grasa, azúcar, LDP y agua) enfriados a $4\text{ }^{\circ}\text{C}$.

6. RECOMENDACIONES

- Evaluar la vida útil del dulce de leche almacenado a 4°C por dos meses.
- Comparar la siembra de cristales de lactosa con el uso de lactasa en dulce de leche para ver cual es más eficaz.

7. BIBLIOGRAFÍA

Agroinformacion, 2004. Leche condensada. En línea. Consultado en: 7 de octubre de 2006. Disponible en: <http://www.agroinformacion.com/leercontenidos.aspx?articulo=520>

AOAC . 2005. Official Methods of Análisis Internacional. 18th Edition. USA.

Clara, O. Pascual, E. Suarez, C. 1991. The Effect of pH and Temperature on the Rheological Behavior of Dulce de Leche, a typical dairy Argentine product. J Dairy Sci 74:1497-1502.

Código Alimentario Argentino. 2003. Capítulo VIII Alimentos Lácteos. Art. 553-642. Buenos Aires, Argentina.

Cousin, M. 2006. Food Fermentations. Enzymes produced by microorganisms. Conferencia.

Edelsten, D., Christiansen, P.S., Meersohn, M., y Jensen, P. 1984. Dulce de leche- shelf life and crystallization. Maelkeritidende 97 (11): 274.

Fenema, O.R. 1985. Food Chemistry. 2nd ed. New York. Marcel Dekker Inc. 991 p.

González, C. 2004. Relación entre la percepción del *6-n-propil-tiouracilo* (PROP) y la diabetes en Costa Rica y Honduras. Tesis Ing. Agroindustrial. Honduras. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. 44 p.

Hough, G., Martinez, E. y Contarini, A. 1990. Sensory and objective measurement of sandiness in Dulce de Leche, a typical Argentine dairy product. J. Dairy Sci. 72:604.

Hunziker, O.F. 1946. Cap. 6 *en* Condensed milk and milk powder. Publicado por el autor. La Grange, IL.482 p.

Jennes, S. y Patton, S. 1959. Principles of Dairy Chemistry. John Wiley & Sons Inc., 446 p.

Konkel, F. Rodrigues de Oliveira, S., Silva, D. y Dimatte, I. 2004. Sensory evaluation of *doce de leite* with different concentrations of starch. Cienc. Tecnol. Aliment. Vol. 24 no. 2. Campinas. Brasil.

Martinez, E., Hough, G. y Contarini, A. 1990. Sandiness Prevention in Dulce de Leche by Seeding with Lactose Microcrystals. *J Dairy Sci* 73:612-616

Moro, O. y Hough, G. 1985. Total solids and density measurements of Dulce de Leche, a typical Argentine dairy product. *J Dairy Sci.* 68:521

Sabioni, J., Pinheiro, J., Silva, O., Chaves, B. y Borges, A. 1984. Control of lactose crystallization in Dulce de Leche by beta-D-galactosidase activity from permeabilized *Kluyveromyces lactis* cells. *J Dairy Sci.* 67: 2210.

Sepúlveda, S. y Villacura, D. 2004. Lactosa, elixir de la leche. En línea. Consultado el 7 octubre del 2006. Disponible en:

<http://botikario.webcindario.com/apuntes/botanik2/lactosa.htm>

Smith, J. 1991. Cap. 6 *en* Food Additive Use Handbook. New York. Blackie & Son Ltd. 286 p.

Walstra, P., Geurts, T., Normen, A., Jellema, A. y van Boekel, M. 1999. Dairy Technology. New York. Marcel Dekker Inc. 727 p.

Zunino, A. 1998. Dulce de Leche, aspectos básicos para su adecuada elaboración. Publicación Técnica del Depto. De Fiscalización de Industrias Lácteas. Buenos Aires, Argentina. 28 p.

8. ANEXOS

ANEXO 1. FORMATO DE EVALUACIÓN SENSORIAL

Hoja de Evaluación Sensorial
Dulce de Leche

Nombre _____

Fecha _____

No. Muestra _____

INSTRUCCIONES

Encierre en un círculo la evaluación que se merece cada muestra analizada en cada uno de sus atributos sensoriales.

Cantidad de Partículas				
1	2	3	4	5
Nada	Muy poco	Poco	Moderado	Bastante
Tamaño de Partícula				
1	2	3	4	5
Muy pequeño	Pequeño	Mediano	Grande	Muy Grande
Intensidad del Color				
1	2	3	4	5
Café pálido	Café claro	Café	Café Opaco	Café Oscuro
Dulzura				
1	2	3	4	5
Simple	Poco Dulce	Dulce	Bastante Dulce	Demasiado Dulce
Aceptación general del producto				
1	2	3	4	5
Me disgusta mucho	No me gusta	No me gusta ni me disgusta	Me gusta	Me gusta mucho

Comentarios _____

ANEXO 2. ANÁLISIS DE COLOR

Diferencias de color entre tratamientos para valores L* a* b* en muestras de dulce de leche evaluadas con Colorflex Hunter L*a*b*¹.

Muestra	Valor L	Valor a	Valor b
T1R1	51.44	10.98	20.28
T1R2	51.42	10.98	20.28
T1R3	51.41	10.98	20.28
	154.27	32.94	60.84
<i>Promedios</i>	<i>51.4233333</i>	<i>10.98</i>	<i>20.28</i>
T2R1	31.94	11.75	14.82
T2R2	31.7	11.73	14.8
T2R3	31.69	11.72	14.72
	95.33	35.2	44.34
<i>Promedios</i>	<i>31.7766667</i>	<i>11.7333333</i>	<i>14.78</i>
T3R1	53.42	10.21	19.83
T3R2	53.4	10.23	19.86
T3R3	53.4	10.22	19.86
	160.22	30.66	59.55
<i>Promedios</i>	<i>53.4066667</i>	<i>10.22</i>	<i>19.85</i>
T4R1	35.49	11.01	15.5
T4R2	35.87	11.15	15.55
T4R3	35.32	11.36	15.53
	106.68	33.52	46.58
<i>Promedios</i>	<i>35.56</i>	<i>11.1733333</i>	<i>15.5266667</i>

¹ Colorflex Hunter L a* b*. Modelo 45/0, Reston, VA. USA

ANEXO 3. ANÁLISIS QUÍMICOS

A. Cálculos de % de humedad.

Crisol					<i>i</i>	<i>f</i>		
#	peso (g)	Muestra	Peso inicial (g)	Peso final (g)				% humedad
44	47.4734	T1R1	51.0203	49.9221	3.5469	2.4487	1.0982	30.96224872
28	51.8309	T1R2	54.8832	53.9267	3.0523	2.0958	0.9565	31.33702454
								62.29927326
% humedad promedio T1								31.1496366
18	49.1884	T3R1	53.6324	52.2743	4.444	3.0859	1.3581	30.56030603
9	46.7472	T3R2	50.7819	49.5069	4.0347	2.7597	1.275	31.60086252
								62.16116855
% humedad promedio T3								31.0805843

B. Cálculos de % de cenizas.

Crisol					<i>i</i>	<i>f</i>		
#	peso (g)	Muestra	Peso inicial (g)	Peso final (g)				% cenizas
44	47.4734	T1R1	51.0203	47.562	3.5469	0.0886	1.04894404	2.497955962
28	51.8309	T1R2	54.8832	51.9073	3.0523	0.0764	2.9759	2.503030502
								5.000986463
% cenizas promedio								2.500493232
18	49.1884	T3R1	53.6324	49.2967	4.444	0.1083	4.3357	2.436993699
9	46.7472	T3R2	50.7819	46.8463	4.0347	0.0991	3.9356	2.45619253
								4.893186229
% cenizas promedio								2.446593115

C. Cálculos de % de proteína.

							%N	% proteína
Muestra	Balón	Peso Muestra (g)	Erlenmeyer	mL HCl	mL HCl-0.05	(mL HCl-0.05)*0.1365	J4/peso muestra	K4 *6.38
T1R1	36	0.1823	nsA	2	1.95	0.266175	1.460093253	9.31539495
T1R2	21	0.192	mvA	2	1.95	0.266175	1.386328125	8.84477344
								18.1601684
							% proteína promedio	9.0800842
T3R1	18	0.1956	nsB	2.4	2.35	0.320775	1.639953988	10.4629064
T3R2	2	0.1849	mvB	2.2	2.15	0.293475	1.587209302	10.1263953
								20.5893018
							% proteína promedio	10.2946509

D. Cálculos de % de grasa.

Tratamientos	%
T1R1	10.5
T1R2	11.3
	21.8
% de grasa promedio	10.9
T3R1	12
T3R2	10.92
	22.92
% de grasa promedio	11.46