



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Evaluación y aplicación de un hidrolizado de lactosa como edulcorante en una bebida láctea fermentada y un dulce de leche

Sandra Liliana Vargas Díaz

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ciencias Agrarias

Medellín, Colombia

2017

Evaluación y aplicación de un hidrolizado de lactosa como edulcorante en una bebida láctea fermentada y un dulce de leche

Sandra Liliana Vargas Díaz

Tesis o trabajo de investigación presentada(o) como requisito parcial para optar al título de:

Magister en Ciencia y Tecnología de Alimentos

Director (a):

JOSÉ URIEL SEPÚLVEDA VALENCIA MSc.

Codirector (a):

EDINSON ELIECER TORO BEJARANO MSc.

Línea de Investigación:

Valoración del suero

Grupo de Investigación:

Grupo de Investigación Ciencia y Tecnología de Alimentos

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ciencias Agrarias

Medellín, Colombia

2017

*“Convendría sentir menos curiosidad por las
personas y más por las ideas”.*

Marie Curie

Agradecimientos

Muchas personas hicieron posible el desarrollo de este proyecto y quiero agradecerles profundamente, a Auralac por su importante donación del lactosuero, el cual sirvió de materia prima para este proyecto, a Colciencias por el financiamiento del proyecto, ya que gracias a su ayuda se pudo desarrollar el proyecto de manera exitosa.

A mi director de tesis José Uriel Sepúlveda, quien estuvo en todo este proceso dirigiendo cada etapa y transfiriéndome su conocimiento.

Me nace mencionar a los operarios del Laboratorio de productos lácteos: Jorge Atehortua, Laura Díaz, Felipe Piedrahita, Giovany, Omar Loaiza y Sindy Agudelo, ya que con su amabilidad y con sus ganas de servir hicieron parte de la elaboración de los productos pertenecientes a este proyecto.

Y sin dejar de lado debo agradecer a mi familia porque más que acompañarme, me apoyaron, teniendo fe en mí. Principalmente a mi Madre Elena Díaz y a mi esposo Mauricio Goez, sin su apoyo este sueño no se haría realidad. Había momentos en que me sentía cansada y ellos estuvieron allí para animarme. No solo el agradecimiento es para ellos, también para mis amigos, aquí incluyo los compañeros de Maestría, por que más que compañerismo se formó una amistad.

Resumen

Este estudio tuvo como objetivo analizar la influencia de la adición de un Sirope o jarabe Glucosa-Galactosa (SGG) obtenido a partir de lactosuero dulce, el cual posee un poder edulcorante de 0.5, sobre las características fisicoquímicas y sensoriales de un yogur batido durante 28 días de almacenamiento bajo refrigeración y de un dulce de leche durante 60 días en condiciones ambientales. Se prepararon cinco formulaciones de yogur, variando en la cantidad de SGG (0%, 25%, 50%, 75% y 100%) respecto al dulzor. En el caso del dulce de leche se realizaron cuatro formulaciones respecto a la cantidad de SGG (0%, 10%, 20% y 30%). La incorporación del SGG afectó positivamente a varias características del yogur como el color, la viscosidad, el contenido de minerales y la aceptación sensorial a excepción de la inclusión de 100%. Por su parte el dulce de leche también presentó una mejora en el color, la textura, el rendimiento, la humedad y la aceptación sensorial. La incorporación del sirope glucosa- galactosa permite obtener productos con una calidad fisicoquímica y sensorial satisfactoria y un valor agregado en el mercado debido a su aporte en la reducción de la contaminación ambiental.

Palabras clave: Edulcorantes, suero lácteo, yogur, dulce de leche, viscosidad, textura, análisis sensorial.

Abstract

The aim of this research was analyzed the influence of the addition of a glucose-galactose syrup (SGG) obtained from sweet whey, which SGG has a sweetening power of 0.5, on the physicochemical and sensorial characteristics of a yogurt shaken during 28 days of Storage under refrigeration and a dulce de leche for 60 days under ambient conditions. Five formulations of yogurt was made, each formulations were modified in the amount of SGG (0%, 25%, 50%,75% and 100%) relative to the sweetness, were prepared. In the case of dulce de leche, four formulations were made with respect to the amount of SGG (0%, 10%, 20% and 30%). The incorporation of SGG positively was affected several characteristics of yogurt such as color, viscosity, Mineral content and sensory acceptance with the exception of 100% inclusion. In addition, the caramel was obtained positive results in characteristics such as Color, texture, yield, moisture and sensory acceptance. The results of this study showed a successful incorporation of glucose-galactose syrup as ingredients of two new dairy products with satisfactory physicochemical and sensory quality and added value in the market due to their contribution in the environmental field.

Keywords: Sweeteners, whey, yogurt, caramel, viscosity, texture, sensory analysis.

Contenido

1. Marco teórico.....	16
1.1. Lactosuero	16
1.1.1 Lactosuero como contaminante	17
1.1.2 Aplicaciones del lactosuero.....	19
1.2. Tecnología de Membranas.....	19
1.2.1. Aplicaciones de la tecnología de membranas	21
1.3. Lactosa	22
1.3.1. Solubilidad de la lactosa	23
1.3.2. Aplicaciones de la Lactosa	24
1.3.3. Hidrólisis de la Lactosa.	24
1.3.4. Sirope Glucosa Galactosa	25
1.4. Productos lácteos.....	26
1.4.1. Bebida láctea fermentada tipo yogur.....	26
1.4.2. Dulce de leche.....	29
1.5. Edulcorantes	32
1.5.1. Edulcorantes usados en bebidas lácteas fermentadas.	33
1.5.2. Edulcorantes usados en dulce de leche.....	34
2. Efecto de la adición de un sirope glucosa- galactosa obtenido de lactosuero dulce, sobre las propiedades fisicoquímicas, sensoriales y de estabilidad de un yogur entero.	36
2.1. Introducción.....	37
2.2. Materiales y métodos	38
2.2.1. Obtención y caracterización del Sirope glucosa-galactosa.	38
2.2.2. Elaboración del yogur.....	39
2.2.3. Análisis fisicoquímicos en el Yogur	40
2.2.4. Análisis Microbiológico en el yogur	41
2.2.5. Análisis sensorial en el yogur.....	41
2.2.6. Estabilidad del Yogur.....	42
2.2.7. Análisis estadístico del yogur	42
2.3. Resultados y discusiones	43
2.3.1. Caracterización de la materia prima.....	43
2.3.2. Propiedades Fisicoquímicas del yogur.....	44
2.3.3. Propiedades microbiológicas del yogur.....	48
2.3.4. Evaluación sensorial del yogur	48
2.3.5. Estabilidad del yogur	49
2.4. Conclusiones.....	54

3. Efecto de la adición de un sirope glucosa- galactosa obtenido de lactosuero dulce, sobre las propiedades fisicoquímicas, sensoriales y de estabilidad de un dulce de leche.	58
3.1. Introducción	59
3.2. Materiales y métodos.....	61
3.2.1. Obtención del concentrado hidrolizado de lactosa (sirope Glucosa-Galactosa).....	61
3.2.2. Elaboración del dulce de leche.....	62
3.2.3. Análisis fisicoquímicos.....	63
3.2.4. Análisis microbiológico en el dulce de leche.....	63
3.2.5. Evaluación sensorial del dulce de leche	64
3.2.6. Estabilidad del producto	64
3.2.7. Análisis estadístico del dulce de leche	64
3.3. Resultados y discusiones.....	65
3.3.1. Caracterización de la materia prima	65
3.3.2. Propiedades Fisicoquímicas del dulce de leche	66
3.3.3. Propiedades microbiológicas del dulce de leche	70
3.3.4. Evaluación sensorial del dulce de leche	70
3.3.5. Estabilidad del dulce de leche.	72
3.4. Conclusiones	76
4. Conclusiones y recomendaciones	78
4.1. Conclusiones	78
4.2. Recomendaciones	79

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1-1 Conversiones del lactosuero.....	18
Figura 1-2 Principio de la filtración tangencial (en tubo).....	20
Figura 1-3 Separación de componentes por tipo de membrana.....	21
Figura 1-4 Composición de la lactosa.....	22
Figura 1-5 Hidrolisis de la lactosa por vía enzimática	25
Figura 1-6 Vía de Embden-Meyerhoff producción de ácido láctico.	28
Figura 2-1 Comportamiento de los parámetros fisicoquímicos del yogur con diferente concentraciones de sirope glucosa-galactosa (a) acidez, (b) pH, (c) Sólidos solubles, (d) Humedad y (e) densidad.	¡Error! Marcador no definido.
Figura 2-2 Pruebas sensoriales para el yogur (a) Prueba de intensidades para los diferentes tratamientos de los atributos: dulce, ácido, aroma, homogeneidad y fluidez (b) Prueba de aceptación general de consumidores para las diferentes inclusiones de SGG.	49
Figura 2-3 Valores medios de acidez (a), pH (b), índice de sinéresis (c), densidad (d), n-índice de Fluidez (e) y k-índice de consistencia (f) de yogur endulzado con SGG a diferentes concentraciones durante 28 días de almacenamiento en refrigeración.	50
Figura 3-1 Comportamiento de los parámetros fisicoquímicos de dulce de leche con diferente contenidos de sirope glucosa-galactosa. (a) pH, (b) sólidos solubles y (c) humedad.	66
Figura 3-2 Comportamiento de los parámetros del color sobre el dulce de leche con diferente contenido de sirope glucosa – galactosa. (a) L*, (b) a*, (c) b*..	¡Error! Marcador no definido.
Figura 3-3 Pruebas sensoriales para el dulce de leche (a) Prueba de intensidades para los diferentes tratamientos de los atributos: Textura, color, aroma, cristalización y untabilidad (b) Prueba de aceptación general de consumidores para las diferentes inclusiones de SGG.....	71
Figura 3-4 Valores medios de pH (a), Viscosidad (b), Actividad de agua (c) y Humedad (d) de dulce de leche endulzado con SGG a diferentes concentraciones durante 60 días de almacenamiento bajo condiciones ambientales.....	72
Figura 3-5 Valores medios de Adhesividad (a), Dureza (b), Elasticidad (c), Gomosidad (d) y Cohesividad (e) del dulce de leche endulzado con SGG a diferentes concentraciones durante 60 días de almacenamiento bajo condiciones ambientales.....	74

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1-1 Composición del lactosuero dulce y ácido.....	17
Tabla 1-2 Propiedades físicas de la α – lactosa y β – lactosa	23
Tabla 1-3 Clasificación del dulce de leche, según la NTC 3757.	29
Tabla 1-4 Grado de dulzura para diferentes edulcorantes.....	32
Tabla 2-1 Formulación del yogur con las diferentes inclusiones SGG.....	40
Tabla 2-2 Parámetros fisicoquímicos del Sirope glucosa- Galactosa y Leche de vaca utilizada como materia prima para la preparación de yogur.....	43
Tabla 2-3 Parámetros fisicoquímicos de yogur con SGG en diferentes concentraciones.	46
Tabla 2-4 Parámetros de color del yogur adicionado con sirope glucosa-galactosa a diferentes concentraciones, durante 28 días de almacenamiento bajo refrigeración.	53
Tabla 3-1 Formulación del dulce de leche con diferentes inclusiones SGG.....	62
Tabla 3-2 Parámetros fisicoquímicos del Sirope glucosa- Galactosa y Leche de vaca utilizada como materia prima para la preparación de yogur.....	65
Tabla 3-3 Parámetros fisicoquímicos del dulce de leche con SGG en diferentes concentraciones.	68
Tabla 3-4 Parámetros de color del dulce de leche que contenía SGG a diferentes concentraciones, durante 28 días de almacenamiento refrigerado.....	75

Introducción

El lactosuero es el líquido que se obtiene después de la coagulación de las proteínas de la leche durante la producción de queso o caseinatos (Smithers, 2008). Contiene una serie de nutrientes importantes tales como lactosa (4.5-5 % p/v), proteínas séricas (0,6 a 0,8 % p/v), lípidos (0,4 a 0,5 % p/v) y sales minerales (8-10% de extracto seco) (Das, Sarkar, Sarkar, Bhattacharjee, & Bhattacharjee, 2016).

Durante la fabricación de queso por cada kilogramo producido, se obtienen 9L de lactosuero. Por consiguiente, las estimaciones de producción del lactosuero a nivel mundial se encuentran aproximadamente en 5 millones de toneladas por año (Lovato, *et al.*, 2017). En la actualidad, parte de este efluente es utilizado en producción de suero en polvo y en nutrición humana y animal. Otras aplicaciones se llevan a cabo en la industria farmacéutica, en la producción de bioetanol, ácido láctico, entre otros, en los cuales sólo se usa una cantidad mínima de lactosuero (Ramirez Navas, 2015)

Debido a la enorme producción y su alto contenido orgánico, este efluente presenta una demanda bioquímica de oxígeno (DBO) que varía de 30 a 50 g/L y una demanda química de oxígeno (DQO) de 60 a 80 g/L, por esto es considerado como fuente de contaminación para el medio ambiente (Das *et al.*, 2016), donde el mayor aporte contaminante lo proporciona la lactosa (Guerrero, *et al.*, 2003). Por su parte, la lactosa se encuentra en baja concentración en el lactosuero, por tanto para poder aprovecharla como un posible edulcorante es necesario acudir a diferentes tecnologías que tienen como fin separar y concentrar estos componentes para lograr su valorización. Entre la tecnología por filtración con membranas se encuentra la nanofiltración (NF), la cual ha dado la oportunidad de proporcionar un enfoque innovador sobre la utilización de suero de leche (Román, *et al.*, 2009), consiguiendo la recuperación y aprovechamiento de los nutrientes de alta calidad que contiene como la lactosa (Cassano, *et al.*, 2013).

Debido al creciente precio del azúcar hasta del 25% a nivel mundial (Alonso, Arcila, & Montenegro, 2017) y el alto consumo de esta materia prima en la industria alimentos, se hace necesario buscar alternativas para reemplazarla por otros edulcorantes, y así

reducir costos. La tecnología de filtración por membranas permite la concentración de la lactosa y posterior producción de edulcorantes que pueden ser incluidos en la formulación de derivados lácteos, siendo un desafío para los centro de investigación en el área conservar la calidad fisicoquímica, sensorial y nutricional del producto tradicional, aplicando estas nuevas tecnologías. Además, el consumo per cápita de las leches fermentadas y yogures ha aumentado en la última década (IDF. WORLD DAIRY SITUATION, 2009; Tamime & Robinson, 2006) debido a su valor nutricional y efectos beneficiosos sobre la salud del consumidor (Astrup, 2014; Kimoto-Nira, H, 2014). Adicional a esto, el dulce de leche en América Latina se ha elaborado y consumido de forma tradicional. Su consumo ha aumentado en un 40% desde la década de los 90' según La Dirección Nacional de la Industria Alimentaria en Argentina (SENATI, 2011). Impulsar estos productos adicionándoles materias primas innovadoras obtenidas de subproductos de la industria láctea y contribuir a la reducción del daño ambiental, es un reto para la todas las empresas en Colombia y en el mundo.

Con este trabajo de investigación se aplicó un concentrado de lactosa hidrolizada (Sirope glucosa-galactosa) obtenida de lactosuero previamente tratado por las tecnologías de membranas de nanofiltración y ultrafiltración, como edulcorante en la elaboración de una bebida láctea fermentada tipo yogur y un dulce de leche.

Objetivos

Objetivo General

Evaluar el efecto de la inclusión de un concentrado hidrolizado de lactosa, proveniente del lactosuero, como edulcorante sobre una bebida láctea fermentada y un dulce de leche

Objetivos específicos

Caracterizar las propiedades fisicoquímicas y sensoriales del concentrado hidrolizado de lactosa proveniente del lactosuero dulce.

Evaluar el efecto de los diferentes niveles de inclusión del concentrado hidrolizado de lactosa sobre las características fisicoquímicas, microbiológicas, sensoriales y de estabilidad de un dulce de leche.

Evaluar el efecto de la adición en diferentes porcentajes del concentrado hidrolizado de lactosa, sobre las características fisicoquímicas, microbiológicas, sensoriales y de estabilidad de una bebida láctea fermentada

1. Marco teórico

1.1. Lactosuero

Se define como un líquido amarillento que se obtiene durante la elaboración de diferentes productos lácteos, resultante de la separación de la caseína y la grasa (CODEX ALIMENTARIUS, 2011). Como efluente representa un 90% del volumen total de la leche tratada, en consecuencia, este subproducto de la elaboración de queso se genera en cantidades altas, sin embargo, contiene nutrientes de alto valor biológico que no son aprovechados en Colombia, inclusive es considerado un desecho del proceso en la industria láctea, por lo que frecuentemente se elimina directamente al suelo o al drenaje, lo que genera contaminación para el medio ambiente (Jeličić, Božanić, & Tratnik, 2008). Por tal razón, la industria láctea es una de las más contaminantes no sólo en términos del alto volumen de efluentes, sino también por sus características. (Guerrero, et al, 2003)

El lactosuero posee nutrientes de alta calidad, por lo menos el 50% en peso de los componentes de la leche quedan suspendidos en él (Londoño, 2007). Contiene un poco más del 25% de las proteínas de la leche (β - lactoglobulina, α -lactoalbúmina, péptidos, albúmina sérica, inmunoglobulinas, lactoferrina, lactoperoxidasa y glicomacropéptidos), aproximadamente el 8 % de la materia grasa y alrededor del 95% de la lactosa de la leche usada en la elaboración de la cuajada.

Todos los lactosueros difieren en su composición, según la leche usada en la quesería, el contenido de humedad del queso y de una manera significativa del pH al que este se separa de la cuajada. Existen dos tipos de lactosuero, dependiendo principalmente de la forma de la separación de la caseína: el primero denominado dulce, es obtenido

mediante una coagulación enzimática a pH 6.5. El segundo llamado ácido, resulta del proceso de fermentación o adición de ácidos orgánicos o minerales a un pH \leq 5.0 (Parra, 2009). Ambos pueden ser utilizados en la producción de bebidas, helados, confitería, panadería, alimentos infantiles, productos farmacéuticos, etc.

En la Tabla 1-1, se detalla la composición nutricional del lactosuero dulce y ácido, en donde se observa que el dulce tiene mayor contenido de lactosa y proteína respecto al ácido.

Tabla 1-1 Composición del lactosuero dulce y ácido

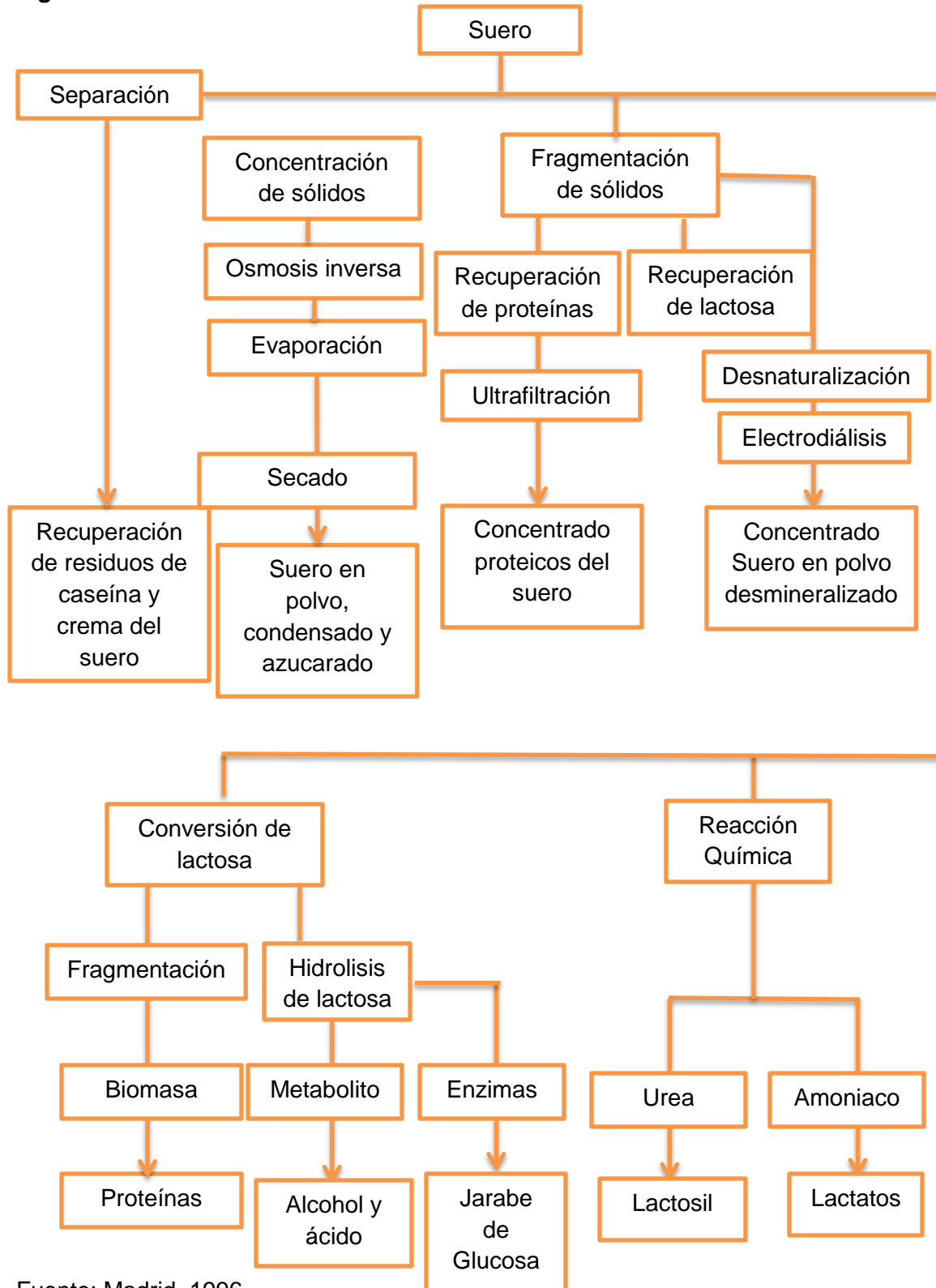
Componentes	Lactosuero dulce (g/L)	Lactosuero ácido (g/L)
Sólidos totales	63.0-70.0	63.0-70.0
Lactosa	46.0-52.0	44.0-46.0
Proteína	6.0-10.0	6.0-8.0
Calcio	0.4-0.6	1.2-1.6
Fosfatos	1.0-3.0	2.0-4.5
Lactato	2	6.4
Cloruros	1.1	1.1

Fuente: Hernández (2014)

1.1.1 Lactosuero como contaminante

El suero comúnmente ha sido tratado como un flujo de residuos. Por lo tanto, la eliminación de este representa un grave problema ambiental por su alto volumen y contenido de materia orgánica que causa valores altos de DBO y DQO (DBO: 30.000-50.000 ppm, DQO: 60,000-80,000 ppm) debido principalmente a la presencia de lactosa (Das, Roy, Bhattacharjee, Chakraborty, & Bhattacharjee, 2015). La descomposición del suero es tóxica para el medio ambiente, ya que promueve el crecimiento de algas, hongos y bacterias, las cuales consumen el oxígeno de los arroyos y ríos, dando como resultado condiciones anaeróbicas y conduciendo a la destrucción de la vida acuática. Por tal razón la eliminación del suero ha sido una preocupación en todo el mundo. Debido a esto, se han hecho intentos por los investigadores para recuperar y reutilizar las biomoléculas presentes allí. Para el año 2010, Colombia registró en los departamentos de Antioquia y Cundinamarca un total de 10.000.000 kg de queso comercializado, donde se obtuvieron aproximadamente 90.000.000 L de este efluente. (AGRONET, 2014a)

Figura 1-1 Conversiones del lactosuero.



Fuente: Madrid, 1996

Los costos por el vertimiento de lactosuero ha aumentado, debido a que la normatividad medioambiental es más estricta, esto conlleva a buscar soluciones para optimizar al máximo los procesos, adaptándose a estas nuevas exigencias y así poder mantener costos y la competitividad. Se abre entonces la posibilidad de utilizar y aprovechar los subproductos obtenidos facilitando la protección de los recursos hídricos y la posibilidad de un ahorro económico.

1.1.2 Aplicaciones del lactosuero

El lactosuero contiene componentes como proteínas séricas, lactosa y minerales que tienen una amplia aplicación en la industria alimentaria (quesos, bebidas, sopas, preparados dietéticos e infantiles) y farmacéutica, generando beneficios importantes para el sector quesero, al revalorizar un subproducto que afecta en gran medida el medio ambiente (B. Uribe, 2005)

Desde finales del siglo IX se han elaborado diferentes bebidas a base de lactosuero, donde se han desarrollado una gran variedad con los diferentes tipo de suero (ácido y dulce), entre esta variedad se puede encontrar bebidas bajas en proteínas o preparadas, entre otros (Jelicic, Božani, & Tratnik, 2008; Vivas, Morales, & Otálvaro, 2017). En la Figura 1-1 se resumen algunas aplicaciones del lactosuero y los diferentes procesos realizados para obtener una variedad de productos como se destaca el jarabe de glucosa y galactosa, ácido láctico, proteínas y suero en polvo.

1.2. Tecnología de Membranas

Una membrana es una película delgada (fina) que separa dos fases y actúa como una barrera selectiva al transporte de materia, debido a un gradiente de potencial químico entre las dos fases situadas a ambos lados de la misma. A esta le entra un flujo de alimento y salen dos flujos, permeado y concentrado. La corriente de permeado está compuesta por las especies que pasan a través de la membrana y el concentrado es la corriente formada por las especies que no logran atravesarla. (B. Uribe, 2005)

El propósito principal de esas técnicas de filtración de líquido es separar las especies en función de sus tamaños. (Atra, Vatai, Bekassy-Molnar, & Balint, 2005)

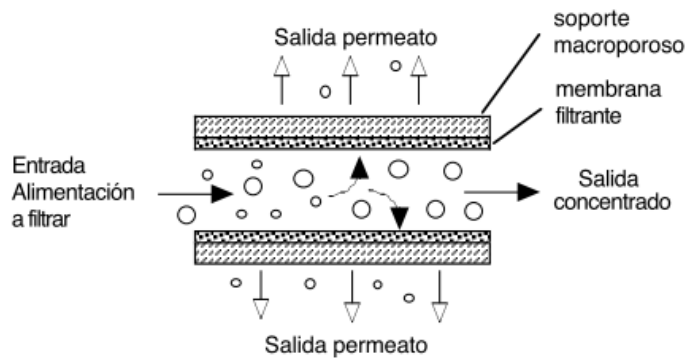
El mecanismo de separación depende de alguna propiedad específica de los componentes que serán separados selectivamente por la membrana. Básicamente hay tres mecanismos de separación:

1. Debido a grandes diferencias de tamaño (mecanismo de cribado). En este tipo de separación se pueden clasificar las operaciones de membrana en: microfiltración, ultrafiltración y en parte nanofiltración. (Cassano et al., 2013)

2. Basada en las diferencias de solubilidad y difusividad de los materiales de las membranas (mecanismo de disolución difusión). En este tipo de separación están los procesos de ósmosis inversa y nanofiltración.

3. Establecida por las diferencias de carga de las especies a separar (efecto Donnan), característico de membranas de nanofiltración.

Figura 1-2 Principio de la filtración tangencial (en tubo)



Los materiales de las membranas pueden ser orgánicos (materiales poliméricos como polisulfonas, polietersulfonas, polivinil alcohol, acetatos de celulosa y derivados, poliacrilonitrilo, y poliamidas aromáticas) e inorgánicos (óxidos, carburos de aluminio, circonio, titanio, entre otros). Los materiales orgánicos a partir de los que se fabrican las membranas son esencialmente hidrofílicos; es decir, buena afinidad del material de membrana con el agua. (Baldasso, Barros, & Tessaro, 2011)

Los diferentes tipos de membranas son específicas para separar los diferentes compuestos. La microfiltración por ejemplo se utiliza para retener microorganismos tales

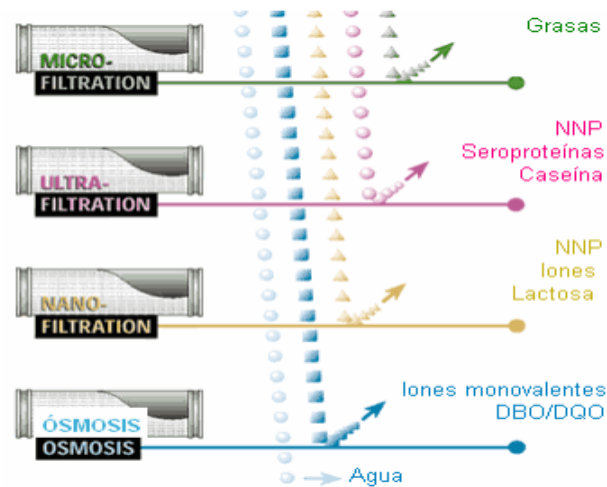
como: hongos, parásitos y bacterias. La ultrafiltración tiene la capacidad de concentrar moléculas como las proteínas, entre ellas podemos encontrar las la beta lactoalbúminas, alfa lactoalbúminas, lactoferrinas, entre otros. La nanofiltración es capaz de extraer las moléculas de los carbohidratos como la lactosa.

1.2.1. Aplicaciones de la tecnología de membranas

La industria láctea es la que más ha fomentado el uso de membranas de UF dentro de sus procesos, principalmente en la fabricación del queso para la obtención de concentrados proteicos, etc. (Baldasso et al., 2011)

El uso de la nanofiltración para concentrar compuestos funcionales a partir de corrientes acuosas es un área de creciente interés (Cassano et al., 2013), debido a que puede funcionar bajo condiciones suaves de temperatura, presión y tensión de cizallamiento y por lo tanto la actividad biológica y las propiedades del producto original se conservan, lo que hace que el proceso de concentración de suero de leche sea económico. Además, no se requiere la extracción con disolventes (Conidi, Cassano, & Drioli, 2011).

Figura 1-3 Separación de componentes por tipo de membrana



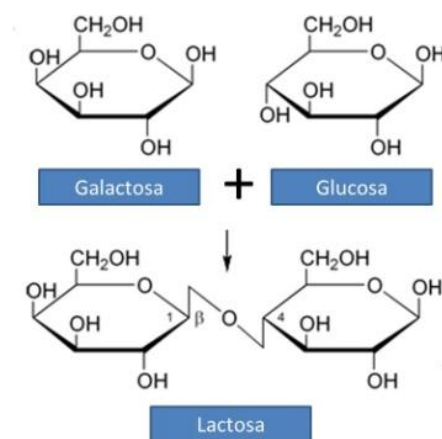
El suero era utilizado para la alimentación animal, incluso en algunos países donde las tecnologías de membrana son demasiado costosas y la regulación ambiental no es muy estricta, siguen teniendo este uso o son vertidos sin tratamiento previo. Las tecnologías de membrana permiten que las proteínas y la lactosa presentes en estos vertidos, se

puedan separar de los demás componentes y aprovecharlos nuevamente. Estos pueden ser utilizados en la producción de bebidas, helados, confitería, alimentos infantiles, productos farmacéuticos, etc.

1.3. Lactosa

Es un azúcar que está presente en todas las leches de los mamíferos: vaca, cabra, oveja y en la humana, y que también puede encontrarse en muchos alimentos derivados de la leche, adicionalmente es el principal componente del lactosuero. Es el llamado azúcar de la leche, (C_{12}, H_{22}, O_{11}) es un disacárido natural compuesto de glucosa y galactosa (Figura 1-4). Existe bajo dos formas isómeras: α y β , que se diferencian estructuralmente en la posición del grupo hidroxilo en el carbono anomérico de la glucosa, sin embargo, difieren apreciablemente en sus propiedades físicas (Tabla 1-2), lo que conduce a que tengan distintas aplicaciones (Kreczmann, Alonso, et al., 2015). Además, el anómero β es aproximadamente siete veces más soluble que el anómero α a 20 ° C, pero la solubilidad de este último es altamente dependiente de la temperatura, de modo que a 93,5 ° C se hace más soluble que el anómero β (Illanes, 2016)

Figura 1-4 Composición de la lactosa



La lactosa en estado sólido puede existir en estado cristalino y esta puede encontrarse en diferentes formas. Las más conocidas son la α y β . También existen dos formas de α -lactosa anhidra cristalina, la forma estable y la inestable (higroscópica). Además se conoce la existencia de una forma cristalina llamada mixta, que contiene tanto la forma α como la β en una especial red cristalina. La cristalinidad es el resultado de una

disposición altamente ordenada de las moléculas de lactosa (Kreczmann, Alba, et al., 2015).

Usualmente para su producción a partir de lactosuero se realizan diferentes procesos sobre el suero lácteo tales como la concentración, en el cual se incluyen los procesos de osmosis inversa y nano filtración, posteriormente se realiza una cristalización por enfriamiento, una recuperación por decantación, un secado por medio de secadores de lecho fluidizado y finalmente una purificación que depende del uso final de este compuesto, ya sea para uso alimentario o farmacéutico, para este último se requiere un refinado (Illanes, 2016)

Tabla 1-2 Propiedades físicas de la α – lactosa y β – lactosa

	Unidades	α – lactosa	β - lactosa
Peso Molecular	Da	360.3	342.3
Punto de fusión	°C	202	252
Densidad	g/mL	1.545	1.59
Calor de disolución	J/g	-50.24	-9.62
Solubilidad en agua	g/100mL	7.4	50

Fuente: Kreczmann, *et al.* (2015)

1.3.1. Solubilidad de la lactosa

La temperatura es un factor determinante en la solubilidad de la lactosa en equilibrio, al incrementarla ésta es determinada por la velocidad de mutarrotación (velocidad a la cual la forma α se convierte en β al disolverse en agua) esto ocurre a una temperatura por debajo de los 93,5°C. Al sobre pasar esta temperatura, la solubilidad de la β -lactosa determina la solubilidad global, como se muestra en las siguientes ecuaciones.(Illanes, 2016)

$$\text{Solubilidad de lactosa Anhidra} = e^{2,389+0,028T} \text{ a } T < 93,5^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Solubilidad de lactosa Anhidra} = e^{3,569+0,028T} \text{ a } T > 93,5^{\circ}\text{C}$$

La α -lactosa anhidra se puede obtener como cristales estables e inestables; estos últimos se obtienen del calentamiento por encima de 100 °C en vacío, del α -lactosa hidratada, esta lactosa anhidra se hidrata nuevamente al contacto con humedad o el agua. La forma estable de la α -lactosa anhidra (no higroscópica), se obtiene por calentamiento en presencia de aire, a presiones entre 6 y 80 mmHg. Por otro lado la β -lactosa anhidra se obtiene por cristalización a temperaturas superiores de 93,5 °C.

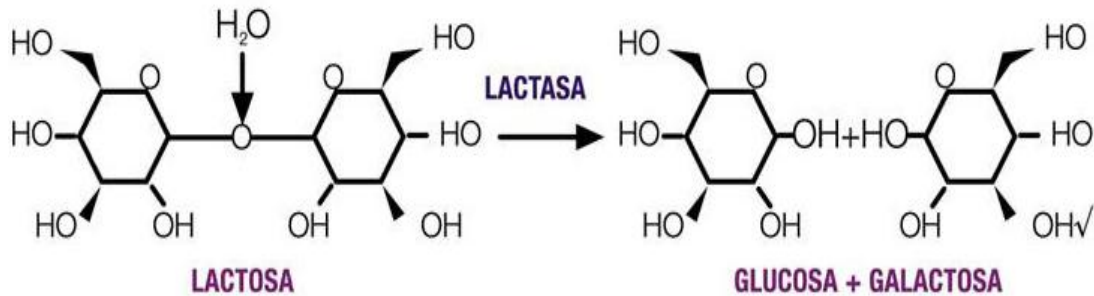
1.3.2. Aplicaciones de la Lactosa

La lactosa puede ser utilizada en las industrias de alimentos y medicamentos. Por ejemplo, ha sido utilizada como suplemento en fórmulas para bebés y como excipientes para los productos farmacéuticos, también contribuye al color y sabor de los productos de panadería y pastelería (Illanes, 2016). En comparación con otros carbohidratos, este disacárido tiene un bajo valor calórico, bajo índice glucémico, y baja cariogenicidad (Schaafsma, 2008).

El uso de este disacárido es bastante limitado por su baja solubilidad y la intolerancia de este compuesto en una parte significativa de la población mundial (Illanes, 2016). La hidrólisis enzimática de este carbohidrato es un proceso biotecnológico importante en la industria alimentaria debido a sus efectos potencialmente beneficiosos sobre la asimilación de los alimentos que contienen este compuesto, así como las posibles ventajas tecnológicas y ambientales de sus aplicaciones industriales (Harju, Kallioinen, & Tossavainen, 2012).

1.3.3. Hidrólisis de la Lactosa.

La transformación de la lactosa en glucosa y galactosa es catalizada por enzimas llamadas β -galactosidasas (Figura 1-5) que se encuentran en animales, plantas y microorganismos. Sin embargo, en la industria, sólo las enzimas procedentes de fuentes microbianas se utilizan para este proceso biotecnológico (Das *et al.*, 2015). La lactasa (galactosidasa; EC 3.2.1.23) es una enzima comercial derivada de *Kluyveromyces lactis* y *Aspergillus oryzae* que se utiliza en la industria alimentaria para reducir la lactosa del suero y leche fluida, para la producción de oligosacáridos prebióticos, y como un componente en el análisis de lactosa (Husain, *et al.*, 2011)

Figura 1-5 Hidrolisis de la lactosa por vía enzimática

Dos métodos se pueden aplicar para la hidrólisis en suero de leche y otros productos lácteos: la hidrólisis enzimática y la hidrólisis ácida. La primera presenta ventajas frente al segundo método, debido a que este proceso permite condiciones más suaves de pH y temperatura, y no causa malos sabores, olores y colores. Por lo contrario, el método ácido puede causar la desnaturalización de proteínas que pueden estar presentes en la solución de lactosa y la producción de subproductos indeseables (Şener, Kiliç Apar, & Özbek, 2006).

Básicamente existen dos métodos diferentes para el uso de la β -galactosidasa: la enzima soluble y la inmovilizada. La enzima soluble se utiliza para procesos por lotes, mientras que el sistema inmovilizado se presta para la operación continua. (Singh & Singh, 2012). La hidrólisis de la lactosa logra aumentar el poder edulcorante del sirope a fabricar, esto debido a que al romper la molécula de lactosa, la cual tiene un poder edulcorante de 0.15 (Illanes, 2016), se forman dos moléculas: una de glucosa (poder edulcorante de 0.6) y otra de galactosa (poder edulcorante 0.35) y ambos componentes por separado aumentan el poder edulcorante.

1.3.4. Sirope glucosa galactosa

El sirope glucosa-galactosa o también llamado concentrado hidrolizado de lactosa, tiene pocos estudios. Somov, *et al.*, (2015), en su investigación muestra el procedimiento por el cual se obtiene el sirope a partir de suero lácteo, donde hizo uso de tecnología de membranas como la ultrafiltración, seguida de nano filtración, adicionalmente le realizó una desmineralización, hidrólisis y evaporación hasta alcanzar unos solidos solubles de

65 a 70°Brix, donde evaluaron a través de receptores el poder de dulzor de este edulcorante con respecto a la sacarosa. Oluyemi, 1983 utilizó un sirope glucosagalactosa con un porcentaje de hidrólisis de hasta el 95% en la formulación de un pan, el cual logró obtener un sirope hidrolizando el permeado obtenido al ultrafiltrar el suero, posteriormente desmineralizándolo con resinas de intercambio iónico y decolorándolo. Finalmente evaporó al vacío y adicionó esta materia prima sobre la formulación de un pan, logrando buenos resultados como reemplazante de azúcar respecto al control tanto en las características físicas como en las sensoriales.

1.4. Productos lácteos

1.4.1. Bebida láctea fermentada tipo yogur

El Yogur, según la definición del Codex Alimentarius para leches fermentadas (CODEX STAN 243-2003), es una forma de leche fermentada que contiene cultivos simbióticos de *Streptococcus thermophilus* y *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* que serán viables, activos y abundantes en el producto a la fecha de duración mínima. Para ser llamado yogur, un producto lácteo fermentado debe contener proteínas de la leche, grasa de leche, ácido láctico, etanol y microorganismos en las proporciones adecuadas (CODEX ALIMENTARIUS, 2011; CODEX COMMITTEE ON MILK AND MILK PRODUCTS., 2010)

Así, el yogur se produce al fermentar la leche con *Streptococcus salivarius* ssp. *thermophilus* y *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus*, produciendo ácido láctico. La caseína se vuelve inestable y coagula para formar un gel firme, compuesto de hebras de micelas de caseína, con suero atrapado dentro de esta matriz, que se entrelaza mediante enlaces de hidrógeno, formando una matriz proteica. La estructura del yogur es el resultado del enlace disulfuro entre la k-caseína y proteínas de suero desnaturalizadas y por agregación de caseína cuando el pH cae al punto isoeléctrico de las proteínas de caseína durante la fermentación. (Damin, Alcântara, Nunes, & Oliveira, 2009). La temperatura de incubación de 42°C es óptima para el crecimiento de las bacterias. La temperatura más apropiada para el crecimiento del *Streptococcus thermophilus* es 37°C y para *Lactobacillus delbrueckii* sub sp. *bulgaricus* es de 45°C. Una incubación a temperaturas superiores a 42°C promoverá el crecimiento del *Lactobacillus*, mientras que

una temperatura de incubación de menos de 42°C favorece el crecimiento del *Streptococcus*, y los cambios en el sabor serán el resultado del escaso crecimiento de *Lactobacillus sp.*

Las bebidas lácteas fermentadas ocupan una posición satisfactoria en el mercado de los productos lácteos y se proyecta un aumento del consumo en los próximos años (AGRONET, 2014b). Inclusive el consumo de estas bebidas se ha incrementado en varios países por su relación con las bacterias ácido lácticas (BAL), las cuales han demostrado beneficios saludables en productos funcionales y están caracterizados por ser refrescantes teniendo una textura suave y baja viscosidad. (Vinderola, *et al.*, 2006)

En la actualidad, los microorganismos probióticos, principalmente Lactobacilos y Bifidobacterias han despertado un gran interés por la importancia que tienen en la salud de las personas que consumen alimentos con estos microorganismos. Se han reportado resultados positivos en la prevención de infecciones quirúrgicas, protección contra infecciones respiratorias, la producción de sustancias con actividad anticancerígena frente al cáncer de colon, mejoramiento en el sistema inmunológico al promover la barrera de defensa endógena del intestino y desplazar la microbiota patógena gastrointestinal en el consumidor, también se utilizan en tratamientos contra infecciones gastrointestinales. (Montoya Campuzano & Sepúlveda Valencia, 2005)

Adicionalmente, el yogur tiene contenidos altos de minerales en los cuales se incluyen el calcio (Ca), magnesio (Mg), potasio (K), fósforo (P), y zinc (Zn), entre otros. Además, es rico en riboflavina, niacina, vitamina B6 y vitamina B12, así como una excelente fuente de aminoácidos esenciales de alta calidad biológica, contiene generalmente niveles más altos de proteínas que la leche (Germani *et al.*, 2014) . La actividad proteolítica de BAL aumenta la digestibilidad de las proteínas a través de una pre-digestión, lo que activa de manera eficiente los aminoácidos (El-Abadi, Dao, & Meydani, 2014).

Por lo general, la evaluación de los yogures implica mediciones reológicas (Ciron, *et al.*, 2012) , pero estas son a menudo insuficientes para describir la textura del yogur, que resulta tanto de la agregación de las micelas caseína y la producción de exopolisacáridos por las BAL durante la incubación, que mejoran la consistencia, evitando la fractura del gel y la sinéresis (Morell, *et al.*, 2015). El análisis descriptivo sensorial es una de las herramientas más potentes y ampliamente utilizadas en la ciencia sensorial, permitiendo

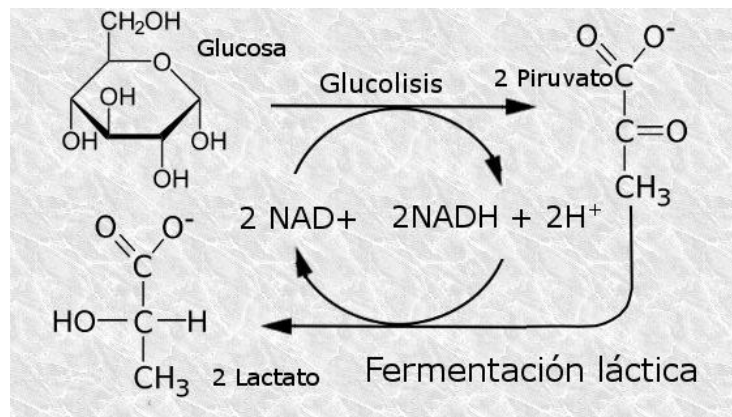
las correlaciones con otros tipos de parámetros (Morell *et al.*, 2015), como los datos reológicos o microestructurales.

- Bacterias ácido lácticas (BAL)

Las BAL desempeñan un papel importante en los procesos de fermentación; ellas son utilizadas en la industria alimentaria, no solamente por su habilidad para acidificar y por tanto preservar alimentos, sino también su implicación en la textura, sabor, olor y desarrollo de aroma de los alimentos fermentados (R. Parra, 2010).

La principal función de las BAL es la formación de ácidos orgánicos, principalmente ácido láctico (Bouzar, Cerning, & Desmazeaud, 1997) a una velocidad conveniente para asegurar una fermentación consistente y exitosa. El ácido láctico puede ser obtenido a través de la fermentación de la lactosa, que da un sabor ácido fresco en leches fermentadas, mejora cuerpo y textura en los quesos y yogur e inhibe en parte, el desarrollo de flora contaminante y patógena (Conidi *et al.*, 2011; Hernandez-Mendoza, *et al.*, 2007; Kailasapathy, 2006). Además, aseguran la calidad y uniformidad del producto final (Bertrand-Harb, Ivanova, Dalgalarondo, & Haertl??, 2003) y está relacionado con el aumento del valor nutricional de productos alimenticios, donde han sido utilizadas como probióticos (Bertrand-Harb *et al.*, 2003; Kailasapathy, 2006; Vinderola *et al.*, 2006).

Figura 1-6 Vía de Embden-Meyerhoff producción de ácido láctico.



El ácido láctico ha tenido, a lo largo de la historia un papel importante en la fermentación y preservación de alimentos. (Ghasemi *et al.*, 2009) Es clasificado como GRAS (generalmente reconocido como seguro) para su empleo como aditivo alimenticio por la FDA (Administración de Drogas y Alimentos) (Dávila, Pacheco-Delahaye, & Frágenas,

2006). Este ácido es uno de los más importantes producidos por las BAL (Kailasapathy, 2006) y se obtiene por medio de la vía Embden-Meyerhoff (Figura 1-6) mediante procesos bioquímicos como la glucólisis logrando obtener a partir de una molécula de glucosa dos moléculas de ácido láctico (lactato). Dentro de los microorganismos productores pueden citarse *Lactobacillus*, *streptococcus*, *tetragenococcus* y *Bifibobacterium*, siendo el *Lactobacillus delbrueckii* el microorganismo más utilizado (Moreira, Abraham, & De Antoni, 2000).

1.4.2. Dulce de leche

El dulce de leche o arequipe se define como el producto obtenido por la concentración mediante la evaporación de la mezcla de leche y azúcares. En la Tabla 1-3 se puede observar la clasificación del dulce de leche según lo establecido en la Norma Técnica Colombiana NTC 3757.

Tabla 1-3 Clasificación del dulce de leche, según la NTC 3757.

TIPO	DESCRIPCIÓN
Arequipe o dulce de leche	Es el producto higienizado obtenido por la concentración térmica de una mezcla de leche, sacarosa y otros edulcorantes y aditivos permitidos por la legislación nacional vigente.
Arequipe o dulce de leche de bajo contenido calórico	Es el producto higienizado obtenido por la concentración térmica de una mezcla de leche, a la cual se le han modificado sus ingredientes con el fin de obtener una disminución calórica de acuerdo con lo establecido en la legislación nacional vigente para productos de bajo contenido calórico.
Manjar blanco	Es el producto higienizado obtenido por la concentración térmica de una mezcla de leche, sacarosa u otros edulcorantes con el agregado de harina o almidones y aditivos permitidos por la legislación nacional vigente.

Manjar blanco de bajo contenido calórico	Es el producto higienizado obtenido por la concentración térmica de una mezcla de leche, con el agregado de harinas o almidones. A este producto se le han modificado sus ingredientes con el fin de obtener una disminución calórica
--	---

Fuente: NTC 3757

El dulce de leche tiene como característica que es cremoso en cuanto a la consistencia, a nivel sensorial no se perciban cristales, de un color ámbar brillante, sabor dulce y olor lácteo. En su elaboración son necesarias materias primas como la leche, azúcar (sacarosa) y bicarbonato de sodio (Anibal Zunino, n.d.)

La leche es el principal componente y por ende se debe garantizar la mayor calidad, para cumplir este objetivo las vacas deben ser sanas, no tener microorganismos patógenos y sustancias extrañas (agua, preservativos, antibióticos, pesticidas, féculas, entre otros), poseer olor y sabor característico, con un grado de acidez no mayor a 0.13% de ácido láctico, debido a que a una acidez mayor se precipitan de las proteínas, ocasionando la no homogeneidad (grumosidad o arenidad) en el producto final y sin brillo. La leche utilizada puede ser líquida o en polvo reconstituido, entera o parcialmente descremada (Angarita, 2009).

Uno de los principales componentes del arequipe conjuntamente con la leche es el azúcar o los edulcorantes, los cuales proporcionan las características de color, sabor y textura al producto final.

El bicarbonato de sodio se adiciona para neutralizar o reducir la acidez de la leche, evitando así la coagulación de las proteínas, debido a que durante el proceso de elaboración el producto se va evaporando la humedad y el ácido láctico se va concentrando, ocasionando el aumento de la acidez, provocando una textura arenosa, además puede perder el color característico, porque al disminuir el pH, las reacciones de Maillard se retardan (Andrade, *et al*, 2009). Esta base es la más utilizada por ser de un alcalino suave, que usado en pequeñas proporciones no confiere sabores al producto final. El cálculo del neutralizante a utilizar debe ser exacto, debido a que un error en la cantidad de este, produciría una coloración más oscura, aportaría un sabor jabonoso y le proporcionaría una textura gomosa (Angarita, 2009).

- Procesos durante la producción del dulce de leche

A nivel industrial se realizan procesos básicos para garantizar la calidad del dulce de leche, entre los que se encuentran la filtración de la leche, la reacción de Maillard, la concentración, enfriamiento y envasado. La filtración de la leche se hace con el fin de retirar las partículas extrañas presentes en la leche, este proceso se lleva a cabo antes de iniciar la elaboración del arequipe (Montenegro, 2008)

La leche previamente filtrada, usualmente se le realiza una hidrólisis enzimática, la cual se lleva cabo por medio de la β -galactosidasa a temperaturas de 37 a 40°C hasta alcanzar un 40% de la hidrólisis, durante este proceso la lactosa se convierte en los monosacáridos glucosa y galactosa, con este tratamiento se disminuye la cristalización excesiva de la lactosa, logrando una mejor calidad del producto. Este proceso no se realiza cuando se usa azúcar invertido o edulcorantes que contengan azúcares reductores.

La reacción de Maillard es la que explica el color pardo del dulce de leche generado por las melanoidinas. Los azúcares reductores deben poseer un grupo carbonilo libre para poder reaccionar con los aminoácidos presentes en la leche, la lactosa y la glucosa son dos de ellos, por su parte la sacarosa debe desdoblarse en glucosa y fructosa para lograr el oscurecimiento del arequipe. La reacción de Maillard es favorecida por las altas temperaturas, así como por el aumento de la acidez durante la elaboración del arequipe (SENATI, 2011). Consecuentemente, esta reacción se caracteriza por provocar una coloración oscura, un sabor caramelo, insolubilidad de las proteínas, disminución del valor nutricional y la producción de compuestos reductores (SENATI, 2011).

Con el fin de reducir la humedad y aumentar la cantidad de sólidos y por ende llegar a la textura adecuada, se lleva a cabo una concentración con agitación continua (ICTA, 1988). El color característico del producto se logra con este proceso. Es importante definir el momento adecuado para obtener la concentración deseada. Un exceso en la concentración puede causar una disminución los rendimientos y afectar las características sensoriales del producto final; mientras que la falta de concentración da como resultado un producto fluido, sin la consistencia que se desea (SENATI, 2011).

Finalizado este proceso se realiza un enfriamiento hasta llegar a una temperatura de 60°C, promoviendo la salida del vapor de agua y se evita su condensación en el interior

de la masa, impidiendo la uniformidad característica. Si la velocidad de enfriamiento es muy lenta llega a favorecer la formación de grandes cristales, mientras que un rápido enfriamiento ayudará a la formación de pequeños cristales (ICTA, 1988). El envasado se realiza a una temperatura de 50 a 55°C, ya que a esta temperatura aún existe fluidez del producto, por ende un fácil manejo al porcionarlo, si se realiza a mayor temperatura se condensan los vapores dentro del envase, provocando el desarrollo de hongos.

1.5. Edulcorantes

Los edulcorantes son sustancias o aditivos alimentarios capaces de conferir sabor dulce a los alimentos y pueden clasificarse en edulcorantes nutritivos y no nutritivos. Los edulcorantes nutritivos son aquellos que aportan calorías e incluyen la sacarosa, glucosa, dextrosa, fructosa, lactosa, maltosa, galactosa, trehalosa, tagatosa, mieles, jarabes y polioles; algunos de ellos aportan hasta 4 calorías por gramo y otros como algunos polioles pueden aportar 2 calorías por gramo. Los edulcorantes no nutritivos incluyen la Stevia, Taumatina, pentadina, monelina, brazzeina, aspartame, sucralosa, sacarina, neotame, acesulfame K, ciclamato y neohesperidina. Para su utilización como reemplazantes de sacarosa, es importante tener en cuenta su poder edulcorante así como sus características relacionadas con la estabilidad ante el procesamiento.

Tabla 1-4 Grado de dulzura para diferentes edulcorantes.

Edulcorante	Grado de dulzura	PE relativo a la sacarosa (azúcar común)
Sacarosa	100	-
Fructosa	173.3	1.73
Glucosa	74.3	0.74
Lactosa	16	0.16
Maltosa	32	0.32
Galactosa	32	0.32
Aspartame	15.000 - 20.000	150 – 200
Sucralosa	60.000	600
Sacarina	30.000 - 40.000	300 – 400
DHC de la neohesperidina	25.000 - 200.000	250 – 2000
Taumatina	250.000	2.500

Tomado de: <http://www.revistaciencias.com/publicaciones/EEIFukEIIhYvYLbrsd.php>

La sacarosa, azúcar compuesto por una molécula de glucosa y una de fructosa, obtenida a partir de la caña de azúcar o de la remolacha azucarera, tiene como función en la fabricación de alimentos fuera de su contribución del dulzor, el aporte de los sólidos solubles, proporciona cuerpo y palatabilidad, mejora la apariencia y proporciona color y brillo al producto. La sacarosa es el edulcorante más importante usado en la industria de alimentos por su bajo costo, sin embargo en diferentes países está creciendo el interés por reemplazar este producto por otros edulcorantes, que ofrezcan un aporte calórico menor, en parte, debido al alza en su precio.(Alonso, Arcila, & Montenegro, 2017)

1.5.1. Edulcorantes usados en bebidas lácteas fermentadas.

La adición de azúcar o edulcorante al yogurt se utiliza con el fin de atenuar la acidez del producto. Los métodos usuales de adición de agentes edulcorantes o azúcar son: adición hasta el 5% del agente edulcorante o azúcar a la mezcla base, también la adición de un sirope de fruta para lograr el “dulzor deseado”.

Existen diferentes agentes edulcorantes usados en la fabricación del yogurt. Se puede destacar la sacarosa, el azúcar invertido, fructosa, glucosa, jarabe glucosa/galactosa, sorbitol, sacarina y ciclamato.(Robinson, Lucey, & Tamime, 2007)

La aplicación de diferentes edulcorantes en bebidas lácteas fermentadas se han reportado en la literatura. Endulzantes tales como stevia, aspartame y sucralosa han sido utilizadas, pero no presentaron una buena aceptación por parte de los consumidores debido a las altas concentraciones de estos productos. (Narayanan, *et al.*, 2014)

Bazán (2010) utilizó en un yogurt firme edulcorantes tales como: sucralosa, aspartame y Acesulfame-K, con el fin de reducir los niveles calóricos, teniendo éxito en la aceptabilidad de los productos. También Aguirre & Biollo (2010) evaluaron el efecto de la sucralosa y el aspartame como edulcorantes con la adición de tres estabilizantes, la cantidad utilizada fue de 0.5 y 0,15% respectivamente, siendo el de mayor preferencia por el público el que contenía aspartame al 0.15%. Mena & Vasquez (2010) aplicó sucralosa en un yogurt alcohólico, este tuvo aceptabilidad general en todos los porcentajes de inclusión de este edulcorante.

No solo se han estudiado edulcorantes artificiales sino también naturales tales como el Agave americana (sirope de agave) en un yogur de soya (Lignia, 2014) y Jarabe de mortiño en un yogur batido (Zapata, Sepúlveda-valencia, & Rojano, 2015) sobre las propiedades fisicoquímicas y sensoriales, obteniendo resultados satisfactorios mejorando las propiedades nutricionales en el alimento. La miel en conjunto con el probiotico *Lactobacillus acidophilus* también ha sido utilizada teniendo buenos resultados sobre la estabilidad y aceptabilidad de un yogur de cabra. (Machado *et al.*, 2017)

1.5.2. Edulcorantes usados en dulce de leche.

El azúcar es el componente mayoritario de la formulación del arequipe después de la leche, lo que hace que su sustitución afecte las propiedades sensoriales, fisicoquímicas y texturales. (ADAREPORTS, 2004; Brands & van Boekel, 2001).

El uso de edulcorantes en la industria de alimentos es ahora un tema de interés, por lo cual se han realizado diversas investigaciones sobre el uso de estos aditivos alimentarios en diferentes industrias. En cuanto a su uso en la industria de los dulces de leche Uribe & Olmos (2008) elaboraron 17 formulaciones de dulces de leche utilizando edulcorantes tanto no nutritivos (sucralosa), como naturales (sacarosa, azúcar moscabada, fructosa y jarabe de maíz) y adicionando carragenina como espesante.

Catarina *et al.* (2012) evaluaron la sustitución de sacarosa por sucralosa en diferentes proporciones en un arequipe. Los autores observaron que a medida que incrementaba el porcentaje de sucralosa, empeoraba la consistencia del producto, sin embargo, con la adición de povidextrona lograron mejorar la textura del producto y su calidad nutricional debido al mayor aporte de fibra. Gutierrez Buitrago (2014) obtuvo resultados similares evidenciando buena aceptación del producto en el cual se sustituyó totalmente la sacarosa por sucralosa y povidextrona.

Pasto (2011) realizó una investigación sobre la sustitución de sacarosa por Stevia llevando a cabo 6 tratamientos: 25% Stevia – 75% sacarosa, 75% Stevia – 25% sacarosa, 100% Stevia a 70° Brix y estas mismas concentraciones a 65° Brix. El mejor tratamiento reportado mediante el análisis sensorial fue el de 25% Stevia y 75% de sacarosa.

Valencia & Millán Cardona (2008) desarrollaron un arequipe bajo en calorías elaborado a escala de laboratorio con una composición de povidexrosa al 6,1%, sorbitol 8,6% y fructosa al 3,7% en reemplazo de la sacarosa. El producto fue comparado con el arequipe tradicional respecto a su vida útil realizando pruebas sensoriales y fisicoquímicas, concluyeron que las características se conservan durante un tiempo de 10 días debido al cambio en las materias primas utilizadas como sustitutos del azúcar. Estos mismos autores realizaron un estudio con 5 formulaciones de arequipe bajo en calorías, uno estándar y otras cuatro en las cuales se reemplazó el 50% del azúcar con povidexrosa; la fructosa y el sorbitol se combinaron a dos concentraciones (fructosa 3,9% y 4,7% y sorbitol 3,9% y 8,5%). Los resultados del estudio mostraron que los cuatro tratamientos evaluados no presentaron diferencias significativas con el producto control respecto a las variables fisicoquímicas de pH, humedad, acidez y sólidos solubles.

Montenegro (2008) elaboró un manjar de leche hipocalórico adicionando fructosa a una concentración de 13% y carragenina en un 0,09%, mostrando que no hubo diferencias significativas entre el manjar de leche hipocalórico y el manjar de leche común (Montenegro, 2008).

Mendez *et al.* 2009 evaluaron una mezcla de sucralosa al 0,01%, lactitol al 4% y povidexrosa al 7,2% en un dulce de leche reducido en calorías. Los ingredientes fueron calculados con base en la cantidad inicial de leche. Los resultados fisicoquímicos no mostraron diferencia significativa entre el dulce de leche tradicional y el dulce de leche reducido en calorías; no se reportaron diferencias en los atributos de aroma, sabor, dulzura y textura, pero en relación al color el dulce de leche reducido en calorías obtuvo un color significativamente más oscuro que el dulce de leche comercial, sin embargo, al realizar una evaluación de la intención de compra se obtuvieron resultados positivos que indican el posible éxito de su comercialización.

2. Efecto de la adición de un sirope glucosa-galactosa obtenido de lactosuero dulce, sobre las propiedades fisicoquímicas, sensoriales y de estabilidad de un yogur entero.

Resumen

El lactosuero es un subproducto de la industria láctea, el cual por sus altos niveles de DBO y DQO contamina el medio ambiente. Contiene diferentes nutrientes de alto valor biológico tales como lactosa, proteínas séricas y minerales, siendo la lactosa la de mayor influencia sobre los altos niveles de contaminación. Para aprovechar este carbohidrato se emplean en la actualidad tecnologías para su recuperación y posterior uso como edulcorante. En esta investigación se evaluó el efecto de diferentes inclusiones (0%, 25%, 50%, 75% y 100%) del edulcorante Sirope glucosa- galactosa (SGG), con un poder edulcorante de 0.5, sobre las propiedades fisicoquímicas, sensoriales y de estabilidad de un yogur. Como resultado se obtuvo que el sirope tuvo un efecto positivo sobre el pH, acidez, sólidos solubles, humedad, minerales, densidad y color al sustituir el dulzor hasta un 75%. La sustitución total del dulzor no tuvo una aceptabilidad general e incremento la sinéresis del yogur.

Palabras claves:

Edulcorantes, suero lácteo, yogur, viscosidad, análisis sensorial.

Abstract

Whey is derived from the dairy industry, because of its high levels of BOD and COD pollutes the environment, although it should be noted that it contains different nutrients of high biological value such as lactose, serum proteins and minerals, but the lactose is responsible of the high levels of pollution. In addition for using this carbohydrate technologies are used currently for its recovery and subsequent use as a sweetener. The effect of different inclusions (0%, 25%, 50%, 75% and 100%) of the sweetener Syrup Glucose-Galactose (SGG), with a sweetening power of 0.5, on the physicochemical, sensory and stability properties of a yogurt were studied in this research. As a result, the syrup had an effect on the physicochemical properties pH, Acidity, Soluble solids, humidity, Minerals, density and color, SGG was obtained a positive effect when replacing up to 75% of the sweetness, because when the sweetness in totality 100% had not had a positive general acceptability and is involved in the stability of yoghurt syneresis.

Keywords:

Sweeteners, whey, yogurt, viscosity, sensory analysis.

2.1. Introducción

El yogur es un derivado de la leche de consistencia cremosa y viscosa, que se obtiene por fermentación utilizando bacterias ácido lácticas (*Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus* y *Streptococcus salivarius subsp. thermophilus*) bajo condiciones controladas de temperatura. Es catalogado como un producto rico en calcio, vitaminas y proteínas de elevado valor biológico, también de alta digestibilidad, por la fácil absorción y metabolismo de sus componentes (Aznar et al., 2013; Hashemi, Hadi, & Mesbahi, 2015). Debido a su reputación como alimento saludable, de precio asequible y agradable sabor, se ha visto incrementado su consumo durante los últimos años. Colombia tiene una tendencia semejante, en 2013 produjo una cantidad aproximada de 207'453.230 L de yogur, 95% más que en 2002 (AGRONET, 2014b).

Si bien, la sacarosa es empleada como ingrediente durante su preparación; siendo esencial para obtener su sabor dulce, contribuyendo a los sólidos totales del producto, y a su vez proporcionando textura, cuerpo, viscosidad y retención de humedad. La inclusión

de edulcorantes que sustituyan parcial o totalmente a este azúcar es cada vez más frecuente (Chollet, *et al.*, 2013; Hoppert *et al.*, 2013; Machado *et al.*, 2017)

El sirope obtenido a partir de lactosuero dulce, por su contenido en carbohidratos como: lactosa, glucosa y galactosa, puede ser utilizado como sustituto de la sacarosa (Somov *et al.*, 2015). El aprovechamiento del lactosuero como edulcorante, plantea una alternativa de uso para este abundante subproducto de la industria láctea que se genera durante la producción de quesos; representando cerca del 90% del volumen de la leche empleada durante su elaboración e involucrando a la mayoría de compuestos hidrosolubles, dentro de ellos el 95% de la lactosa (Beltran & Acosta, 2012). A su vez, la inclusión del sirope de glucosa-galactosa como endulzante en yogur, permite evaluar su uso como ingrediente en la formulación de alimentos.

Algunos autores han reportado el uso de agentes edulcorantes en el yogur, destacando la adición de sacarosa, azúcar invertido, fructosa, glucosa, sorbitol, sacarina y ciclamato, principalmente por sus atributos de dulzura (Robinson *et al.*, 2007). Otros, han evaluado el efecto de la incorporación de harinas, fibras y saborizantes naturales, por la funcionalidad y estabilidad que pueden conferir a este producto. Todos estos factores han demostrado su efecto en variables como sinéresis, viscosidad, pH, acidez, densidad, sólidos totales, grasa y aceptabilidad general del producto en el tiempo. (Shashiki, 2014; Simanca & Andrade, 2013; Zapata *et al.*, 2015)

A pesar de la literatura existente, hay menos información disponible acerca de la utilización de un sirope glucosa-galactosa con 72°Brix, obtenido a partir de lactosuero dulce, en la elaboración de productos lácteos. Por tal razón, esta investigación propuso evaluar el efecto de las diferentes inclusiones de sirope de glucosa-galactosa sobre las propiedades fisicoquímicas, sensoriales y de estabilidad de un yogur entero durante el tiempo de almacenamiento en condiciones de refrigeración

2.2. Materiales y métodos

2.2.1. Obtención y caracterización del Sirope glucosa-galactosa.

El sirope glucosa-galactosa (SGG) fue obtenido a partir de lactosuero, el cual fue procesado como se indica a continuación: El lactosuero fue sometido a un proceso de

calentamiento a 43°C durante 15min para su posterior descremado a 8000 rpm. Seguido de una pasteurización a 63°C por 30min. Luego, se procedió a filtrar el suero en una planta piloto de filtración en el módulo de Ultrafiltración (UF), equipado con una membrana semipermeable en espiral de polietersulfona con un tamaño de corte de 10 kDa. Las condiciones de trabajo del equipo fueron las siguientes: Factor de concentración de 18, presión de entrada de 1 bar, presión de salida de 3 bares y temperatura de 48°C. El permeado obtenido fue sometido a un proceso de nanofiltración utilizando una membrana de polietersulfona con un tamaño de corte de 100 Da a una temperatura de 23°C, un factor de concentración de 5, una presión de entrada de 31.5 bares y una presión de etapa de 2 bares, obteniendo así el concentrado de lactosa. Seguido, se realizó una hidrolisis enzimática con lactasa (1.2 ml/L) a 36°C por 3 horas y finalmente se llevó a evaporación hasta alcanzar un valor de sólidos solubles entre de 70 a 73° Brix, se enfrió hasta 45°C y se centrifugó a 8000 rpm en una descremadora industrial con capacidad de 50L para extraer las sales que se precipitaron durante el calentamiento. Luego, el sirope fue almacenado en refrigeración hasta la preparación del yogur.

Al sirope glucosa-galactosa se le determinó pH (método AOAC 945.10), acidez como % de ácido láctico (método AOAC 945.64) y su contenido de: humedad (método AOAC 925.45), sólidos totales (método AOAC 925.45), sólidos solubles (método AOAC 932.14), proteínas (AOAC 991.20-23), minerales (método NTC 5151) y cenizas (método AOAC 923.03). El poder edulcorante se realizó por medio de una prueba sensorial por aproximación multidimensional con 3 panel expertos con una edad entre 35 y 60 años, según la NTC 3501 y 3915, Guías técnicas Colombiana 165 y 226.

2.2.2.Elaboración del yogur

Para la elaboración del Yogur fue utilizada leche entera la cual se obtuvo mediante el ordeño mecánico de vacas Holstein, que conforman el hato lechero de la hacienda Paysandú; propiedad de la Universidad Nacional de Colombia, ubicada en el corregimiento de Santa Elena, municipio de Medellín. Se le determinó a la leche contenido de sólidos totales (NTC 4979), proteínas (AOAC 972.16), grasa (AOAC 989.04), acidez como contenido de ácido láctico (NTC 4623), densidad por medio del lactodensímetro de quevenne, punto crioscópico (DE568), y pH (NTC 4592)..

Se elaboró un yogur con 30 Litros de leche que presentaba 10% de dulzor, en la cual se realizaron sustituciones parciales de sacarosa y con el SGG desarrollado en proporciones sacarosa: sirope (100-0%, 75-25%, 50-50%, 25-75%, 0-100%), como se muestra en la Tabla 2-1. Para este fin, se elaboraron cinco tratamientos, identificados como 0SGG, 25SGG, 50SGG, 75SGG Y 100SGG respectos a los tratamientos anteriormente mencionados. En cada uno de los tratamientos, la leche líquida entera fue mezclada con el edulcorante, y sometida a calentamiento hasta alcanzar 45°C de temperatura. Posteriormente, la mezcla fue homogeneizada a 2500 psi y pasteurizada a 85°C con 15 min de retención. Luego, fue enfriada a 45°C e inoculada con el cultivo iniciador YO-B (Mediterranea Biotecnologie, Termoli-Italia) que contenía una mezcla de microorganismos de *St. thermophilus* y *Lb. bulgaricus*. La mezcla fue incubada en un baño maria a 42°C hasta alcanzar un valor máximo de acidez de 0.6% de ácido láctico. Finalmente el producto se refrigeró a 4°C, para al día siguiente, realizarle una agitación manual

Tabla 2-5 Formulación del yogur con las diferentes inclusiones SGG.

Materia prima	0SGG	25SGG	50SGG	75SGG	100SGG
Leche (%)	90.91	88.89	86.96	85.11	83.33
Azúcar (%)	9.09	6.67	4.35	2.13	0
SGG (%)	0	4.44	8.69	12.76	16.67

2.2.3. Análisis fisicoquímicos en el Yogur

Las características tales como acidez, pH, el color, la sinéresis, la viscosidad aparente, grasa, proteína, densidad, humedad y minerales fueron determinados para las diferentes formulaciones de yogur. La acidez se midió según la NTC 4623. El pH se determinó utilizando un potenciómetro (pHmetro OHAUS STARTER 3100) por inmersión de un electrodo en la muestra, previa calibración con soluciones tampón de pH 4, 7 y 10 a 20 °C (NTC 4592). El color se evaluó el método CIE L*a* con un colorímetro Konica Minolta serie CR-400, donde L* es la luminosidad (0 negro, 100 blanco), a* representa los colores rojos y verdes y b* detalla los colores azules y amarillos. El índice de sinéresis se realizó centrifugando 20g de muestra de yogur a 1250rpm durante 20 min a 4°C, el sobrenadante se separó por vertido, se pesó y se registró la sinéresis como g / 100 g de

muestra (Amaya-Llano, Martínez-Alegría, Zazueta-Morales, & Martínez-Bustos, 2008). Para la viscosidad se midió la velocidad de rotación y arrastre que un cilindro concéntrico N°SC4-27 (Ramírez-Sucre & Vélez-Ruiz, 2013) ejerce contra un fluido viscoso, al encontrarse sumergido en la muestra. La medición se realizó a 4°C utilizando un reómetro Brookfield DV-III ultra que reporta datos de esfuerzo de corte (σ) y velocidad de corte ($\dot{\gamma}$). El comportamiento pseudoplástico no-newtoniano de los yogures se evaluó por el modelo de ley de potencia, obtenido por regresión lineal de los valores de viscosidad aparente frente a la velocidad de cizallamiento, trazada en coordenadas logarítmicas. Por otro lado, la grasa se midió por el método de Gerber (AOAC 989.04). La proteína se determinó mediante el método de Kjeldahl (AOAC 991.20-23). Los sólidos solubles fueron evaluados por medio de un refractómetro digital (HI 96801) (Baldasso, Barros y Tessaro, 2011). La densidad se determinó utilizando un picnómetro de 10ml de volumen. La humedad se en una estufa al vacío VO (Memmert) a una temperatura de 60°C, presión de 33mb, hasta peso constante (AOAC 977.21). Los minerales se determinaron por espectrofotometría de absorción atómica (NTC 5151).

2.2.4. Análisis Microbiológico en el yogur

El yogur fue analizado microbiológicamente considerando los criterios establecidos por la legislación Colombiana. Se realizaron recuentos de mesofilos, coliformes totales y fecales (medio de cultivo Agar Chromocult) y mohos y levaduras (medio de cultivo agar DRBC) según la NTC 805, AOAC 966.23C, AOAC 966.24 y AOAC 995.21

2.2.5. Análisis sensorial en el yogur

Los yogures elaborados con diferentes inclusiones de sirope glucosa-galactosa fueron sometidos a una prueba de aceptabilidad sensorial con consumidores habituales de yogur 24 horas posteriores a su elaboración. El panel de degustación estuvo formado por 100 consumidores escogidos al azar dentro de la Universidad Nacional de Colombia (40% Hombres, 60% Mujeres). Se evaluó la percepción de los consumidores en cuanto a la aceptabilidad general, utilizando una escala hedónica estructurada de 9 puntos. Otro panel sensorial se realizó para evaluar la intensidad de los atributos (NTC 2680) del yogur tales como: dulzor, acidez, aroma, homogeneidad y fluidez, este panel estuvo conformado por 20 técnicos expertos pertenecientes al laboratorio de productos lácteos de la Universidad Nacional de Colombia, los cuales evaluaron la intensidad de las

características tales como dulce, ácido, aroma, homogeneidad y fluidez en una escala no estructurada de 10 puntos, la cual se muestra en el Anexo B.

2.2.6. Estabilidad del Yogur

Se elaboró un lote de producto de cada tratamiento. Para cada día evaluado se empaquetaron 3 muestras en envases de poliestireno, presentaciones comerciales de 200 g con tapa de foil de aluminio, los cuales fueron selladas al calor. Posteriormente se almacenaron bajo condiciones controladas de refrigeración a condiciones (3 a 5°C) y se analizaron los parámetros de pH, acidez, color, densidad, viscosidad e índice de sinéresis a los 0, 7, 14, 21 y 28 días; después de su elaboración.

2.2.7. Análisis estadístico del yogur

Se utilizó un diseño unifactorial aleatorio con cinco tratamientos determinados por la sustitución (respecto al dulzor) de 0%, 25%, 50%, 75%, 100% de sacarosa por un sirope glucosa-galactosa (72°Brix),

Una vez elaborado el yogur (día 1) se realizó la valoración sensorial y evaluación fisicoquímica a cada uno de los 5 tratamientos descritos anteriormente (ver procedimiento de elaboración del yogur), posteriormente se planteó un análisis de estabilidad, para el cual cada unidad experimental estuvo representada por un vaso de yogur.

El análisis estadístico para las muestras de yogur se determinó mediante análisis de varianza (ANAVA) utilizando el paquete estadístico Statgraphics XVI.I, con el fin de establecer si existen diferencias significativas entre las variables fisicoquímicas y análisis proximal de los tratamientos elaborados. El valor $P < 0,05$ se considerará como estadísticamente significativo.

2.3. Resultados y discusiones

2.3.1. Caracterización de la materia prima

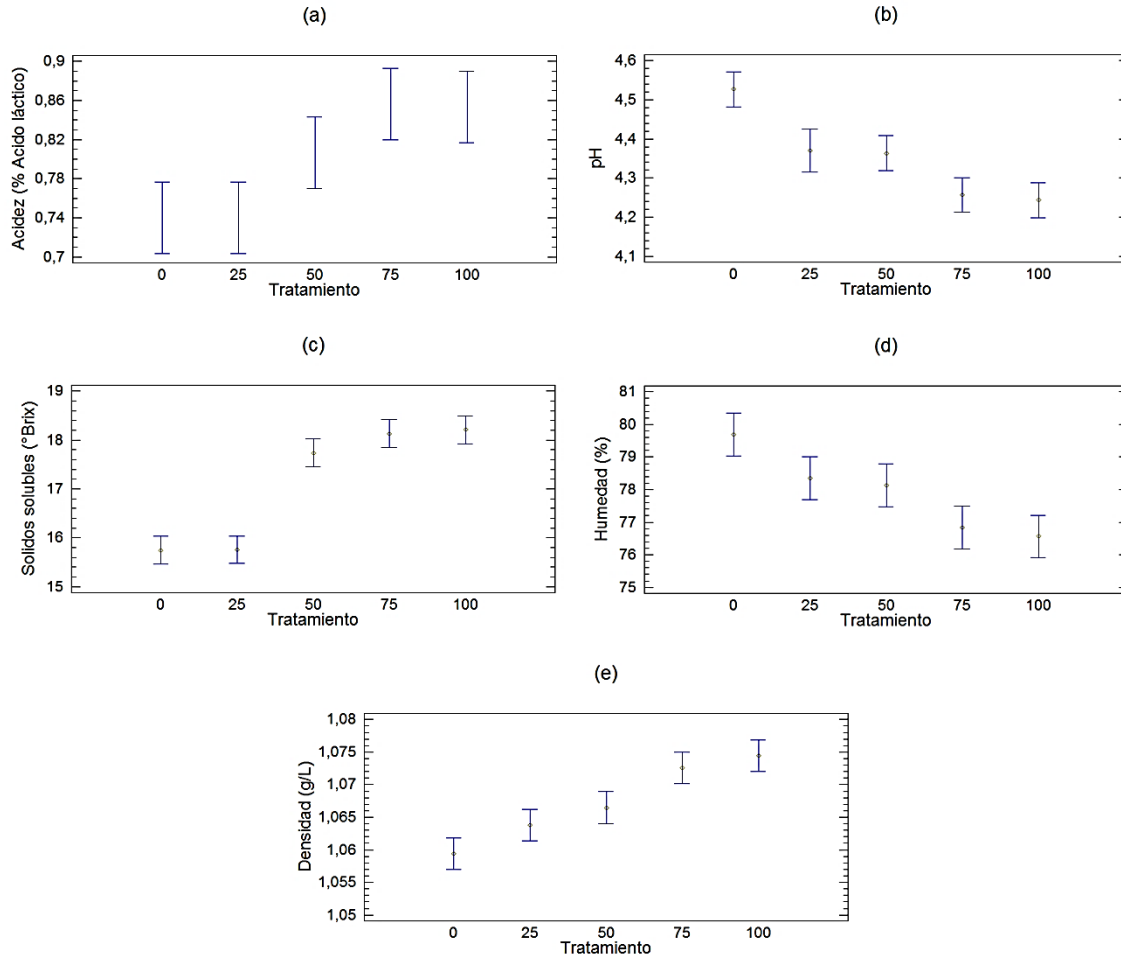
La Tabla 2-6 reporta las propiedades fisicoquímicas del sirope glucosa-galactosa, mostrando que es una materia prima ácida, densa con baja humedad, color amarillo-verdoso, con alta cantidad de minerales y un poder edulcorante de 50% respecto al valor de la sacarosa. Adicionalmente, el sirope es un fluido no-newtoniano pseudoplástico según las propiedades reológicas obtenidas. La leche presenta características de alta calidad según la NTC 399.

Tabla 2-6 Parámetros fisicoquímicos del Sirope glucosa- Galactosa y Leche de vaca utilizada como materia prima para la preparación de yogur.

SGG	
Acidez (%Ácido láctico)	1,25 ± 0,088
pH	4,85 ± 0,073
Densidad (g/L)	1,3700 ± 0,012
Humedad (%)	24,24 ± 2,62
Actividad de agua	0,73 ± 0,026
Sólidos solubles (°Brix)	72,51 ± 1,85
n-Índice de fluidez	0.848 ± 0.071
k- índice de consistencia	1.416 ± 0.224
Color	L: 35,18 ± 1,85 a*: -3,35 ± 0,95 b*: 16,89 ± 1,96
Proteína (%p/p)	<2.5%
Calcio (%p/p)	0.26 ± 0.04
Fosforo (%p/p)	0.38 ± 0.04
Magnesio (mg/Kg)	834 ± 60
Potasio (%p/p)	0.98 ± 0.13
Cenizas (%p/p)	3.45 ± 0.26
Poder Edulcorante	0,5
Leche	
Densidad (g/L)	1.0313 ± 0.0004
pH	6.68 ± 0.04
Acidez (%Ácido láctico)	0.17 ± 0.01
Grasa (%)	3.7 ± 0.1
Proteína (g/L)	3.25 ± 0.06
Sólidos no grasos (%)	8.70 ± 0.08
Sólidos totales (%)	12.37 ± 0.13
Punto crioscópico	0.514 ± 0.003

2.3.2. Propiedades Físicoquímicas del yogur

Figura 2-1 Comportamiento de los parámetros fisicoquímicos del yogur con diferente concentraciones de sirope glucosa-galactosa (a) acidez, (b) pH, (c) Sólidos solubles, (d) Humedad y (e) densidad.



Se encontró que los tratamientos presentaron diferencias significativas ($P < 0.05$) en los parámetros analizados (pH, acidez, sólidos solubles, humedad y densidad). Al incrementar la concentración de SGG se evidenció un incremento en la acidez y una disminución en el pH (Figura 2-1 (a) y (b)), ya que el sirope tiene características ácidas (1,25 % Ácido láctico) y por ende aporta ácido láctico al medio donde se adiciona. Esta tendencia se ha demostrado en otros estudios. Por ejemplo, Machado et al. (2017) utilizaron miel como edulcorante para la elaboración de un yogur, indicando que la acidez

de ésta (116,19 mEq) afectó la acidez y el pH del producto final. Zapata et al. (2015) adicionaron almibares de frutas como el Mortiño, los cuales tienen ácidos orgánicos que acidifican el medio, obteniendo mayor acidez al adicionar más cantidad de estos almibares, aunque los cambios fisicoquímicos no fueron abruptos.

Hubo diferencias significativas ($p < 0.05$) en el contenido de sólidos solubles entre los tratamientos por la inclusión del sirope, que por su bajo poder edulcorante debe ser adicionado en mayor cantidad que la sacarosa, logrando una mayor cantidad de este a medida que se aumentaba la sustitución del sirope (Figura 2-1 (c)). Además, se puede observar un comportamiento igual tanto para la acidez, como para los sólidos solubles a medida que aumentaba el porcentaje de inclusión, debiéndose explícitamente a la cantidad de sirope adicionado y su aporte tanto en sólidos como en acidez. La humedad decaía a medida que se aumentaba el porcentaje de SGG como se observa en la Figura 2-1 (d), debido a la formulación de los yogures, porque los litros de leche utilizados fueron los mismos para todos los tratamientos, pero el sirope se adicionó en mayor cantidad para lograr el mismo dulzor que el azúcar, disminuyendo el porcentaje de leche, siendo esta quien aporta mayor humedad. Machado *et al.*, 2017 encontraron que a medida que aumentó el porcentaje de miel hubo un incremento en los sólidos totales y por ende una disminución en la humedad en el yogur elaborado. Simanca & Andrade (2013) adicionaron salvado de trigo a un yogur aumentando los sólidos totales a medida que aumentaba el porcentaje de inclusión de este almidón (Simanca & Andrade, 2013). Adicionalmente, la humedad presenta el mismo comportamiento que el pH respecto al porcentaje de inclusión del sirope glucosa-galactosa, debido principalmente a la cantidad de sirope adicionado, ya que al contener mayor acidez, presenta un menor pH y al ser adicionado en el yogur aporta esta acidez, disminuyendo el pH y al contener alta cantidad de sólidos solubles, evidentemente también los aporta a la matriz alimenticia.

En cuanto a la densidad del yogur se observó una tendencia creciente a medida que se reemplazaba el azúcar por sirope (Figura 2-1 (e)), siendo significativo estadísticamente ($p < 0.05$). El yogur endulzado con azúcar presentó una densidad de 1,05937g/L, alcanzando valores de 1,07443g/L al sustituir el 100% del dulzor por SGG. Este fenómeno se debe a que la adición de SGG, incrementa los sólidos en el yogur como se indicó anteriormente. Simanca & Andrade (2013) presentaron resultados similares al aumentar el porcentaje de salvado de trigo en el yogur.

Los parámetros de color se detallan en la Tabla 2-3. El valor L^* determina la claridad y oscuridad del yogur. Para esta escala los tratamientos no presentaron diferencias significativas ($P>0.05$) todos los tratamientos fueron igual de claros. El valor a^* representa la intensidad de los colores rojo y verde. En este parámetro, los tratamientos mostraron diferencias significativas ($P<0.05$) en la tonalidad, según el valor a^* fue verde para todos los tratamientos, esto puede deberse a que el SGG fue obtenido a partir de lactosuero, el cual es un líquido amarillento verdoso. El valor b^* determina la intensidad del amarillo y azul, como resultado se obtuvo diferencias significativas entre los tratamientos ($P<0,05$) debido a que el color del SGG es amarillo-verdoso como se determina en la caracterización. Adicionalmente, se observó que a medida que aumentó el nivel de inclusión del SGG, el yogur se tornó más amarillo. Machado *et al.* (2017) realizaron un análisis de color en un yogur endulzado con miel de abeja, logrando obtener resultados similares a los de este estudio con la diferencia que la miel tiende a un color amarillo-naranja mientras que el sirope tiende a un amarillo- verdoso.

Tabla 2-7 Parámetros fisicoquímicos de yogur con SGG en diferentes concentraciones.

	Tratamiento				
	0SGG	25SGG	50SGG	75SGG	100SGG
L^*	61,05 (± 1.31) ^a	68,53 (± 2.46) ^b	64,04 (± 1.31) ^c	65,18 (± 0.27) ^{cd}	64,27 (± 1.15) ^{cd}
a^*	-1,76 (± 0.05) ^a	-2,23 (± 0.08) ^b	-2,37 (± 0.20) ^{bc}	-2,51 (± 0.20) ^c	-2,42 (± 0.14) ^{bcd}
b^*	8,50 (± 0.04) ^a	10,59 (± 0.50) ^b	11,24 (± 0.31) ^b	12,67 (± 0.46) ^c	13,43 (± 0.76) ^c
Grasa (%)	3,49 (± 0.02) ^a	3,13 (± 0.23) ^b	3,10 (± 0.03) ^{bc}	3,26 (± 0.16) ^{abcd}	3,16 (± 0.21) ^{bcd}
Índice de sinéresis (%)	0,22623 (± 0.03424) ^a	0,46643 (± 0.18620) ^a	0,35417 (± 0.07278) ^a	0,34157 (± 0.38574) ^a	0,24690 (± 0.14227) ^a
n- Índice de fluidez	0.539 (± 0.064) ^a	0.541 (± 0.057) ^a	0.608 (± 0.028) ^a	0.630 (± 0.126) ^a	0.599 (± 0.099) ^a
k-Índice de consistencia (Pa.s ⁿ)	8.198 (± 2.440) ^a	8.194 (± 3.958) ^a	5.211 (± 1.470) ^a	5.688 (± 2.085) ^a	5.437 (± 0.638) ^a
Proteína (%p/p)	3.4 (± 0.4) ^a	2.8 (± 0.2) ^a	3.1 (± 0.5) ^a	3.0 (± 0.3) ^a	2.8 (± 0.2) ^a
Calcio (%p/p)	673.3 (± 24) ^a	875.3 (± 95.5) ^{ab}	857 (± 18.4) ^{bc}	1199 (± 265) ^{abcd}	1004 (± 257) ^{abcd}
Fosforo (%p/p)	672.3 (± 49.6) ^a	884 (± 120.7) ^b	981 (± 14.8) ^{bc}	1166.7 (± 0.3) ^{cd}	1156.7 (± 0.2) ^{cd}
Magnesio (mg/Kg)	87.7 (± 6.4) ^a	125.7 (± 17.8) ^b	160.3 (± 19.6) ^c	176.7 (± 10.3) ^{cd}	199 (± 29.5) ^d
Potasio (%p/p)	0.14 (± 0.01) ^a	0.17 (± 0.01) ^a	0.21 (± 0.01) ^b	0.22 (± 0.02) ^b	0.27 (± 0.03) ^c
Cenizas (%p/p)	0.63 (± 0.02) ^a	0.80 (± 0.09) ^b	0.92 (± 0.02) ^c	1.04 (± 0.03) ^d	1.10 (± 0.06) ^d

0SGG - yogur sin adición de Sirope glucosa galactosa; 25SGG - yogur con adición del 25% SGG respecto al dulzor; 50SGG - yogur reemplazando el 50% de su dulzor por SGG; 75SGG - yogur con adición de 75% SGG respecto al dulzor y 100SGG yogur que se añade el 100% de su dulzor con SGG. ^{a-d} Medias \pm

desviaciones estándar con letras iguales minúsculas en la misma fila denotan que no existen diferencias significativas entre las diferentes formulaciones, basado en la prueba de Fisher ($p < 0,05$).

Por otra parte, el SGG no tuvo un efecto significativo sobre la grasa entre los diferentes tratamientos, esto puede deberse a que el SGG posee una mínima concentración de grasa. Cabe resaltar que el SGG fue sometido a diferentes procesos durante su obtención, tales como descremado del suero, ultrafiltración, nanofiltración y centrifugación que ayudaron a minimizar esta variable de la materia prima y por consiguiente no afectó el contenido de grasa en el yogur. Aunque no hubo diferencias significativas se puede ver en la Tabla 2-3 que el yogur sin sirope posee mayor porcentaje de grasa, esto se debe a la misma formulación del yogur, debido a que con el SGG se encuentra más diluido las grasas, porque es mayor el volumen pero igual cantidad de leche. Concordando con Simanca & Andrade en 2013 cuando adicionó salvado de trigo en la formulación del yogur.

El índice de sinéresis entre los tratamientos no fue afectado significativamente con la adición de SG, es decir no influyó sobre la estructura del gel, logrando que se formara de la manera adecuada, esto se atribuye a los correctos procesos de homogeneización. La proteína no se alteró con el nivel de inclusión del sirope glucosa-galactosa, esto se presume que es porque el SGG tiene un contenido de proteína $\leq 2.5\%$. Lobato, Ramírez, Vernon, & Alvarez (2014) reportaron valores de proteína cercanos a los mostrados en este estudio (7.81-10%). Además obtuvieron un índice de sinéresis de 2.5g/100g, lo más cercano encontrado en la literatura a la presente investigación.

Los parámetros reológicos obtenidos por el modelo de la ley de la potencia se muestran en la Tabla 2-3, donde se observan los datos del índice de fluidez (n) y el índice de consistencia (k), los cuales no presentaron diferencias significativas entre los tratamientos. Sin embargo hubo una tendencia de crecimiento del índice de fluidez y un decrecimiento en el índice de consistencia a medida que aumentaba el porcentaje de inclusión del SGG. El valor obtenido del índice de flujo (n) para todos los casos se encuentra entre 0 y 1, lo que confirma el comportamiento pseudoplástico del yogur (Dello Staffolo, Bertola, Martino, & Bevilacqua, 2004; Keogh & O'Kennedy, 1998). El valor del índice de consistencia (K), es mayor en el caso del yogur entero sin adición de sirope de manera que podría afirmarse que el contenido de grasa en el producto reduce la firmeza o consistencia del producto como lo menciona otros autores (Fuentes, Cortes, & Talens,

2016). Diferentes autores (Paseephol, Small, & Sherkat, 2008; Penna, Sivieri, & Oliveira, 2001) mostraron valores cercanos (0.52-0.65) a los reportados en la Tabla 2-3 en cuanto al índice de fluidez para un yogur con inulina, mientras que Ramaswamy & Basak, (1991) concuerda con los valores de K (5.56-9.63) y n (0.538-0.540) en su estudio sobre la reología de un yogur batido.

El sirope glucosa- galactosa aporta significativamente ($p < 0.05$) los minerales Magnesio, Potasio y Fosforo, tanto que a medida que aumentaba el nivel de inclusión del SGG, el contenido de estos minerales también incrementó. Para el caso del calcio y las cenizas, no se presentaron diferencias significativas, aunque se pudo observar una tendencia de crecimiento a medida que aumentaba la cantidad de SGG, lo cual esta netamente relacionado con la composición de sirope, porque a pesar de elaborarse mediante el proceso de nanofiltración, estos minerales no fueron eliminados totalmente, y al ser concentrado, los minerales también lo hicieron, logrando una materia prima rica en minerales.

2.3.3. Propiedades microbiológicas del yogur

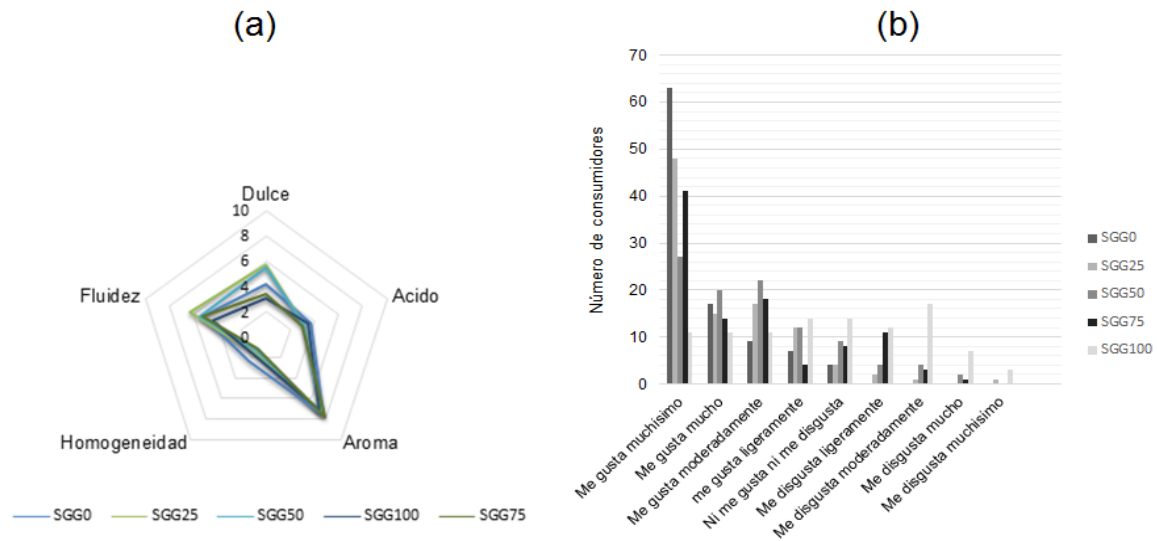
Todos los tratamientos presentaron un recuento coliformes totales de 10UFC, recuento de *E. coli* <10UFC y recuento de mohos y levaduras entre 200 y 500 UFC, encontrándose dentro de los límites permisibles de la NTC 805 de 2005 para leches fermentadas, logrando ser un producto inocuo para el consumo humano.

2.3.4. Evaluación sensorial del yogur

La evaluación sensorial realizada por los técnicos expertos dio como resultado los datos observados en la Figura 2-2 (a). A medida que aumentaba la inclusión de sirope, el yogur presentó una tendencia a disminuir en la percepción del dulzor, debido a que el dulzor es relativo a la concentración a la cual se encuentre (Jenness, Wong, Marth, & Keeney, 1999). El sabor ácido fue similar para los diferentes tratamientos, aunque la sustitución de 100% SGG se percibió un poco más ácido, debiéndose a la acidez misma del sirope. La fluidez se mantuvo en los valores centrales, es decir, no se encontraba ni muy débil, ni muy intensa. En cuanto al aroma, los evaluadores otorgaron una calificación cercano a agradable y finalmente para la homogeneidad tuvo una puntuación baja acercándose a la

nota “sin cristalización”, es decir no se sintieron grumos, tampoco cristales de azúcares ni sensaciones de arenosidad.

Figura 2-7 Pruebas sensoriales para el yogur (a) Prueba de intensidades para los diferentes tratamientos de los atributos: dulce, ácido, aroma, homogeneidad y fluidez (b) Prueba de aceptación general de consumidores para las diferentes inclusiones de SGG.



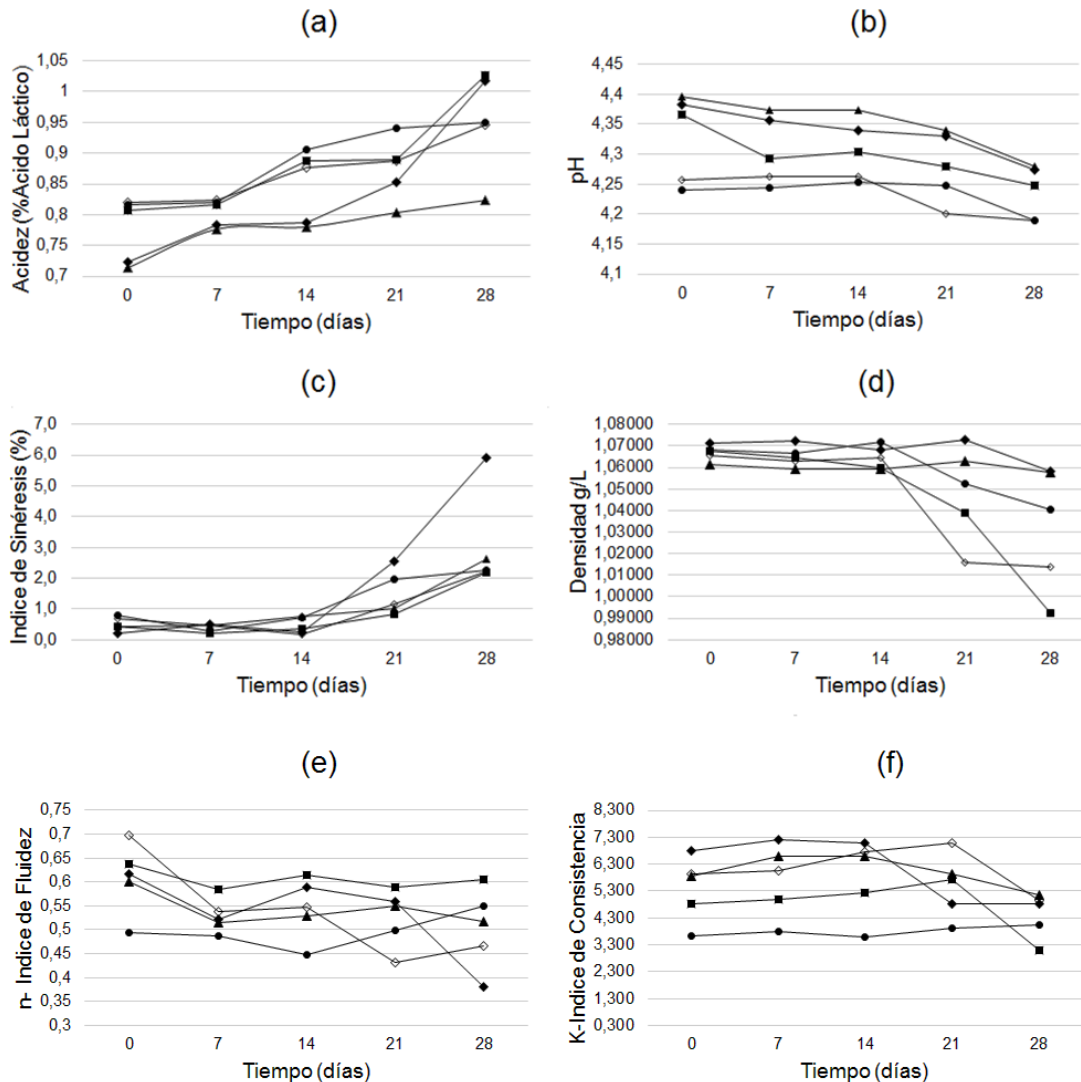
La prueba de aceptabilidad de los productos, realizado a través de la prueba de aceptación con 100 consumidores para cada tratamiento, se llevó a cabo por medio de una encuesta la cual se muestra en el anexo A. Los resultados obtenidos se observan en la Figura 2-2 (b) y determina el nivel de agrado con respecto a cada tratamiento. Las inclusiones 25, 50 y 75%SGG tuvieron una aceptación muy buena por parte de la mayoría de los consumidores, donde más del 75% de los encuestados se situaron entre me gusta ligeramente hasta me gusta muchísimo, teniendo la mayor aceptación el 25% de inclusión, claro está que la sustitución de 75% y 50% mostraron resultados similares a la inclusión de 25%. La inclusión del 100% no tuvo muy buena aceptación aunque el 47% de los consumidores estuvieron por encima de la opinión “Ni me gusta ni me disgusta”.

2.3.5. Estabilidad del yogur

La fermentación es una de las etapas claves en la tecnología del yogur. Al ser inoculada la mezcla con las bacterias *S. thermophilus* y *L. bulgaricus* se inicia una fermentación ácido

láctica donde ocurre una hidrólisis enzimática de la lactosa, alcanzando como resultados los monosacáridos glucosa y galactosa, donde finalmente la glucosa es descompuesta a ácido láctico (Rojas-castro, 2007). Esta producción de ácido láctico ocasiona un descenso en el pH y aumento en la acidez, que tiene lugar no sólo durante la incubación, sino también durante el almacenamiento del yogur, esto se debe a que los microorganismos quedan viables, aunque por el efecto de la baja temperatura el descenso es menos marcado.

Figura 2-8 Valores medios de acidez (a), pH (b), índice de sinéresis (c), densidad (d), n-índice de Fluidez (e) y k-índice de consistencia (f) de yogur endulzado con SGG a diferentes concentraciones durante 28 días de almacenamiento en refrigeración.



0SGG (▲) yogur sin adición de SGG, 25SGG (◆) yogur con adición de 25% del dulzor con SGG, 50SGG (■) yogur con adición de 50% del dulzor con SGG, 75SGG (●) yogur con adición de 75% del dulzor con SGG y 100SGG (◇) yogur con adición de 100% del dulzor con SGG.

La acidez, durante el tiempo de almacenamiento incrementó (Figura 2-3 (a)), debido a que las bacterias ácido lácticas tienen la característica de producir ácidos que incrementan la concentración de H⁺ en el medio, además diferentes autores (Ostlie, Helland, & Narvhus, 2003; Zapata et al., 2015); Zapata et al., 2015) mencionan sobre la actividad proteolítica que tiene el *Lactobacillus spp*, en el cual se producen aminoácidos y pequeños péptidos ácidos que inducen a la reducción del pH, adicionalmente *S. thermophilus* genera metabolitos como el ácido fórmico y el dióxido de carbono que también reducen el valor de pH. Otros autores han reportado esta misma tendencia alcanzando una acidez hasta un 1.44% ácido láctico (Hussain, Attiq-ur-Rahman, & Nigel, 2009; H. Parra & Ricardo, 2013). En la Norma Técnica Colombiana 805 y el *Codex Alimentarius*, correspondiente a leches fermentadas-yogur STAN 243-2003, indican que el valor de acidez debe ser mínimo 0,6% expresado en ácido láctico, por lo cual, los valores de acidez titulable de los diferentes tratamientos se encuentran bajo los parámetros establecidos en ambas normas.

En la Figura 2-3 (b), se puede observar el descenso del pH durante el almacenamiento, para las diferentes sustituciones utilizadas en la elaboración del yogur, observándose que es constante el descenso. Lo anterior como se mencionó anteriormente puede atribuirse a que durante el almacenamiento en condiciones de refrigeración ocurrió una actividad metabólica microbiana por parte de las bacterias ácido lácticas presentes en el yogur como los mencionan diferentes autores (Lubber, Decourcelle, Vallet, & Guichard, 2004; Olson & Aryana, 2008; Rojas-castro, 2007; Sahan, Yasar, & Hayaloglu, 2008), quienes presentaron una disminución en el pH de yogur durante el almacenamiento en condiciones de refrigeración y señalan que el pH característico del yogurt está entre 3,8 y 4,5. Hassan & Amjad (2010) realizaron un almacenamiento de 12 días, donde evaluaban dos diferentes tipos de cultivos iniciadores, obteniendo como resultado la misma tendencia respecto al pH. Machado *et al.*, (2017) elaboraron un yogur endulzado con miel de abeja, y realizaron un almacenamiento de 28 días, mostraron que el pH disminuía a medida que trascurrían los días. Además, Kailasapathy (2006) relaciona la disminución del pH del yogur a la degradación de la lactosa en ácido láctico.

El paso del tiempo mostro un aumento significativo en el Índice de sinéresis, esto se debe a la perdida de estabilidad y retención de agua de los componentes del yogur, además al transcurrir el tiempo se van dando modificaciones estructurales en el gel (Simanca & Andrade, 2013). Aunque los niveles máximos alcanzados con estos tratamientos fueron del 6%, cercanos a los reportados por Lobato *et al.*, 2014, donde el día 15 alcanzó valores máximos de 2.5g/100g, es decir la estructura del gel es adecuada, ya que según Tamime & Robinson (2006) no lo es cuando el porcentaje de sinéresis es mayor al 42%. Existen diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los yogures que contenían sacarosa y el yogur endulzado totalmente con SGG, donde el índice de sinéresis fue casi del doble para el día 28 respecto a los demás tratamientos, lo que indica que el SGG al usarse al 100%, no tiene las características para retener agua. Este comportamiento puede ser explicado por la disminución en el pH durante el almacenamiento, lo cual puede tener efecto de contracción en la matriz proteica de la micela de caseína causando más eliminación de lactosuero (Achanta, Ñ, & Boeneke, 2007). Al respecto diferentes autores (Peng, Sierra, Horne, & J.A. Lucey, 2009) mencionan que el contenido de sólidos en un yogur ayuda a prevenir la separación de lactosuero.

La densidad se vio afectada después del día 14, debido a que al pasar los días esta fue disminuyendo para los tratamientos con mezclas de sacarosa y SGG. Se mantuvo estable durante los primeros 14 días disminuyendo en los tratamientos 25%, 50% y 75% SGG, mientras que el control y el 100% sirope se mantuvieron constantes. Todos los tratamientos tuvieron diferencias significativas como se observa en la Figura 2-3 (d). Este mismo fenómeno es presentado por (Mendoza, Trujillo., & Duran., 2007) al adicionar almidón de ñame sobre un yogur batido y puede ser debido a la estrecha relación que existe entre la densidad con la grasa, solidos no grasos y el agua, donde debido al aumento del índice de sinéresis, se elimina agua que estaba atrapada en el gel.

Por otra parte, el índice de fluidez y el índice de consistencia, ambos asociados a la viscosidad del yogur se vieron afectados por el tiempo significativamente ($p < 0.05$). Estos dos factores presentaron una tendencia similar decrece a medida que transcurrían los días de almacenamiento para todos los tratamientos. Aunque el índice de consistencia se mantuvo estable los primeros 21 días para la mayoría de los tratamientos, el día 28 hubo un decrecimiento drástico, a excepción del tratamiento con 75%SGG el cual se mantuvo

constante en el tiempo, se observa que pasa de más viscosa al inicio y menos viscosa al final del almacenamiento, otros autores concordaron con esta misma tendencia (Aportela-Palacios, Sosa-Morales, & Vélez-Ruiz, 2005). En el caso del índice de fluidez, la mayoría de los tratamientos presentaron diferencias significativas en el tiempo, a excepción del tratamiento sin adición de sirope. La disminución de viscosidad en el tiempo está relacionada con los cambios de pH observados en las diferentes formulaciones, tal como lo mencionan otros autores (Ruiz Rivera & Ramírez Matheus, 2009) quienes asocian la disminución de la viscosidad del gel con los pH ácidos.

Tabla 2-8 Parámetros de color del yogur adicionado con sirope glucosa-galactosa a diferentes concentraciones, durante 28 días de almacenamiento bajo refrigeración.

Día	Tratamiento					
	0SGG	25SGG	50SGG	75SGG	100SGG	
L*	0	61,70 ($\pm 2,70$) ^a	65,86 ($\pm 0,05$) ^a	64,33 ($\pm 3,79$) ^a	65,01 ($\pm 1,62$) ^a	62,96 ($\pm 0,10$) ^a
	7	69,99 ($\pm 1,04$) ^b	70,12 ($\pm 2,52$) ^{ab}	64,79 ($\pm 2,57$) ^{ab}	63,00 ($\pm 2,44$) ^{ab}	68,47 ($\pm 1,49$) ^{ab}
	14	70,87 ($\pm 2,18$) ^b	61,83 ($\pm 3,18$) ^a	70,48 ($\pm 1,36$) ^c	67,17 ($\pm 0,26$) ^{ac}	62,62 ($\pm 1,81$) ^{ac}
	21	67,17 ($\pm 0,49$) ^{bc}	72,22 ($\pm 3,33$) ^{bc}	65,67 ($\pm 2,74$) ^{abcd}	70,23 ($\pm 3,25$) ^c	67,25 ($\pm 2,01$) ^c
	28	67,18 ($\pm 1,56$) ^{bc}	67,18 ($\pm 1,56$) ^{abc}	67,49 ($\pm 1,21$) ^{abcd}	67,73 ($\pm 1,14$) ^{ab}	69,24 ($\pm 1,22$) ^{ab}
a*	0	-1,78 ($\pm 0,13$) ^a	-2,14 ($\pm 0,01$) ^a	-2,58 ($\pm 0,18$) ^a	-2,73 ($\pm 0,10$) ^a	-2,51 ($\pm 0,01$) ^a
	7	-2,06 ($\pm 0,05$) ^b	-2,51 ($\pm 0,19$) ^b	-2,57 ($\pm 0,09$) ^{ab}	-2,68 ($\pm 0,12$) ^a	-3,14 ($\pm 0,08$) ^a
	14	-2,02 ($\pm 0,08$) ^{bc}	-2,04 ($\pm 0,06$) ^{ac}	-2,85 ($\pm 0,06$) ^c	-3,00 ($\pm 0,01$) ^b	-2,93 ($\pm 0,07$) ^b
	21	-1,88 ($\pm 0,04$) ^{ad}	-2,38 ($\pm 0,14$) ^b	-2,34 ($\pm 0,10$) ^d	-3,04 ($\pm 0,20$) ^b	-2,96 ($\pm 0,11$) ^b
	28	-1,90 ($\pm 0,06$) ^{acd}	-1,84 ($\pm 0,11$) ^c	-2,55 ($\pm 0,09$) ^{ab}	-2,18 ($\pm 0,09$) ^c	-2,98 ($\pm 0,04$) ^c
b*	0	8,53 ($\pm 0,38$) ^a	10,17 ($\pm 0,00$) ^a	11,02 ($\pm 0,47$) ^a	12,23 ($\pm 0,23$) ^a	12,58 ($\pm 0,01$) ^a
	7	9,27 ($\pm 0,06$) ^b	10,80 ($\pm 0,57$) ^b	10,91 ($\pm 0,18$) ^{ab}	11,49 ($\pm 0,38$) ^b	13,34 ($\pm 0,18$) ^a
	14	9,36 ($\pm 0,12$) ^{bc}	9,70 ($\pm 0,24$) ^a	11,61 ($\pm 0,18$) ^c	12,44 ($\pm 0,03$) ^{ac}	12,32 ($\pm 0,21$) ^a
	21	9,12 ($\pm 0,11$) ^{bcd}	10,73 ($\pm 0,28$) ^{abc}	11,16 ($\pm 0,18$) ^{abc}	12,77 ($\pm 0,49$) ^{ac}	12,80 ($\pm 0,27$) ^a
	28	8,77 ($\pm 0,13$) ^{ad}	10,97 ($\pm 0,31$) ^{bc}	11,73 ($\pm 0,38$) ^c	11,31 ($\pm 0,17$) ^b	12,84 ($\pm 0,22$) ^a

0SGG - yogur sin adición de Sirope Glucosa galactosa; 25SGG - yogur con adición del 25% SGG respecto al dulzor; 50SGG - yogur reemplazando el 50% de su dulzor por SGG; 75SGG - yogur con adición de 75% SGG respecto al dulzor y 100SGG yogur que se añade el 100% de su dulzor con SGG. ^{a-d} Medias \pm desviaciones estándar con letras iguales minúsculas en la misma fila denotan que no existen diferencias significativas entre las diferentes formulaciones, basado en la prueba de Fisher ($p < 0,05$).

Los valores medios de los parámetros de color para los diferentes formulaciones de yogures con SGG se presentan en la Tabla 2-4. El valor L* aumento significativamente ($p < 0,05$) para todas las formulaciones de yogur al finalizar el periodo de almacenamiento.

Los valores de brillo más altos resultan en objetos más ligeros, que pueden asociarse con el color blanco característico de la leche (Machado *et al.*, 2017).

Los valores a^* se diferencian significativamente en el tiempo, aumento para los tratamientos de 0%SGG y 100%SGG, mientras que los demás tratamientos disminuyeron. Esta característica de color en los yogures puede ser asociada con las características de color del Sirope glucosa-galactosa añadida y la posible presencia de compuestos derivados de la reacción de Maillard. El valor b^* igualmente presentó diferencias significativas ($p < 0.05$) al cumplirse los 28 días de almacenamiento, siendo mayor este valor en el último día para todos los tratamientos del yogur endulzado con SGG, la razón de este fenómeno también se explica por la posible presencia de derivados de la reacción de Maillard, debido a que este edulcorante al poseer azúcares reductores y someterse a altas temperaturas durante su elaboración pueden generar dichos compuestos.

2.4. Conclusiones

El sirope glucosa galactosa puede ser usado como una alternativa de edulcorante para la elaboración de yogur, el nivel máximo recomendado es de 75% de inclusión respecto al dulzor, teniendo en cuenta el análisis sensorial, fisicoquímicos y de estabilidad.

Así, el SGG no interfirió en las características fisicoquímicas tales como grasa, proteína, sinéresis, índice de fluidez y consistencia del yogur, además no fue significativo su aporte en calcio sobre el producto. Por otra parte sí presentó influencia sobre el aumento de los niveles de Magnesio, Fosforo, Potasio y cenizas, inclusive logró aumentar la acidez, densidad y sólidos solubles del yogur, adicionalmente disminuyó la humedad y el pH.

A nivel sensorial tuvo una buena aceptación por parte de los consumidores para todos los tratamientos a excepción del 100%SGG, mientras que el tratamiento de preferencia fue el de 25%SGG de inclusión. Por otra parte los técnicos expertos concluyeron que la mayor diferencia se presenta en el dulce, debido a que el tratamiento de 100%SGG se percibió menos dulce que las demás inclusiones.

Durante el tiempo de almacenamiento la acidez y el índice de sinéresis aumentaron significativamente con el pasar de los días, mientras que el pH, la densidad y los

parámetros de la viscosidad (índice de fluidez y consistencia) disminuyeron significativamente al transcurrir los días para los tratamientos evaluados.

Referencias

- Achanta, K., Ñ, K. J. A., & Boeneke, C. A. (2007). Fat free plain set yogurts fortified with various minerals, *40*, 424–429. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2006.01.001>
- AGRONET. (2014). Produccion de Yogures y Leches Fermentadas.
- Amaya-Llano, S. L., Martínez-Alegría, A. L., Zazueta-Morales, J. J., & Martínez-Bustos, F. (2008). Acid thinned jicama and maize starches as fat substitute in stirred yogurt. *LWT - Food Science and Technology*, *41*(7), 1274–1281. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2007.08.012>
- Aportela-Palacios, A., Sosa-Morales, M. E., & Vélez-Ruiz, J. F. (2005). Rheological and physicochemical behavior of fortified yogurt, with fiber and calcium. *Journal of Texture Studies*, *36*(3), 333–349. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4603.2005.00020.x>
- Aznar, L. A. M., Ral, P. C., Rosa, M., Anta, O., José, J., Martín, D., ... Pylori, D. H. (2013). Evidencia científica sobre el papel del yogur y otras leches fermentadas en la alimentación saludable de la población española OF YOGURT AND OTHER FERMENTED MILKS IN THE HEALTHY DIET FOR THE SPANISH, *28*(6), 2039–2089. <https://doi.org/10.3305/nh.2013.28.6.6856>
- Beltran, L. J., & Alejandro Acosta. (2012). Empleo de una β -galactosidasa comercial de *Kluyveromyces lactis* en la hidrólisis de lactosuero Usage of a commercial β -galactosidase from *Kluyveromyces lactis* in the hydrolysis of whey. *Hechos Microbiol*, *3*(2), 25–35.
- Chollet, M., Gille, D., Schmid, A., Walther, B., & Piccinali, P. (2013). Acceptance of sugar reduction in flavored yogurt. *Journal of Dairy Science*, *96*(9), 5501–5511. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-6610>
- Dello Staffolo, M., Bertola, N., Martino, M., & Bevilacqua, A. (2004). Influence of dietary fiber addition on sensory and rheological properties of yogurt. *International Dairy Journal*, *14*(3), 263–268. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2003.08.004>
- Fuentes, A., Cortes, V., & Talens, P. (2016). Comportamiento reológico de un alimento en función su contenido en grasa. *Universitat Politècnica de Valencia*.
- Hashemi, H., Hadi, M., & Mesbahi, G. (2015). Scientific and technical aspects of yogurt fortification : A review. *Food Science and Human Wellness*, *4*(1), 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2015.03.002>
- Hassan, A., & Amjad, I. (2010). Nutritional evaluation of yoghurt prepared by different starter cultures and their physiochemical analysis during storage, *9*(20), 2913–2917.
- Hoppert, K., Zahn, S., Jänecke, L., Mai, R., Hoffmann, S., & Rohm, H. (2013). Consumer acceptance of regular and reduced-sugar yogurt enriched with different types of dietary fi ber. *International Dairy Journal*, *28*(1), 1–7.

<https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2012.08.005>

- Hussain, I., Attiq-ur-Rahman, & Nigel, A. (2009). Hussain.pdf. *Pakistan Journal of Nutrition*, 8, 9–12.
- Jeness, R., Wong, N. P., Marth, E. H., & Keeney, M. (1999). *Fundamentals of Dairy Chemistry*. Aspen publishers.
- Kailasapathy, K. (2006). Survival of free and encapsulated probiotic bacteria and their effect on the sensory properties of yoghurt. *LWT - Food Science and Technology*, 39(10), 1221–1227. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2005.07.013>
- Keogh, M. K., & O’Kennedy, B. T. (1998). Rheology of Stirred Yogurt as Affected by Added Milk Fat, Protein and Hydrocolloids. *Journal of Food Science*, 63(1), 108–112. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1998.tb15687.x>
- Lobato, C., Ramírez, C., Vernon, E. J., & Alvarez, J. (2014). Impact of native and chemically modified starches addition as fat replacers in the viscoelasticity of reduced-fat stirred yogurt. *Journal of Food Engineering*, 131, 110–115. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.01.019>
- Lubber, S., Decourcelle, N., Vallet, N., & Guichard, E. (2004). Flavor Release and Rheology Behavior of Strawberry Fatfree Stirred Yogurt during Storage, 3077–3082.
- Machado, G., Elieidy, M., Oliveira, G. De, Isabel, M., Campos, F., Oliveira, P., ... C, R. De. (2017). LWT - Food Science and Technology Impact of honey on quality characteristics of goat yogurt containing probiotic *Lactobacillus acidophilus*, 80, 221–229. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.02.013>
- Mendoza, R., Trujillo., Y., & Duran., D. (2007). Evaluación del almidón de ñame espino (*dioscorea rotundata*) como estabilizante en la elaboración de yogur entero tipo batido. *Bistua: Revista de La Facultad de Ciencias Básicas*, 5(2), 97–105.
- Olson, D. W., & Aryana, K. J. Ñ. (2008). An excessively high *Lactobacillus acidophilus* inoculation level in yogurt lowers product quality during storage \$, 41, 911–918. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2007.05.017>
- Ostle, H., Helland, M., & Narvhus, J. (2003). Growth and metabolism of selected strains of probiotic bacteria in milk. *International Journal of Food Microbiology*, 87, 17–27. [https://doi.org/10.1016/S0168-1605\(03\)00044-8](https://doi.org/10.1016/S0168-1605(03)00044-8)
- Parra, H., & Ricardo, A. (2013). Efecto del té verde (*Camellia sinensis* L .) en las características fisicoquímicas , microbiológicas , proximales y sensoriales de yogurt durante el almacenamiento bajo refrigeración, (1), 56–64.
- Pasephol, T., Small, D. M., & Sherkat, F. (2008). Rheology and texture of set yogurt as affected by inulin addition. *Journal of Texture Studies*, 39(6), 617–634. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4603.2008.00161.x>
- Peng, Y., Sierra, M., Horne, D. S., & J.A. Lucey. (2009). Effect of Fortification with Various Types of Milk Proteins on the Rheological Properties. *Food Chemistry*, 74(9). <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2009.01350.x>

- Penna, A. L. B., Sivieri, K., & Oliveira, M. N. (2001). Relation between quality and rheological properties of lactic beverages. *Journal of Food Engineering*, 49(1), 7–13. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(00\)00179-5](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00179-5)
- Ramaswamy, H. S., & Basak, S. (1991). Rheology of Stirred Yogurts. *Journal of Texture Studies*, 22(2), 231–241. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4603.1991.tb00016.x>
- Ramírez-Sucre, M. O., & Vélez-Ruiz, J. F. (2013). Physicochemical, rheological and stability characterization of a caramel flavored yogurt. *LWT - Food Science and Technology*, 51(1), 233–241. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.09.014>
- Robinson, R. K., Lucey, J. A., & Tamime, A. Y. (2007). *Manufacture of Yoghurt. Fermented Milks*. <https://doi.org/10.1002/9780470995501.ch3>
- Rojas-castro, W. N. (2007). características del yogurt batido de fresa derivadas de diferentes proporciones de leche de vaca y cabra 1, 18(2), 221–237.
- Ruiz Rivera, J. A., & Ramírez Matheus, A. O. (2009). Elaboración de yogurt con probióticos (*Bifidobacterium* spp. y *Lactobacillus acidophilus*) e inulina. *Revista de La Facultad de Agronomía*, 26(2), 223–242.
- Sahan, N., Yasar, K., & Hayaloglu, A. A. (2008). ARTICLE IN PRESS Physical , chemical and flavour quality of non-fat yogurt as affected by a b -glucan hydrocolloidal composite during storage, 22, 1291–1297. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2007.06.010>
- Shashiki, E. A. (2014). (*lepidium meyenii*) y del tiempo de almacenamiento sobre la acidez , sinéresis , viscosidad aparente y aceptabilidad general de yogurt batido simbiótico. *Pueblo Cont.*, 25, 89–96.
- Simanca, M. M., & Andrade, R. D. (2013). Efecto del Salvado de Trigo en las Propiedades Fisicoquímicas y Sensoriales del Yogurt de Leche de Búfala Effect of Bran Wheat on the Physico-Chemical and Sensory Properties of Buffalo Milk Yoghurt, 24, 79–86. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642013000100010>
- Somov, V., Evdokimov, I., Knyazev, S., Perminov, S., & Kurash, Y. (2015). APPLICATION OF WHEY-DERIVED SYRUPS IN DAIRY PRODUCTS. *Food and Raw Materials*, 3(2), 89–95. <https://doi.org/10.12737/13113>
- Zapata, I. C., Sepúlveda-valencia, U., & Rojano, B. A. (2015). Efecto del Tiempo de Almacenamiento sobre las Propiedades Fisicoquímicas , Probióticas y Antioxidantes de Yogurt Saborizado con Mortiño (*Vaccinium meridionale Sw*) Effect of Storage Time on the Physicochemical , Probiotic and Antioxidant Properties of Yo, 26(2), 17–28. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642015000200004>

3. Efecto de la adición de un sirope glucosa-galactosa obtenido de lactosuero dulce, sobre las propiedades fisicoquímicas, sensoriales y de estabilidad de un dulce de leche.

Resumen

El sirope Glucosa-Galactosa (SGG) es un edulcorante obtenido a partir de lactosuero dulce con el fin de reducir niveles de contaminación ocasionado por el vertimiento inadecuado de este subproducto. El efecto de diferentes inclusiones de este edulcorante (SGG) en las propiedades fisicoquímicas, sensoriales y de estabilidad sobre un dulce de leche fueron estudiadas en esta investigación. Como resultado se obtuvo que el sirope tuvo efecto significativo sobre los parámetros: pH, minerales, sólidos solubles y color, adicionalmente le aportó al dulce de leche un color más oscuro y aumentó las concentraciones de diferentes minerales a medida que se incrementa el porcentaje de inclusión. También se evidenció un aumento en el rendimiento del producto final aportando volumen, adicional el reemplazo del 30%SGG logró una textura similar a las inclusiones de 0, 10 y 20% SGG a menos sólidos solubles. A nivel sensorial todas las inclusiones fueron aceptadas por los consumidores con una aceptación de más de 90% de las personas encuestadas.

Palabras claves

Edulcorantes, suero lácteo, dulce de leche, textura, análisis sensorial.

Abstract

Glucose-Galactose syrup (SGG) is a sweetener obtained from sweet whey in order to reduce levels of contamination caused by the inadequate shedding of this by-product. The effect of different inclusions of this sweetener (SGG) on the physicochemical, sensory and safety properties of a dulce de leche were studied in this investigation. As a result, it was obtained that the syrup had a significant effect on the parameters: pH, minerals, soluble solids and color, in addition, a darker color was added to the milk candy and the concentrations of different minerals as the percentage of inclusion increases. An increase in the yield of the final product was also evidenced by providing a volume, in addition the 30% replacement of SGG achieved a texture similar to the inclusions of 0, 10 and 20% of SGG to less soluble solvents. A sensory level all inclusions were accepted by consumers with an acceptance of more than 90% of the people surveyed.

Keywords

Sweeteners, milk serum, dulce de leche, texture, sensory analysis.

3.1. Introducción

El dulce de leche es un producto lácteo típico de América latina, se define como un producto de textura blanda y pegajosa, el cual se elabora al evaporar la leche con sacarosa añadida a presión atmosférica, hasta alcanzar 70% de sólidos totales (Moro & Hough, 1985). La sacarosa usualmente se reemplaza parcialmente por sirope de glucosa para evitar su cristalización, además de participar en las reacciones de Maillard como un azúcar reductor (Moro & Hough, 1985). El bicarbonato es usado como ingrediente para evitar la precipitación de las proteínas y ayudar a impulsar el color dorado característico de este producto.

Adicionalmente, el dulce de leche representa un mercado importante para explorar y promover, ya que se ha aumentado su consumo un 40% desde 1990 según La Dirección Nacional de la Industria Alimentaria en Argentina (SENATI, 2011)

Usualmente el sirope de glucosa es empleado como sustituto parcial del azúcar durante la preparación del dulce de leche; siendo esencial para su sabor dulce, contribuyendo a los sólidos totales del producto, proporcionando brillo y textura (Garitta, Hough, & Sa, 2004). La inclusión de edulcorantes que sustituyan parcial o totalmente a este azúcar es cada vez más frecuente.

El suero lácteo es un subproducto de la industria láctea, que se produce durante la fabricación del queso, produciéndose en grandes cantidades, debido a que el 90% en volumen de leche que se emplea para su fabricación resulta siendo este subproducto. Adicionalmente, es de importancia añadir que es un residuo de la industria rico en nutrientes tales como: proteínas séricas, lactosa y minerales, estando la lactosa en mayor cantidad (Beltran & Alejandro Acosta, 2012) y teniendo mayor poder contaminante. El edulcorante Sirope Glucosa-Galactosa (SGG) obtenido a partir del lactosuero dulce, tiene en su composición lactosa, Glucosa y Galactosa, este puede proporcionar características similares al jarabe de glucosa, por contener este carbohidrato, por consiguiente, puede ser utilizado como sustituto de la sacarosa al endulzar productos como el dulce de leche (Somov et al., 2015). El SGG usado como edulcorante podría sustituir la sacarosa no solo en la fabricación del arequipe sino también como ingrediente en otros productos, minimizando además el impacto ambiental del lactosuero.

Diferentes autores han reportado el uso de agentes edulcorantes en el dulce de leche, destacando la adición de sacarosa, azúcar invertido, povidextrosa, fructosa y sorbitol, principalmente por sus atributos de dulzura (Queiroz, Martin, Santos, & Vasconcellos, 2009; E. Valencia, Millán, & Ramirez, 2008; F. E. Valencia & Millán Cardona, 2008). Otros, han evaluado el efecto de la incorporación de harinas (Lopes *et al.*, 2015) por la funcionalidad y estabilidad que pueden conferir a este producto. La inclusión o modificación de materias primas, en este tipo de productos, ha demostrado influir en diferente medida a sus variables de calidad, siendo las más importantes la textura, pH,

humedad, viscosidad, aceptabilidad general del producto en el tiempo. (Andrade, Ivélez, Arteaga, Díaz, & Sánchez, 2009)

A pesar de la literatura existente, la aplicación de un sirope glucosa-galactosa con 72°Brix (obtenido a partir de lactosuero dulce) ha sido poco explorada. Esta investigación propuso evaluar las diferentes inclusiones de sirope de glucosa-galactosa en las propiedades fisicoquímicas, sensoriales y de estabilidad de un dulce de leche durante el tiempo de almacenamiento en condiciones de refrigeración

3.2. Materiales y métodos

3.2.1. Obtención del concentrado hidrolizado de lactosa (sirope Glucosa-Galactosa)

El sirope Glucosa-Galactosa (SGG) fue obtenido a partir de lactosuero, el cual fue procesado como se indica a continuación: El lactosuero fue sometido a un proceso de calentamiento a 43°C durante 15min para su posterior descremado a 8000 rpm. Seguido de una pasteurización a 63°C por 30min. Luego, se procedió a filtrar el suero en una planta piloto de filtración en el módulo de Ultrafiltración (UF), equipado con una membrana semipermeable en espiral de polietersulfona con un tamaño de corte de 10 kDa. Las condiciones de trabajo del equipo fueron las siguientes: Factor de concentración de 18, presión de entrada de 1 bar, presión de salida de 3 bares y temperatura de 48°C. El permeado obtenido fue sometido a un proceso de nanofiltración utilizando una membrana de polietersulfona con un tamaño de corte de 100Da a una temperatura de 23°C, un factor de concentración de 5, una presión de entrada de 31.5 bares y una presión de etapa de 2 bares, obteniendo así el concentrado de lactosa. Seguido, se realizó un hidrolisis enzimático con lactasa (1.2 ml/L) a 36°C por 3 horas y finalmente se llevó a evaporación hasta alcanzar un valor de sólidos solubles entre de 70 a 73° Brix, se enfrió hasta 45°C y se centrifugó a 8000 rpm en una descremadora industrial de 50L para extraer las sales que se precipitaron durante el calentamiento. Luego, el sirope fue almacenado en refrigeración hasta la preparación del yogur.

Al sirope glucosa-galactosa se le determinó pH (método AOAC 945.10), acidez como % de ácido láctico (método AOAC 945.64) y su contenido de: humedad (método AOAC 925.45), sólidos totales (método AOAC 925.45), sólidos solubles (método AOAC 932.14),

proteínas (AOAC 991.20-23), minerales (método NTC 5151) y cenizas (método AOAC 923.03). El poder edulcorante se realizó por medio de una prueba sensorial por aproximación multidimensional con 3 panel expertos con una edad entre 35 y 60 años, según la NTC 3501 y 3915, Guías técnicas Colombiana 165 y 226.

3.2.2. Elaboración del dulce de leche

Para la elaboración del dulce de leche fue utilizada leche entera, la cual se obtuvo mediante el ordeño mecánico de vacas Holstein, que conforman el hato lechero de la hacienda Paysandú; propiedad de la Universidad Nacional de Colombia, ubicada en el corregimiento de Santa Elena, municipio de Medellín. Se le determinó a la leche contenido de sólidos totales (NTC 4979), proteínas (AOAC 972.16), grasa (AOAC 989.04), acidez como contenido de ácido láctico (NTC 4623), densidad por medio del lactodensímetro de Quevenne, punto crioscópico (DE568) y pH (NTC 4592).

Durante la formulación se planteó una dulzura final de 17%. La leche previamente filtrada, se le adicionó citrato de sodio al 0.1% de la mezcla total a realizar y se inició el calentamiento de la leche con agitación continua en una marmita de 200 litros, a 30°C se le añadió el azúcar y la leche en polvo en la proporción requerida. Aparte, al edulcorante se le adicionó NaOH para llegar a una acidez de 0.22 y bicarbonato para alcanzar 0.12% de ácido láctico. Cuando la mezcla del azúcar, leche líquida, leche en polvo y citrato de sodio tuvo una concentración de 40°Brix se le adicionó el edulcorante previamente tratado, se evaporó hasta llegar a una concentración de 70 a 75°Brix. El dulce de leche se vertió en los recipientes, se dejó enfriar a temperatura ambiente y finalmente se almacenó. En la Tabla 3-1 se detalla las cantidades de cada ingrediente utilizados para la fabricación del dulce de leche.

Tabla 3-9 Formulación del dulce de leche con diferentes inclusiones SGG

Tratamiento	0%SGG	10%SGG	20%SGG	30%SGG
Leche (L)	40	40	40	40
Azúcar (Kg)	6,8	6,12	5,44	4,76
SGG (Kg)	0	1,36	2,72	4,08
Citrato de sodio (g)	43	43	43	43
Leche en polvo (g)	200	200	200	200

3.2.3. Análisis fisicoquímicos

Las características tales como pH, color, viscosidad aparente, actividad de agua, grasa, proteína, humedad, sólidos totales, sólido solubles, textura y minerales fueron determinados para las diferentes formulaciones del dulce de leche. El pH se determinó utilizando un potenciómetro (pHmetro OHAUS STARTER 3100) por inmersión de electrodo en la muestra, previa calibración con soluciones tampón de pH 4, 7 y 10 a 20 °C (NTC 4592). El color se evaluó el método CIE L*a* con un colorímetro Konica Minolta serie CR-400, donde L* es la luminosidad (0 negro, 100 blanco), a* representa los colores rojos y verdes y b* detalla los colores azules y amarillos. Los sólidos totales se realizó por método gravimétrico (BALDASSO, BARROS Y TESSARO, 2011). Para la viscosidad se midió la velocidad de rotación y arrastre que un husillo N°RV7 (Andrade *et al.*, 2009) ejerce contra un fluido viscoso, al encontrarse este sumergido en la muestra con 10rpm. La medición se realizará a 25°C utilizando un reómetro Brookfield DV-III ultra que reporta datos viscosidad y revoluciones por minuto (rpm). Por otro lado la grasa se midió por medio del método de Babcock modificado. La proteína se determinó mediante el método de Kjeldahl (AOAC 991.20-23). Los sólidos solubles fueron evaluados por medio de un refractómetro digital HI 96801 (Baldasso, Barros y Tessaro, 2011). La determinación de actividad de agua se realizó por método de punto de rocío con el equipo Aqualab Serie 4TE (AOAC. 2000, 2007). La humedad se realiz en una estufa al vacío VO (Memmert) a una temperatura de 60°C, presión de 33mb, hasta peso constante (AOAC 977.21). Los Minerales se determinaron por medio de la espectrofotometría de absorción atómica (NTC 5151). Se realizaron mediciones de análisis de perfil de textura, usando un texturómetro TA-XT2i provisto con una celda de carga de 50 kg y una sonda esférica de 20 mm de diámetro; las condiciones de operación fueron: velocidad de pre-ensayo 9 mm/s, velocidad de ensayo 10 mm/s, velocidad pos-ensayo 8 mm/s, Se evaluaron los parámetros instrumentales para la textura (dureza, elasticidad, adhesividad, gomosidad y cohesividad) (F. E. Valencia & Millán Cardona, 2008)

3.2.4. Análisis microbiológico en el dulce de leche

El dulce de leche fue evaluado en la calidad microbiológica higiénica sanitario, considerando los criterios establecidos por la legislación Colombiana en términos de recuento de mohos y levaduras según Resolución 2310. Este análisis se realizó por medio del método descrito en AOAC 995.21 con el medio de cultivo agar DRBC.

3.2.5. Evaluación sensorial del dulce de leche

Los dulces de leche elaborados con diferentes inclusiones de sirope glucosa-galactosa fueron sometidos a una prueba de aceptabilidad sensorial con consumidores 24 horas posteriores a su elaboración. El panel de degustación estuvo formado por 100 consumidores escogidos al azar dentro de la Universidad Nacional de Colombia conformados por un 50% mujeres y 50% hombres. Se evaluó la percepción de los consumidores en cuanto a la aceptabilidad general, utilizando una escala hedónica estructurada de 9 puntos. Otro panel sensorial se realizó para evaluar la intensidad atributos (NTC 2680) del dulce de leche, este panel estuvo conformado por 20 técnicos expertos, los cuales evaluaron la intensidad de las características tales como textura, color, aroma, cristalización y untabilidad en una escala no estructurada de 10 puntos, la cual se muestra en el Anexo B.

3.2.6. Estabilidad del producto

El pH, viscosidad, color, actividad de agua y humedad fueron evaluados durante 60 días a temperatura ambiente aplicando estudios de estabilidad directos a tiempo real. Durante este procedimiento el producto fue mantenido en las condiciones previstas para su almacenamiento a temperatura de 25°C y una humedad relativa de 60% en una cámara climática Memmert ICH 260. Los arequipes fueron empacados en un envase de polipropileno #5.

3.2.7. Análisis estadístico del dulce de leche

Se utilizó un diseño unifactorial aleatorio con cuatro tratamientos determinados por la sustitución (respecto al dulzor) de 0%, 10%, 20% y 30% de sacarosa por un sirope glucosa-galactosa (72°Brix),

Una vez elaborado el dulce de leche (día 1) se realizó la valoración sensorial y evaluación fisicoquímica a cada uno de los 4 tratamientos descritos anteriormente (ver procedimiento de elaboración del dulce de leche), posteriormente se planteó un análisis de estabilidad, para el cual cada unidad experimental estuvo representada por una compota de dulce de leche.

El análisis estadístico para las muestras del Dulce de leche se determinó mediante análisis de varianza (ANAVA) utilizando el paquete estadístico Statgraphics XVI.I, con el fin de establecer si existen diferencias significativas entre las variables fisicoquímicas y análisis proximal de los tratamientos elaborados. El valor $P < 0,05$ se considerará como estadísticamente significativo.

3.3. Resultados y discusiones

3.3.1. Caracterización de la materia prima

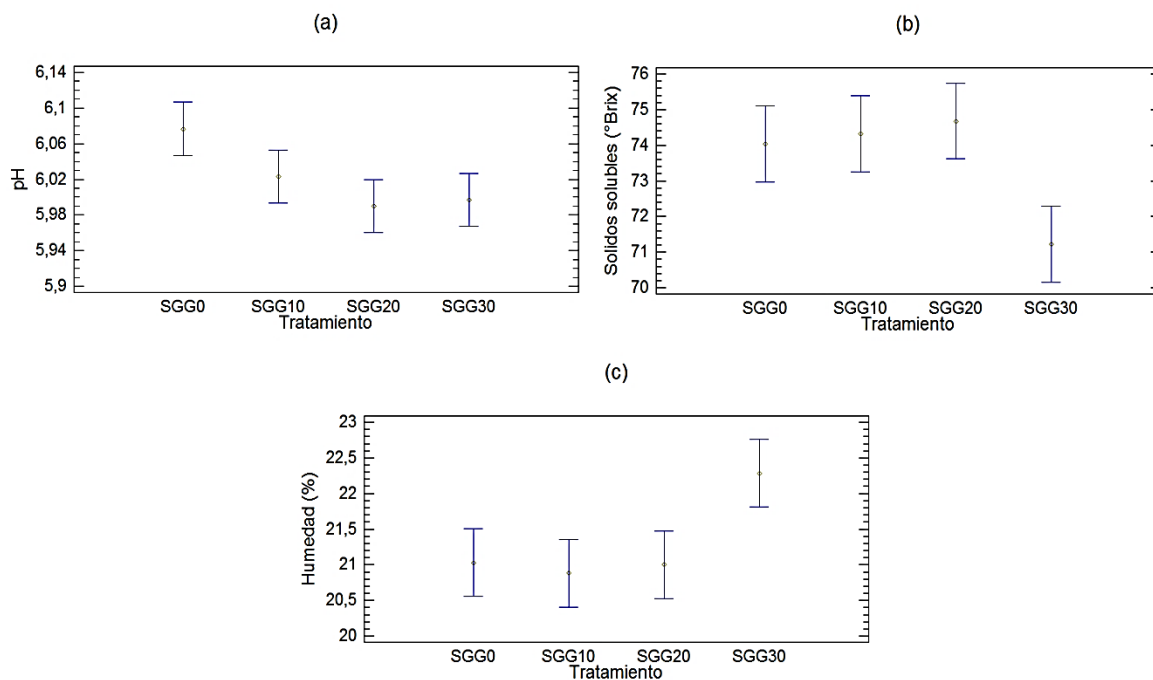
Tabla 3-10 Parámetros fisicoquímicos del Sirope glucosa- Galactosa y Leche de vaca utilizada como materia prima para la preparación de yogur.

SGG	
Acidez (%Ácido láctico)	1,25 ± 0,088
pH	4,85 ± 0,073
Densidad (g/L)	1,3700 ± 0,012
Humedad (%)	24,24 ± 2,62
Actividad de agua	0,73 ± 0,026
Solidos solubles (°Brix)	72,51 ± 1,85
n-Índice de fluidez	0.848 ± 0.071
k- índice de consistencia	1.416 ± 0.224
Color	L: 35,18 ± 1,85 a*: -3,35 ± 0,95 b*: 16,89 ± 1,96
Proteína (%p/p)	<2.5%
Calcio (%p/p)	0.26 ± 0.04
Fosforo (%p/p)	0.38 ± 0.04
Magnesio (mg/Kg)	834 ± 60
Potasio (%p/p)	0.98 ± 0.13
Cenizas (%p/p)	3.45 ± 0.26
Poder Edulcorante	0,5
Leche	
Densidad (g/L)	1.0313 ± 0.0004
pH	6.68 ± 0.04
Acidez (%Ácido láctico)	0.17 ± 0.01
Grasa (%)	3.7 ± 0.1
Proteína (g/L)	3.25 ± 0.06
Solidos no grasos (%)	8.70 ± 0.08
Solidos totales (%)	12.37 ± 0.13
Punto crioscópico	0.514 ± 0.003

La Tabla 3-2 reporta las propiedades fisicoquímicas del sirope glucosa-galactosa, mostrando que es una materia prima ácida, densa con baja humedad, color amarillo-verdoso, con alta cantidad de minerales y un poder edulcorante de 50% respecto al valor de la sacarosa. Adicionalmente, el sirope es un fluido no-newtoniano pseudoplástico según las propiedades reológicas obtenidas. La leche presenta características de alta calidad según la NTC 399.

3.3.2. Propiedades Fisicoquímicas del dulce de leche

Figura 3-9 Comportamiento de los parámetros fisicoquímicos de dulce de leche con diferente contenidos de sirope glucosa-galactosa. (a) pH, (b) sólidos solubles y (c) humedad.



El pH presenta una variabilidad estadística significativa ($p < 0.05$) entre los diferentes tratamientos utilizados por la adición de SGG; como se puede observar en la Figura 3-1 (a), a medida que aumenta el nivel de inclusión de SGG, el pH disminuye, debiéndose a la presencia del sirope, el cual a pesar de ser neutralizado antes de aplicarse al dulce de leche presenta pH aun bajos, además por su bajo poder edulcorante debe ser adicionado

en mayor cantidad que la sacarosa, disminuyendo en consecuencia el pH. Todos los pHs estuvieron cercanos a los reportados por (Novoa & Ramirez-Navas, 2012).

La humedad no cambio para los primeras dos sustituciones (10 y 20% SGG), mientras que para el 30% de inclusión se evidenciaron diferencias significativas, esto se debe a que se detuvo el proceso a unos solidos solubles más bajos, debido a que el producto presentaba una textura adecuada pero el tiempo de evaporación fue menor, generando un producto con mayor contenido de agua. Los valores de humedad se encuentran dentro de los parámetros establecidos por la NTC 3757. Andrade *et al.* (2009), encontraron valores de 22% de humedad para un dulce de leche a partir de leche de búfala. En cuanto a los sólidos totales, estos no presentaron diferencias significativas entre tratamientos y los valores (77.90%) concuerda con los datos reportados por Andrade *et al.* (2009).

El SGG influyo significativamente ($p < 0.05$) sobre los sólidos solubles, los cuales presentaron una tendencia particular (Figura 3-1 (b)), al adicionar hasta un 20% de edulcorante, para llegar a la textura deseada se requiere alcanzar alrededor de los 74 a 75°Brix, mientras que al adicionar un 30% del sirope esta textura se logró a unos sólidos solubles de 70,5°Brix, esto puede deberse al aporte de solidos solubles del SGG en tal cantidad. Esta teoría se puede suponer debido a que en el análisis de textura no se evidenciaron diferencias significativas ($p > 0.05$) entre tratamientos, presentando las características que se muestran en la Tabla 3-3 y en la Figura 3-1(b). Además, la viscosidad tampoco fue afectada por el sirope manteniéndose constante para todas las inclusiones de SGG, aunque el dulce de leche es un producto que va perdiendo viscosidad aparente a medida se aplica mayor velocidad de deformación, presentando características de un fluido pseudoplástico y tixotrópico.(Andrade *et al.*, 2009; Pauletti, Venier, Sabbag, & Stechina, 1990; Rovedo, Viollaz, & Suarez, 1991). Adicionalmente, los sólidos solubles están dentro de los rangos reportados por Novoa & Ramirez-Navas (2012) para manjares blancos comerciales, los cuales se encontraban entre 65.16-76.47°Brix.

Los valores de textura: adhesividad, cohesividad, elasticidad, gomosidad y dureza no presentaron diferencias significativas entre los tratamientos por la inclusión de SGG. En cuanto a la adhesividad, es importante resaltar que los valores obtenidos son negativos, lo cual indica que la textura del arequipe es pegajoso o adhesiva, es decir, cuando el

producto es consumido este se adhiere al paladar. Los datos mencionados por Valencia, Millán, & Ramírez (2008) son menores a los del presente artículo debido a que sólidos solubles fueron menores (60°Brix) y humedades mayores a 30%, lo que conlleva a texturas más blandas. Mientras que los reportados por Valencia & Millán (2008) concuerdan a los mostrados en el presente trabajo de investigación, al elaborar un dulce de leche con povidex, fructosa y sorbitol.

Tabla 3-11 Parámetros fisicoquímicos del dulce de leche con SGG en diferentes concentraciones.

	Tratamiento			
	0SGG	10SGG	20SGG	30SGG
Adhesividad (N.s)	-1,423 (\pm 2,150) ^a	-2,654 (\pm 1,557) ^a	-2,410 (\pm 0,462) ^a	-1,228 (\pm 0,737) ^a
Cohesividad	1,581 (\pm 0,035) ^a	2,419 (\pm 0,017) ^a	2,306 (\pm 0,046) ^a	1,218 (\pm 0,065) ^a
Elasticidad	0,912 (\pm 0,189) ^a	0,811 (\pm 0,153) ^a	0,873 (\pm 0,093) ^a	0,848 (\pm 0,116) ^a
Gomosidad	1,632 (\pm 1,748) ^a	2,237 (\pm 1,205) ^a	2,263 (\pm 0,454) ^a	1,176 (\pm 0,884) ^a
Dureza (N)	2,419 (\pm 1,980) ^a	2,306 (\pm 1,272) ^a	1,218 (\pm 0,409) ^a	1,580 (\pm 0,795) ^a
Viscosidad aparente (cp)	55167 (\pm 15792) ^a	44187 (\pm 17192) ^a	66700 (\pm 1258) ^a	53613 (\pm 24583) ^a
a_w	0,7993 (\pm 0,0073) ^a	0,7923 (\pm 0,0048) ^{ab}	0,7897 (\pm 0,0240) ^{ab}	0,8223 (\pm 0,0153) ^a
Grasa (%)	8,1 (\pm 0,3) ^a	7,6 (\pm 0,4) ^a	7,6 (\pm 0,5) ^a	7,6 (\pm 0,5) ^a
Sólidos Totales (%)	78,9713 (\pm 1,3170) ^a	78,502 (\pm 0,2451) ^a	79,0007 (\pm 0,6252) ^a	77,7167 (\pm 0,4753) ^a
Proteína (%p/p)	7.8 (\pm 0.5) ^a	7.3 (\pm 0.9) ^a	8.0 (\pm 0.2) ^a	7.3 (\pm 0.4) ^a
Calcio (%p/p)	0.25 (\pm 0.02) ^a	0.26 (\pm 0.01) ^a	0.27 (\pm 0.02) ^a	0.25 (\pm 0.04) ^a
Fosforo (%p/p)	0.23 (\pm 0.02) ^a	0.25 (\pm 0.02) ^a	0.26 (\pm 0.01) ^a	0.25 (\pm 0.03) ^a
Magnesio (mg/Kg)	262.3 (\pm 7.8) ^a	342.3 (\pm 13.0) ^b	381.3 (\pm 12.8) ^c	401.3 (\pm 12.7) ^a
Potasio (%p/p)	0.48 (\pm 0.03) ^a	0.63 (\pm 0.07) ^b	0.63 (\pm 0.02) ^c	0.72 (\pm 0.04) ^c
Cenizas (%p/p)	2.16 (\pm 0.07) ^a	2.39 (\pm 0.06) ^{ab}	2.63 (\pm 0.08) ^{abc}	2.66 (\pm 0.06) ^c
Rendimiento (%)	37.4	38.5	39.6	41.4

0SGG – dulce de leche sin adición de Sirope Glucosa galactosa; 10SGG – dulce de leche con adición del 10% SGG respecto al dulzor; 20SGG – dulce de leche reemplazando el 20% de su dulzor por SGG y 30SGG yogur que se añade el 30% de su dulzor con SGG. ^{a-c} Medias \pm desviaciones estándar con letras iguales minúsculas en la misma fila denotan que no existen diferencias significativas entre las diferentes formulaciones, basado en la prueba de Fisher ($p < 0,05$).

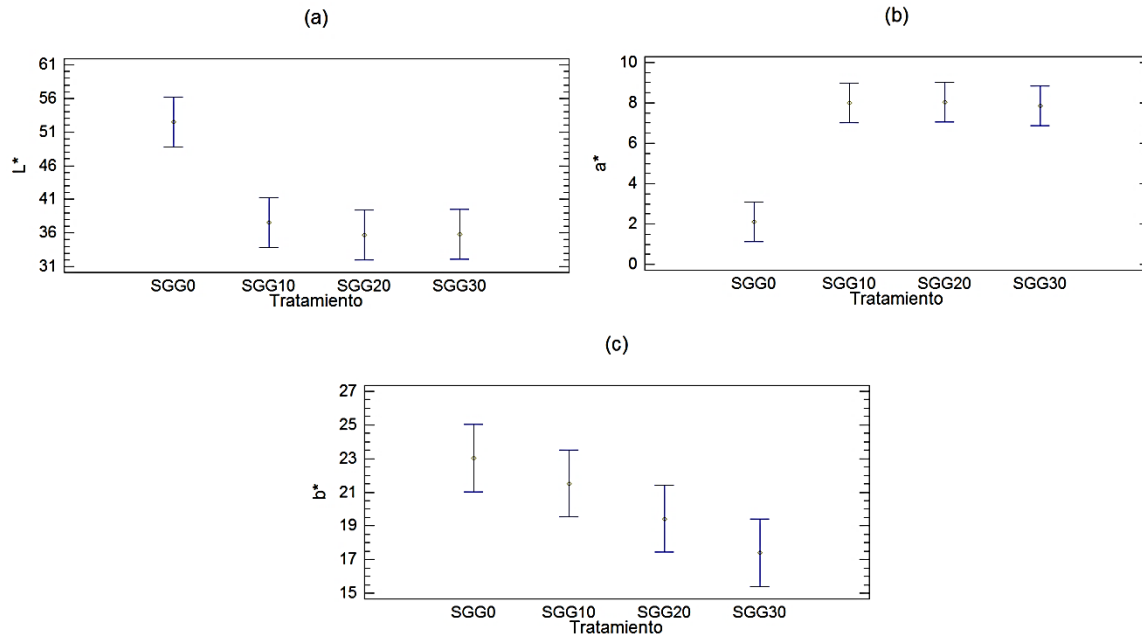
El SGG no tuvo efecto significativo sobre la actividad de agua, ni sobre la grasa del dulce de leche como se observa en la tabla 3-3. Esto se debe a que la actividad de agua de arequipe es muy similar al del sirope, ambos sometidos a evaporación, adicionalmente este edulcorante contiene mínimas concentraciones de grasa debido a los procesos por los cuales se ve involucrado durante su elaboración, tales como descremado del suero, además de pasar por membranas de ultrafiltración y nanofiltración, y finalmente la centrifugación para eliminar los minerales. Por tanto es evidente que no debe alterar el producto final. Así mismo, se encuentra dentro de los rangos permitidos por la NTC 3757 que menciona que debe estar entre 6-9% y es validado por Andrade *et al.* (2009) quienes reportan valores de 7.95 para un dulce de leche de bufala.

La proteína no presentó diferencias significativas entre tratamientos, presentando valores entre 7.3-8.0%, los cuales son similares a los reportados por Garitta *et al.* (2004) con 7% para un arequipe comercial, también Sousa, Neves, Carneiro, Peixoto, & Farias (2002) encontraron valores entre 7.81-10% para un arequipe elaborado a partir de leche de búfala. Por otra parte los dos minerales (Magnesio y potasio) evaluados en el dulce de leche aumentaron significativamente a medida que se adicionaba mayor cantidad de sirope, esta misma tendencia y significancia fue presentada por las cenizas, la tendencia se debe porque el sirope es rico en estos minerales aportándose al producto. Adicionalmente los minerales calcio y fósforo no presentaron diferencias significativas posicionándose en los rangos de 0.25-0.27% y 0.23-0.26%p/p respectivamente.

En la figura 3-2 se puede observar que el sirope Glucosa-galactosa afectó significativamente el color ($P < 0.05$). La luminosidad disminuyó a medida que aumentaba el contenido de SGG, mientras que el valor a^* tuvo un efecto adverso, lo que quiere decir que el producto presentó una coloración café más oscuro a medida que se aumentaba el porcentaje de sirope. Esto se relaciona con las reacciones de maillard, debido a que el sirope contiene azúcares reductores como lo son la glucosa y la galactosa, además de ser monosacáridos que favorecen esta reacción, produciendo un color más acaramelado. Novoa & Ramirez-Navas (2012), reportaron el color de diferentes dulces de leche del Valle, donde el L^* oscilaba entre 42-45, a^* entre 13.7-15.8 y b^* 31.3-37.06, estando por encima de los valores del presente estudio, lo que según en las coordenadas CIELAB proporciona un color más claro que el del dulce de leche elaborado en esta investigación. Los rangos de valores CIE- $L^*a^*b^*$ para dulce de leche argentino son: L^* de 26,36 a

41,31, a^* de 14,72 a 17,09, y b^* de 26,37 a 31,49, donde los dulces de leche analizados en el presente estudio se encuentran dentro de estos rangos (Rodríguez *et al.*, 2004)

Figura 3-10 Comportamiento de los parámetros del color sobre el dulce de leche con diferente contenido de sirope glucosa – galactosa. (a) L^* , (b) a^* , (c) b^* .



3.3.3. Propiedades microbiológicas del dulce de leche

Todos los tratamientos presentaron un recuento de mohos y levaduras $<10\text{UFC}$, encontrándose dentro de los límites de la Resolución 2310 de 1986 para Arequipas, donde el límite mínimo son 10 y el máximo 100, logrando ser un producto inocuo para el consumo humano.

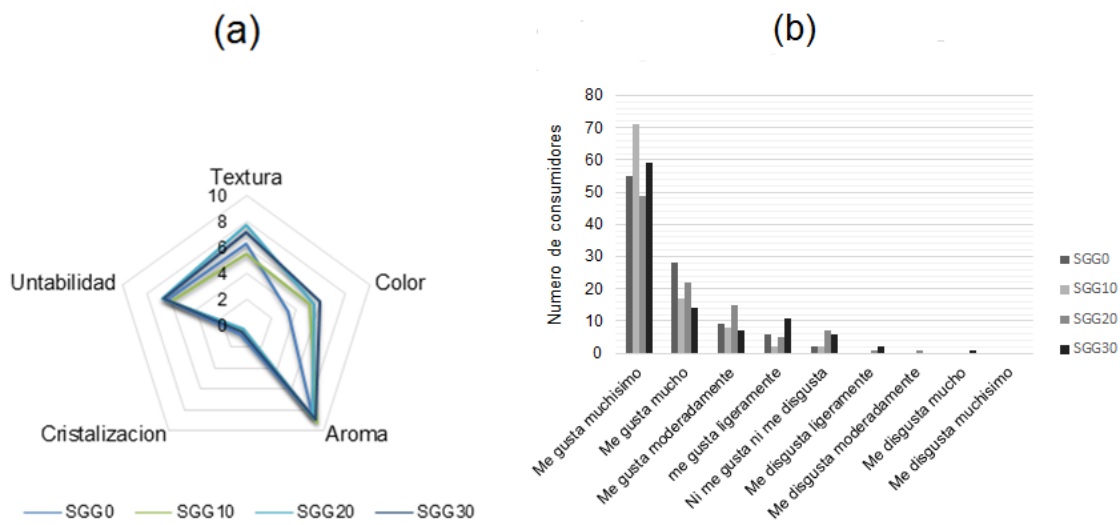
3.3.4. Evaluación sensorial del dulce de leche

La evaluación sensorial realizada por los técnicos expertos donde se evaluaron para cada tratamiento diferentes factores tales como: Textura, color, aroma, cristalización y untabilidad, dio como resultado los datos observados en la Figura 3-3 (a). La textura fue percibida más líquida para el 10% de inclusión, mientras que las otras dos inclusiones fueron un poco densas. El color tuvo la misma tendencia que se observó en el análisis

fisicoquímico, es decir entre mayor fue la adición de SGG la calificación tendió a más oscuro, calificando las tres adiciones alrededor de 5 (color ámbar), pero se muestra la tendencia respecto a que tan oscuro lo observaban los técnicos expertos. En cuanto al aroma, los evaluadores calificaron como “muy agradable”. Adicionalmente, la untabilidad fue evaluada muy central, pero tendiendo un poco hacia intenso. La cristalización tuvo una calificación baja lo que quiere decir que no percibían los cristales ni de azúcar ni arenosidad para todos los casos.

El análisis sensorial de los productos, realizado a través de la prueba de aceptación con los 100 consumidores para cada tratamiento, se llevó a cabo por medio de una encuesta la cual se muestra en el anexo A. Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente Figura 3-3 (b) y muestra el nivel de agrado con respecto a cada tratamiento. Todas las inclusiones tuvieron una aceptación muy buena por parte de la mayoría de los consumidores, donde más del 90% de los consumidores estuvieron entre me gusta ligeramente hasta me gusta muchísimo, teniendo mayor aceptación el 10% de inclusión, el cual no tuvo ninguna calificación desfavorable, claro está que el reemplazo de 20% y 30% se mantuvieron cercanos al reemplazo de 10%.

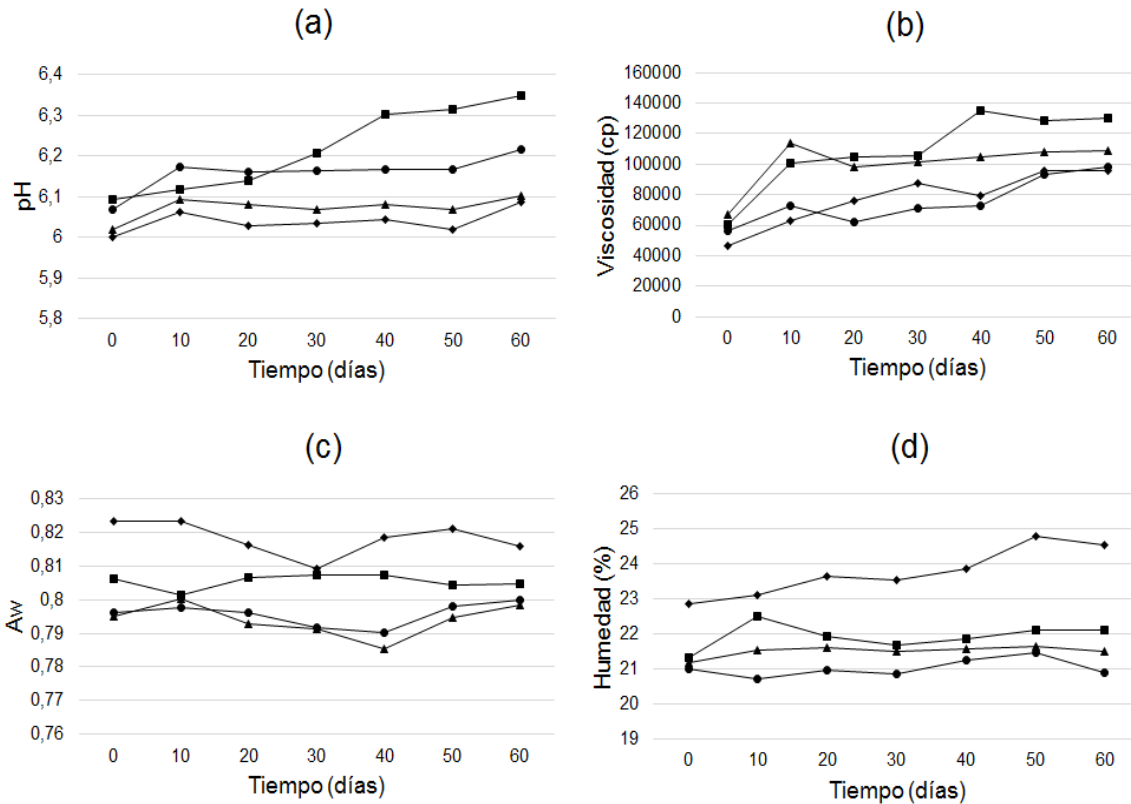
Figura 3-11 Pruebas sensoriales para el dulce de leche (a) Prueba de intensidades para los diferentes tratamientos de los atributos: Textura, color, aroma, cristalización y untabilidad (b) Prueba de aceptación general de consumidores para las diferentes inclusiones de SGG.



3.3.5. Estabilidad del dulce de leche.

El pH presentó diferencias significativas durante el tiempo de almacenamiento para todos los tratamientos, siendo mayor este valor al finalizar el tiempo de almacenamiento (Figura 3-4(a)), creciendo gradualmente a medida que transcurrieran los días, este mismo comportamiento fue reportado por otros autores (F. E. Valencia & Millán Cardona, 2008). La viscosidad aparente presentó el mismo comportamiento relacionándose con la interacción de las proteínas durante el estudio de estabilidad (F. E. Valencia & Millán Cardona, 2008), debido a que los cambios iónicos presentados en las proteínas cambian las interacciones entre ellas y modifican de esta manera la estructura físicoquímica como lo es la viscosidad.

Figura 3-12 Valores medios de pH (a), Viscosidad (b), Actividad de agua (c) y Humedad (d) de dulce de leche endulzado con SGG a diferentes concentraciones durante 60 días de almacenamiento bajo condiciones ambientales.



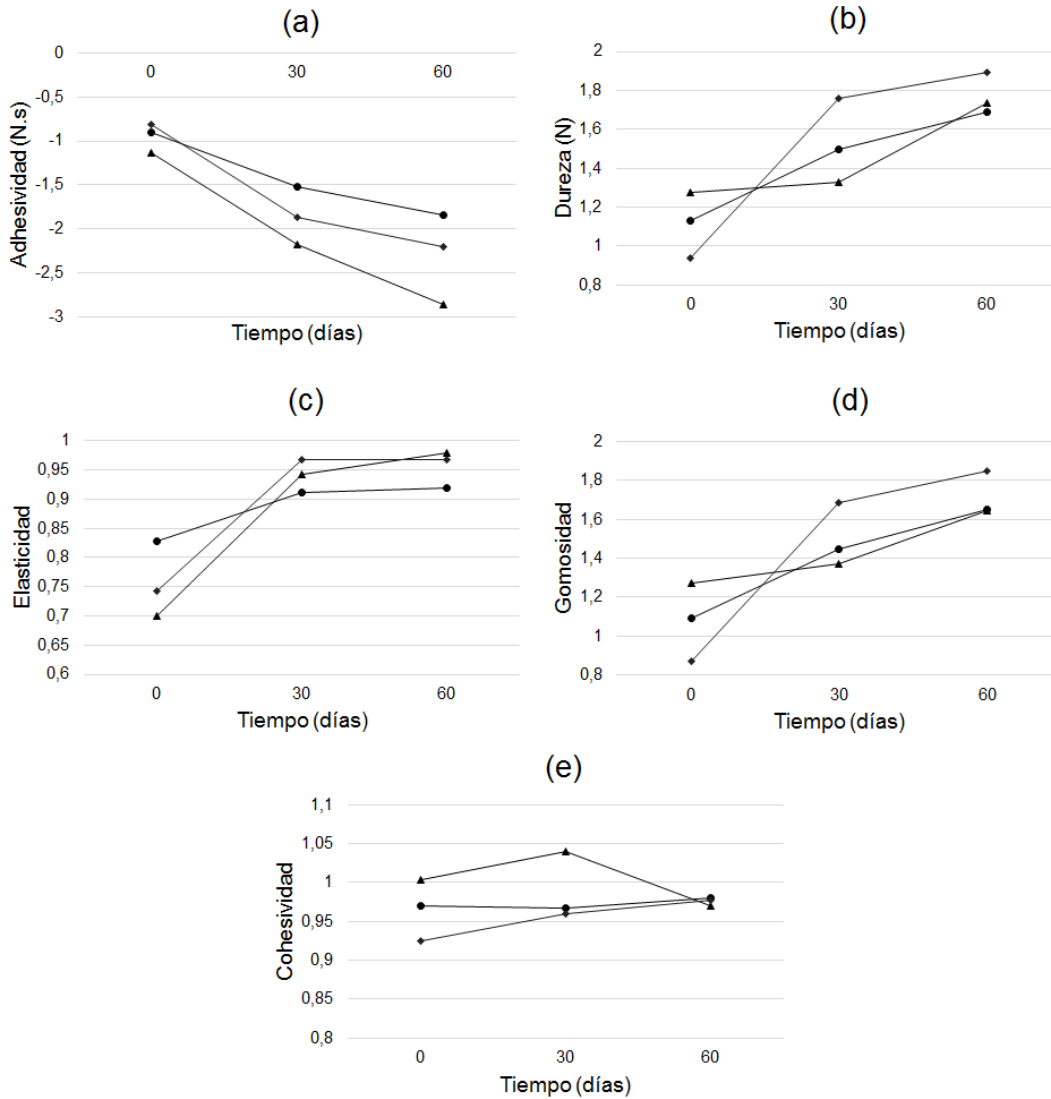
0SGG (■) dulce de leche sin adición de SGG, 10SGG (●) dulce de leche con adición de 10% del dulzor con SGG, 20SGG (▲) dulce de leche con adición de 20% del dulzor con SGG y 30SGG (◆) yogur con adición de 30% del dulzor con SGG.

Por otro lado se observa que los valores de a_w (ver Figura 3-4(c)) se encuentran entre 0.8013 hasta 0.8072 para el tratamiento sin SGG, 0.7904 hasta 0.8000 para la adición de 10%SGG, en el caso de 20%SGG este se encontraba desde 0.7855 hasta 0.8002 y finalmente entre 0.8091 y 0.8233 para la sustitución de 30%, aunque en varios casos hubo diferencias significativas ($p < 0.05$), los resultados no presentaron un comportamiento definido. La humedad incrementó significativamente con el tiempo ($p < 0.05$), es decir, durante el tiempo de almacenamiento a temperatura ambiente, el producto pudo atrapar humedad del ambiente, debiéndose a que el dulce de leche no fue sellado herméticamente con un film de aluminio, aunque es de anotar que en el día 60 no alcanzó el valor máximo permitido por la NTC 3757 del 30%, alcanzando el máximo valor para la humedad en el tratamiento del 30%SGG de 24.5%.

La textura presentó diferencias significativas, tomando como factor el tiempo de almacenamiento (1, 30 y 60 días). El comportamiento de la adhesividad, elasticidad, gomosidad y cohesividad en relación con el periodo de almacenamiento se muestra en la Figura 3-5. Se puede observar que, la dureza se incrementa en los días 30 y 60, debido a las variaciones de pH en el producto, donde las cargas eléctricas de las proteínas se distribuyen heterogéneamente mejorando las interacciones entre ellas. (F. E. Valencia & Millán Cardona, 2008). La adhesividad se incrementa durante el almacenamiento, siendo estos datos estadísticamente diferentes al primer día ($p < 0.05$), debido a la sinéresis secundaria, que a su vez cambia el comportamiento viscoelástico, al ser sometida a procesos de agitación y elevadas temperaturas. Adicionalmente, los datos obtenidos en cuanto a adhesividad, dureza y elasticidad concuerdan con los reportados por Valencia *et al.* en 2008. La elasticidad aumenta los primeros 30 días y finalmente se estabiliza hasta el fin del almacenamiento, la gomosidad por su parte presenta un crecimiento constante al transcurrir los días de almacenamiento.

Los valores medios de los parámetros de color para diferentes formulaciones de dulce de leche con SGG se presentan en la Tabla 3-4. El valor L^* aumento significativamente ($p < 0.05$) en las formulaciones de dulce de leche de 10%SGG y 20 %SGG al finalizar el periodo de almacenamiento, mientras que 0%SGG y 30%SGG disminuyeron.

Figura 3-13 Valores medios de Adhesividad (a), Dureza (b), Elasticidad (c), Gomosidad (d) y Cohesividad (e) del dulce de leche endulzado con SGG a diferentes concentraciones durante 60 días de almacenamiento bajo condiciones ambientales.



10SGG (●) dulce de leche con adición de 10% del dulzor con SGG, 20SGG (▲) dulce de leche con adición de 20% del dulzor con SGG y 30SGG (◆) yogur con adición de 30% del dulzor con SGG.

Los valores a^* se diferencian significativamente entre las diferentes formulaciones de dulce de leche evaluadas, con el aumento de la cantidad de SGG en los dulces de leche y al transcurrir el período de almacenamiento, este valor incrementó para todos los tratamientos. Esta característica de color en el dulce de leche puede ser asociado con las

la posible presencia de compuestos derivados de la reacción de Maillard. El valor b* igualmente presentó diferencias significativas (p<0.05) al cumplirse los 60 días de almacenamiento, siendo menor este valor en el último día para los tratamiento de 0%SGG y 30%SGG, por su parte los tratamientos con 10 y 20%SGG presentaron un incremento, la razón de este fenómeno también se explica por la posible presencia de derivados de la reacción de Maillard, debido a que este edulcorante al poseer azúcares reductores y someterse a altas temperaturas durante su elaboración se presenta esta reacción y por ende puede poseer estos compuestos.

Tabla 3-12 Parámetros de color del dulce de leche que contenía SGG a diferentes concentraciones, durante 28 días de almacenamiento refrigerado.

Tiempo (días)		Tratamiento			
		0SGG	10SGG	20SGG	30SGG
L*	0	54,66 (±0,90) ^a	38,28 (±0,02) ^a	34,85 (±0,05) ^a	36,24 (±0,03) ^a
	10	46,81 (±1,97) ^b	40,05 (±0,19) ^{ab}	37,71 (±2,74) ^b	33,96 (±1,35) ^{ab}
	20	45,99 (±0,84) ^{bc}	35,27 (±0,39) ^c	32,55 (±1,36) ^{ac}	30,48 (±2,11) ^c
	30	51,39 (±1,08) ^a	41,90 (±1,40) ^b	34,17 (±1,43) ^{acd}	31,64 (±1,57) ^{bcd}
	40	46,69 (±1,79) ^{bcd}	38,31 (±0,22) ^{abd}	33,20 (±2,17) ^{acde}	31,48 (±1,20) ^{bcd}
	50	39,50 (±2,60) ^e	36,23 (±0,72) ^c	34,05 (±0,59) ^{acdef}	34,24 (±3,24) ^{abdef}
	60	47,04 (±3,04) ^{bcd}	39,34 (±2,27) ^{abd}	35,63 (±1,12) ^{abdef}	34,01 (±0,86) ^{abdef}
a*	0	1,98 (±0,05) ^a	6,84 (±0,02) ^a	7,47 (±0,02) ^a	7,94 (±0,05) ^a
	10	2,28 (±0,08) ^b	7,78 (±0,09) ^b	8,35 (±0,50) ^b	8,81 (±0,24) ^b
	20	2,50 (±0,04) ^c	6,85 (±0,06) ^a	7,66 (±0,17) ^{ac}	7,58 (±0,36) ^{ac}
	30	2,66 (±0,07) ^d	8,61 (±0,37) ^c	8,14 (±0,05) ^{acd}	8,09 (±0,04) ^{acd}
	40	2,85 (±0,09) ^e	8,05 (±0,19) ^{bd}	8,48 (±0,38) ^{bde}	8,00 (±0,32) ^{acde}
	50	3,26 (±0,03) ^f	7,61 (±0,17) ^b	8,72 (±0,25) ^{be}	7,28 (±0,54) ^c
	60	3,04 (±0,15) ^g	8,18 (±0,23) ^d	8,11 (±0,33) ^{bcd}	8,36 (±0,17) ^{abde}
b*	0	24,15 (±0,80) ^a	19,62 (±0,01) ^a	17,25 (±0,02) ^a	16,22 (±0,02) ^a
	10	19,20 (±0,17) ^b	21,92 (±0,19) ^b	19,01 (±1,95) ^{ab}	18,30 (±1,03) ^b
	20	19,28 (±0,42) ^{bc}	17,39 (±0,25) ^c	16,40 (±0,63) ^{ac}	14,32 (±0,89) ^c
	30	21,58 (±0,77) ^d	24,13 (±1,37) ^d	18,29 (±0,08) ^{abd}	15,94 (±0,24) ^{ad}
	40	19,46 (±0,48) ^{bc}	21,33 (±0,62) ^{be}	18,49 (±0,84) ^{abde}	15,05 (±0,43) ^{acde}
	50	17,82 (±0,89) ^e	19,37 (±0,65) ^a	19,12 (±0,82) ^{bde}	13,46 (±1,04) ^c
	60	21,35 (±1,17) ^d	21,26 (±0,23) ^{be}	17,25 (±1,37) ^{abcde}	15,67 (±0,38) ^{ade}

0SGG – dulce de leche sin adición de Sirope Glucosa galactosa; 10SGG – dulce de leche con adición del 10% SGG respecto al dulce; 20SGG – dulce de leche reemplazando el 20% de su dulce por SGG y 30SGG yogur que se añade el 30% de su dulce con SGG. ^{a-f} Medias ± desviaciones estándar con letras iguales minúsculas en la misma columna denotan que no existen diferencias significativas entre las diferentes formulaciones, basado en la prueba de Fisher (p <0,05).

3.4. Conclusiones

El sirope glucosa galactosa puede ser usado como una alternativa de edulcorante para la elaboración de dulces de leche, teniendo en cuenta el análisis sensorial, fisicoquímico y de estabilidad el nivel máximo recomendado es de 30% de inclusión respecto al dulzor.

El sirope glucosa-galactosa no intervino en características fisicoquímicas tales como grasa, proteína, sólidos totales, actividad de agua, viscosidad y textura del dulce de leche, además no fue significativo su aporte en calcio y fósforo sobre el producto. Por otra parte sí presentó influencia sobre el aumento de los niveles de Magnesio y Potasio, inclusive logró disminuir el pH y sólidos solubles y aumentar la humedad. En el color los parámetros L^* y b^* disminuyeron a medida que aumentaba el nivel de inclusión del SGG, mientras que el valor a^* incrementó notablemente.

A nivel sensorial tuvo una buena aceptación por parte de los consumidores para todos los tratamientos, siendo el tratamiento de preferencia el reemplazo del 10%SGG. Por otra parte los técnicos expertos concluyeron que la mayor diferencia se presentaba en el color, donde a medida que aumentaba el porcentaje de inclusión, el color era ámbar más oscuro.

Durante el tiempo de almacenamiento la humedad, los parámetros de textura, el pH y la viscosidad aumentaron significativamente con el pasar de los días, mientras que la actividad de agua disminuyó significativamente al transcurrir los días para los tratamientos evaluados.

Referencias

- Andrade, P. R., Ivélez, H. G., Arteaga, M. M., Díaz, Q. Y., & Sánchez, S. S. S. (2009). Neutralization and addition of sweetening effect in de edulcorante en las propiedades fisicoquímicas, microbiológicas y sensoriales. *Vitae*, 16, 201–209.
- Beltran, L. J., & Alejandro Acosta. (2012). Empleo de una β -galactosidasa comercial de *Kluyveromyces lactis* en la hidrólisis de lactosuero Usage of a commercial β -galactosidase from *Kluyveromyces lactis* in the hydrolysis of whey. *Hechos Microbiol*, 3(2), 25–35.
- Garitta, L., Hough, G., & Sa, R. (2004). Sensory Shelf Life of Dulce de Leche, (1), 1601–1607. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(04\)73314-7](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)73314-7)
- Lopes, F., Aparecida, H., Ferreira, L., Borges, A., Souza, D., Freitas, D., ... Viçosa, U. F.

- De. (2015). LWT - Food Science and Technology Production of dulce de leche : The effect of starch addition, 62. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.10.062>
- Moro, O., & Hough, G. (1985). DAIRY FOODS RESEARCH PAPERS Total Solids and Density Measurements of Dulce de Leche , a Typical Argentine Dairy Product OSVALDO MORO and GUILLERMO HOUGH Measurement of Solids Content by Evaporation. *Journal of Dairy Science*, 68(3), 521–525. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(85\)80853-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(85)80853-5)
- Novoa, D. F., & Ramirez-Navas, J. S. (2012). COLORIMETRIC CHARACTERIZATION OF MANJAR BLANCO DEL VALLE. *Biotechnologia En El Sector Agropecuario Y Agroindustrial*, 10(2), 54–60.
- Pauletti, M., Venier, A., Sabbag, N., & Stechina, D. (1990). Rheological Characterization of Dulche de Leche, a Confectionery Dairy Product. *J. Dairy Science*, 73, 601–603. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(90\)78708-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(90)78708-5)
- Queiroz, N. M., Martin, E., Santos, A., & Vasconcellos, M. (2009). Avaliação das Características Físico-Químicas e Sensoriais de Doce de Leite Diet Fabricado com Sucralose, Litesse® e Lactitol. *Ciênc. Biol. Saúde*, 11(1), 21–25.
- Rodriguez, G., Castañeda, R., Muset, G., Castells, L., Aranibar, G., & M, M. (2004). Dulce de Leche Argentino variedad tradicional – Su Caracterización Las características reológicas se determinaron EXPERIMENTAL Las características físico-químicas del determinaciones cuantitativas de los siguientes Con el fin de promover y difundir el dul. *Instituto Nacional de Tecnología Industrial*, 1–3.
- Rovedo, C. O., Viollaz, P. E., & Suarez, C. (1991). The Effect of pH and Temperature on the Rheological Behavior of Dulce De Leche, A Typical Dairy Argentine Product. *Journal of Dairy Science*, 74(5), 1497–1502. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78309-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78309-4)
- SENATI. (2011). *Elaboración de manjar blanco*.
- Somov, V., Evdokimov, I., Knyazev, S., Perminov, S., & Kurash, Y. (2015). APPLICATION OF WHEY-DERIVED SYRUPS IN DAIRY PRODUCTS. *Food and Raw Materials*, 3(2), 89–95. <https://doi.org/10.12737/13113>
- Sousa, C. L., Neves, E. C. A., Carneiro, C. A. A., Peixoto, M. R. S., & Farias, J. B. (2002). Avaliação microbiológica e físico-química de doce de leite e requeijão produzidos com leite de búfala na ilha do marajó- pa la. *B. Ceppa*, 20(2), 191–202.
- Valencia, E., Millán, L., & Ramirez, N. (2008). sensoriales y texturales de polidextrosa , fructosa y sorbitol como sustitutos de azúcar en la elaboración de arequipe *. *Revista Lasallista de Investigación*, 5(2), 20–27.
- Valencia, F. E., & Millán Cardona, L. de J. (2008). Estimación de la vida útil de un arequipe bajo en calorías. *Revista Lasallista de Investigación*, 1(1), 23.
- Valencia García, F. E., Millán Cardona, L. D. J., & Ramírez Herrera, N. (2008). Evaluación de los efectos en las propiedades sensoriales y texturales de polidextrosa, fructosa y sorbitol como sustitutos de azúcar en la elaboración de arequipe. *Revista Lasallista de Investigación*, 5(2), 20–27.

4. Conclusiones y recomendaciones

4.1. Conclusiones

El sirope glucosa galactosa puede ser usado como una alternativa de edulcorante para la elaboración de yogur y dulce de leche, teniendo en cuenta el análisis sensorial, fisicoquímicas y de estabilidad el nivel máximo recomendado sobre el yogur es de 75% y para el dulce de leche hasta un 30% de inclusión respecto al dulzor.

La incorporación del sirope glucosa-galactosa obtenido a partir de lactosuero dulce en un yogur batido afectó positivamente algunas de las características de estabilidad física y mecánica del producto durante los 28 días de almacenamiento refrigerado; Color, sinéresis, viscosidad y los niveles de minerales. Además, la adición de SGG parecía influir directamente en la acidez del yogur al transcurrir el tiempo, sin afectar negativamente su aceptación y preferencia sensorial. De lo contrario, los yogures que contenían SGG presentaban la mejor aceptación y preferencia sensoria a excepción de la adición del 100%SGG.

El uso del sirope glucosa-galactosa en un dulce de leche mostró un mejoramiento en algunas de las características de estabilidad física y mecánica del producto durante los 60 días de almacenamiento refrigerado; Color, la textura, viscosidad y las concentraciones de los minerales. Además, la adición de SGG parecía influir directamente en el pH y en la humedad al transcurrir el tiempo, sin afectar negativamente su aceptación y preferencia sensorial. Por el contrario, los dulces de leche que contenían SGG presentaban la mejor aceptación y preferencia sensorial.

Por último, los resultados de este estudio arrojan dos nuevos productos con calidad sensorial y fisicoquímica, así como un valor añadido por la reducción en la contaminación ambiental ocasionada por el lactosuero dulce.

4.2. Recomendaciones

Un estudio por realizar en el yogur, se enfoca a la parte microbiológica, donde se aconseja realizar análisis de bacterias ácido lácticas, para verificar que el SGG no interfiere con el crecimiento de las BAL, y garantizar que se encuentren al final del estudio de estabilidad dentro de la NTC 805, además verificar la producción de aminoácidos durante el tiempo de almacenamiento.

En estudios futuros se recomienda medir la retención de agua del Sirope Glucosa-Galactosa, cantidad de galacto-oligosacaridos además de medir el aporte calórico que representa sobre los productos.

Una recomendación general a nivel sensorial es realizar una prueba triangular para ver si hay diferencias significativas entre los productos, tanto para el yogur como para el dulce de leche.

A. Anexo: Prueba Sensorial consumidores

Prueba Sensorial

Nombre: _____ Edad: _____

Frente a usted se encuentra una muestra de Yogur, deberá evaluarla según su nivel agrado general del producto. Marque con una x sobre el cuadro que esta junto a la frase que describa mejor su opinion sobre el producto que acaba de probar.

<input type="checkbox"/>	Me gusta muchísimo
<input type="checkbox"/>	Me gusta mucho
<input type="checkbox"/>	Me gusta moderadamente
<input type="checkbox"/>	Me gusta ligeramente
<input type="checkbox"/>	Ni me gusta ni me disgusta
<input type="checkbox"/>	Me disgusta ligeramente
<input type="checkbox"/>	Me disgusta moderadamente
<input type="checkbox"/>	Me disgusta mucho
<input type="checkbox"/>	Me disgusta muchísimo

Prueba Sensorial

Nombre: _____ Edad: _____

Frente a usted se encuentra una muestra de Arequipe, deberá evaluarla según su nivel agrado general del producto. Marque con una x sobre el cuadro que esta junto a la frase que describa mejor su opinion sobre el producto que acaba de probar.

<input type="checkbox"/>	Me gusta muchísimo
<input type="checkbox"/>	Me gusta mucho
<input type="checkbox"/>	Me gusta moderadamente
<input type="checkbox"/>	Me gusta ligeramente
<input type="checkbox"/>	Ni me gusta ni me disgusta
<input type="checkbox"/>	Me disgusta ligeramente
<input type="checkbox"/>	Me disgusta moderadamente
<input type="checkbox"/>	Me disgusta mucho
<input type="checkbox"/>	Me disgusta muchísimo

B. Anexo: Prueba sensorial técnicos expertos.

PRUEBA SENSORIAL

NOMBRE: _____

FECHA: _____

Ante usted se encuentra una muestra de un Yogurt, usted deberá evaluar según su criterio los siguientes atributos.

Marque con una línea vertical sobre la horizontal.

Dulce

Poco dulce |-----| Muy dulce

Acido

Poco acido |-----| Muy acido

Aroma

Desagradable |-----| Agradable

Homogeneidad

Sin cristalización |-----| Gruesa

Fina

Fluidez

Débil |-----| Intenso

OBSERVACIONES:

PRUEBA SENSORIAL**NOMBRE:** _____**FECHA:** _____

Ante usted se encuentra una muestra de un dulce de leche, usted deberá evaluar según su criterio los siguientes atributos.

Marque con una línea vertical sobre la horizontal.

Textura
Líquida _____ Muy densa

Color
Blanca _____ Âmbar _____ Negro

Aroma
Desagradable _____ Agradable

Cristalización
Sin cristalización _____ Fina _____ Gruesa

~~Untabilidad~~
Débil _____ Intenso

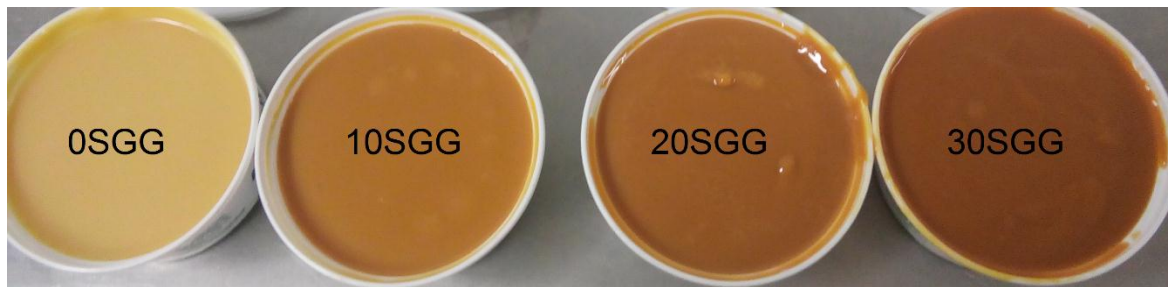
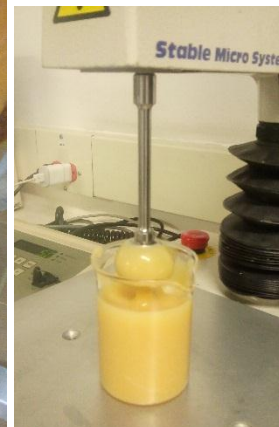
OBSERVACIONES:

C. Anexo: Evidencia fotográficas

Fotografías del Sirope Glucosa Galactosa



Fotografías del Dulce de leche y sus respectivos análisis fisicoquímicos



Fotografías del Análisis fisicoquímico del yogur



Bibliografía

- Achanta, K., Ñ, K. J. A., & Boeneke, C. A. (2007). Fat free plain set yogurts fortified with various minerals, *40*, 424–429. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2006.01.001>
- ADAREPORTS. (2004). Position of the american dietetic association: Use of nutritive and nonnutritive sweeteners. *Journal of the American Dietetic Association*, *104*(2), 255–275. <https://doi.org/10.1016/j.jada.2003.12.001>
- AGRONET. (2014a). Producción anual de quesos.
- AGRONET. (2014b). Produccion de Yogures y Leches Fermentadas.
- Aguirre, K., & Biollo, R. (2010). Efecto del uso de tres concentraciones de estabilizador y dos edulcorantes artificiales en las propiedades físico-químicas y sensoriales de yogur de fresa sin grasa y sin azúcar.
- Alonso, J. C., Arcila, A. M., & Montenegro, S. (2017). Herramientas de estabilización de los precios internos del azúcar en Colombia: ¿Funcionan? *Lecturas de Economía*, (86), 105–126. Retrieved from <http://aprendeenlinea.udea.edu.co/revistas/index.php/lecturasdeeconomia/article/view/327066/20784287>
- Amaya-Llano, S. L., Martínez-Alegría, A. L., Zazueta-Morales, J. J., & Martínez-Bustos, F. (2008). Acid thinned jicama and maize starches as fat substitute in stirred yogurt. *LWT - Food Science and Technology*, *41*(7), 1274–1281. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2007.08.012>
- Andrade, P. R., IVélez, H. G., Arteaga, M. M., Díaz, Q. Y., & Sánchez, S. S. S. (2009). Neutralization and addition of sweetening effect in de edulcorante en las propiedades fisicoquímicas , microbiológicas y sensoriales. *Vitae*, *16*, 201–209.
- Angarita, G. L. (2009). Desarrollo arequipe con fibra y cultivos probióticos. *Universidad Nacional de Colombia*, 10–65.

-
- Anibal Zunino. (n.d.). *Dulce de leche*.
- Aportela-Palacios, A., Sosa-Morales, M. E., & Vélez-Ruiz, J. F. (2005). Rheological and physicochemical behavior of fortified yogurt, with fiber and calcium. *Journal of Texture Studies*, 36(3), 333–349. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4603.2005.00020.x>
- Astrup, A. (2014). Yogurt and dairy product consumption to prevent cardiometabolic diseases: epidemiologic and experimental studies. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 99(5 Suppl), 1235S–42S. <https://doi.org/10.3945/ajcn.113.073015>
- Atra, R., Vatai, G., Bekassy-Molnar, E., & Balint, A. (2005). Investigation of ultra- And nanofiltration for utilization of whey protein and lactose. *Journal of Food Engineering*, 67(3), 325–332. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.04.035>
- Aznar, L. A. M., Ral, P. C., Rosa, M., Anta, O., José, J., Martín, D., ... Pylori, D. H. (2013). Evidencia científica sobre el papel del yogur y otras leches fermentadas en la alimentación saludable de la población española OF YOGURT AND OTHER FERMENTED MILKS IN THE HEALTHY DIET FOR THE SPANISH, 28(6), 2039–2089. <https://doi.org/10.3305/nh.2013.28.6.6856>
- Baldasso, C., Barros, T. C., & Tessaro, I. C. (2011). Concentration and purification of whey proteins by ultrafiltration. *Desalination*, 278(1–3), 381–386. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2011.05.055>
- Bazán, C. V. (2010). Desarrollo y evaluación de un yogur firme utilizando tres edulcorantes no calóricos y dos porcentajes de mango, 1–31.
- Beltran, L. J., & Alejandro Acosta. (2012). Empleo de una β -galactosidasa comercial de *Kluyveromyces lactis* en la hidrólisis de lactosuero Usage of a commercial β -galactosidase from *Kluyveromyces lactis* in the hydrolysis of whey. *Hechos Microbiol*, 3(2), 25–35.
- Bertrand-Harb, C., Ivanova, I. V., Dalgalarondo, M., & Haertl??, T. (2003). Evolution of B-lactoglobulin and a-lactalbumin content during yoghurt fermentation. *International Dairy Journal*, 13(1), 39–45. [https://doi.org/10.1016/S0958-6946\(02\)00140-1](https://doi.org/10.1016/S0958-6946(02)00140-1)
- Bouzar, F., Cerning, J., & Desmazeaud, M. (1997). Exopolysaccharide Production and Texture-Promoting Abilities of Mixed-Strain Starter Cultures in Yogurt Production. *Journal of Dairy Science*, 80(10), 2310–2317. <https://doi.org/10.3168/jds.S0022->

0302(97)76181-2

- Brands, C. M., & van Boekel, M. a. (2001). Reactions of monosaccharides during heating of sugar-casein systems: building of a reaction network model. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(10), 4667–4675. <https://doi.org/10.1021/jf001430b>
- Cassano, A., Conidi, C., Giorno, L., & Drioli, E. (2013). Fractionation of olive mill wastewaters by membrane separation techniques. *Journal of Hazardous Materials*, 248–249(1), 185–193. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2013.01.006>
- Catarina, Í., Guimarães, D. O., Helena, M., Leão, R., Pimenta, C. J., Ferreira, L. D. O., & Ferreira, E. B. (2012). Development and description of light functional dulce de leche with coffee, 195–203.
- Chollet, M., Gille, D., Schmid, A., Walther, B., & Piccinali, P. (2013). Acceptance of sugar reduction in flavored yogurt. *Journal of Dairy Science*, 96(9), 5501–5511. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-6610>
- Ciron, C. I. E., Gee, V. L., Kelly, A. L., & Auty, M. A. E. (2012). Modifying the microstructure of low-fat yoghurt by microfluidisation of milk at different pressures to enhance rheological and sensory properties. *Food Chemistry*, 130(3), 510–519. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.07.056>
- CODEX ALIMENTARIUS. (2011). MILK AND MILK PRODUCTS.
- CODEX COMMITTEE ON MILK AND MILK PRODUCTS. Codex standard for fermented milks (2010).
- Conidi, C., Cassano, A., & Drioli, E. (2011). A membrane-based study for the recovery of polyphenols from bergamot juice. *Journal of Membrane Science*, 375(1–2), 182–190. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2011.03.035>
- Damin, M. R., Alcântara, M. R., Nunes, A. P., & Oliveira, M. N. (2009). Effects of milk supplementation with skim milk powder, whey protein concentrate and sodium caseinate on acidification kinetics, rheological properties and structure of nonfat stirred yogurt. *LWT - Food Science and Technology*, 42(10), 1744–1750. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2009.03.019>
- Das, B., Roy, A. P., Bhattacharjee, S., Chakraborty, S., & Bhattacharjee, C. (2015). Lactose hydrolysis by B-galactosidase enzyme: Optimization using response surface methodology. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 121, 244–252.

<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2015.03.024>

Das, B., Sarkar, S., Sarkar, A., Bhattacharjee, S., & Bhattacharjee, C. (2016). Recovery of whey proteins and lactose from dairy waste: A step towards green waste management. *Process Safety and Environmental Protection*, 101, 27–33.

<https://doi.org/10.1016/j.psep.2015.05.006>

Dávila, S. C. B., Pacheco-Delahaye, E., & Frágenas, N. N. (2006). Evaluación física y nutricional de un yogurt con frutas tropicales bajo en calorías. *Revista Facultad de Agronomía*, 32, 131–144.

Dello Staffolo, M., Bertola, N., Martino, M., & Bevilacqua, A. (2004). Influence of dietary fiber addition on sensory and rheological properties of yogurt. *International Dairy Journal*, 14(3), 263–268. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2003.08.004>

El-Abbadi, N. H., Dao, M. C., & Meydani, S. N. (2014). Yogurt: role in healthy and active aging. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 99(5 Suppl), 1263S–70S.

<https://doi.org/10.3945/ajcn.113.073957>

Fuentes, A., Cortes, V., & Talens, P. (2016). Comportamiento reológico de un alimento en función su contenido en grasa. *Universitat Politècnica de Valencia*.

Garitta, L., Hough, G., & Sa, R. (2004). Sensory Shelf Life of Dulce de Leche, (1), 1601–1607. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(04\)73314-7](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)73314-7)

Germani, A., Luneia, R., Nigro, F., Vitiello, V., Donini, L. M., & del Balzo, V. (2014). The yogurt amino acid profile's variation during the shelf-life. *Annali Di Igiene : Medicina Preventiva E Di Comunità*, 26(3), 205–212. <https://doi.org/10.7416/ai.2014.1978>

Ghasemi, M., Najafpour, G., Rahimnejad, M., Beigi, P. a, Sedighi, M., & Hashemiyeh, B. (2009). Effect of different media on production of lactic acid from whey by *Lactobacillus bulgaricus*. *African Journal of Biotechnology*, 8(1), 81–84.

Gutierrez Buitrago, A. M. (2014). Desarrollo de Dulce de Leche (Arequipe) de bajo contenido calórico con utilización de sucralosa y polidextrosa, 54.

Harju, M., Kallioinen, H., & Tossavainen, O. (2012). Lactose hydrolysis and other conversions in dairy products: Technological aspects. *International Dairy Journal*, 22(2), 104–109. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2011.09.011>

Hashemi, H., Hadi, M., & Mesbahi, G. (2015). Scientific and technical aspects of yogurt

- fortification : A review. *Food Science and Human Wellness*, 4(1), 1–8.
<https://doi.org/10.1016/j.fshw.2015.03.002>
- Hassan, A., & Amjad, I. (2010). Nutritional evaluation of yoghurt prepared by different starter cultures and their physiochemical analysis during storage, 9(20), 2913–2917.
- Hernandez-Mendoza, A., Robles, V. J., Angulo, J. O., De La Cruz, J., & Garcia, H. S. (2007). Preparation of a whey-based probiotic product with *Lactobacillus reuteri* and *Bifidobacterium bifidum*. *Food Technology and Biotechnology*, 45(1), 27–31.
- Hernandez-Rojas M., Velez Ruiz J.M. (2014). Suero de leche y su aplicación en la elaboración de alimentos funcionales. *Temas selectos de ingeniería de Alimentos* 8-3, 13-22
- Hoppert, K., Zahn, S., Jänecke, L., Mai, R., Hoffmann, S., & Rohm, H. (2013). Consumer acceptance of regular and reduced-sugar yogurt enriched with different types of dietary fiber. *International Dairy Journal*, 28(1), 1–7.
<https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2012.08.005>
- Husain, Q., Ansari, S. A., Alam, F., & Azam, A. (2011). Immobilization of *Aspergillus oryzae* B galactosidase on zinc oxide nanoparticles via simple adsorption mechanism. *International Journal of Biological Macromolecules*, 49(1), 37–43.
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2011.03.011>
- Hussain, I., Attiq-ur-Rahman, & Nigel, A. (2009). Hussain.pdf. *Pakistan Journal of Nutrition*, 8, 9–12.
- ICTA. (1988). *Manual de elaboración de dulces y panelitas de leche* (Vol. 1).
- IDF. WORLD DAIRY SITUATION. (2009). *International Dairy Federation, Brussels, Belgium*.
- Illanes, A. (2016a). *Lactose: Production and upgrading. Lactose-Derived Prebiotics: A Process Perspective*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802724-0.00001-9>
- Illanes, A. (2016b). *Lactose: Production and upgrading. Lactose-Derived Prebiotics: A Process Perspective*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802724-0.00001-9>
- Jelicic, I., Božani, R., & Tratnik, L. (2008). Whey-based beverages- a new generation of dairy products. *Mljekarstvo*, 58(3), 257–274.

-
- Jeličić, I., Božanić, R., & Tratnik, L. (2008). Napitci na bazi sirutke - nova generacija mliječnih proizvoda. *Whey Based Beverages - New Generation of Dairy Products.*, 58(3), 257–274. Retrieved from <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=a9h&AN=34070713&lang=es&site=ehost-live>
- Jenness, R., Wong, N. P., Marth, E. H., & Keeney, M. (1999). *Fundamentals of Dairy Chemistry*. Aspen publishers.
- Jesús Andrade, M., Córdoba, J. J., Sánchez, B., Casado, E. M., & Rodríguez, M. (2009). Evaluation and selection of yeasts isolated from dry-cured Iberian ham by their volatile compound production. *Food Chemistry*, 113(2), 457–463. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.07.080>
- Kailasapathy, K. (2006). Survival of free and encapsulated probiotic bacteria and their effect on the sensory properties of yoghurt. *LWT - Food Science and Technology*, 39(10), 1221–1227. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2005.07.013>
- Keogh, M. K., & O’Kennedy, B. T. (1998). Rheology of Stirred Yogurt as Affected by Added Milk Fat, Protein and Hydrocolloids. *Journal of Food Science*, 63(1), 108–112. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1998.tb15687.x>
- Kimoto-Nira, H, et al. (2014). Effects of ingesting milk fermented by *Lactococcus lactis* H61 on skin health in young women: a randomized double-blind study. *Journal of Dairy Science*, 97(9), 5898–903. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-7980>
- Kreczmann, B., Alba, A., Liloila, M., Zamboni, E., Cerutti, R., Baroni, D., & Dianela, P. (2015). Procesamiento del lactosuero: elaboración de lactosa y aprovechamiento de proteínas. *Tecnología Láctea Latinoamericana*, (87), 44–49.
- Kreczmann, B., Alonso, A., Liloila, M., Zamboni, E., Cerutti, R., Baroni, D., & Polujan, D. (2015). Procesamiento de lactosuero: elaboración de lactosa y aprovechamiento de proteínas. *Tecnología Láctea Latinoamericana*, 87, 44–49.
- Lignia, J. V. (2014). *Utilización de diferentes niveles de Agave americana (sirope de Agave) como edulcorante natural para la elaboración de yogurt de soya.*
- Lobato, C., Ramírez, C., Vernon, E. J., & Alvarez, J. (2014). Impact of native and chemically modified starches addition as fat replacers in the viscoelasticity of

- reduced-fat stirred yogurt. *Journal of Food Engineering*, 131, 110–115.
<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.01.019>
- Londoño, M. M. (2007). Fermented fresh cheese milk whey beverage inoculated with *Lactobacillus casei*. *Revista Facultad Nacional de Agronomía, Medellín*, 61(1), 4409–4421.
- Lopes, F., Aparecida, H., Ferreira, L., Borges, A., Souza, D., Freitas, D., ... Viçosa, U. F. De. (2015). LWT - Food Science and Technology Production of dulce de leche : The effect of starch addition, 62. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.10.062>
- Lovato, G., Albanez, R., Stracieri, L., Zaiat, M., & Ratusznei, S. M. (2017). ScienceDirect Design study of an AnSBBR for hydrogen production by co-digestion of whey with glycerin : Interaction effects of organic load , cycle time and feed strategy. *International Journal of Hydrogen Energy*, 1–10.
<https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2017.03.125>
- Lubber, S., Decourcelle, N., Vallet, N., & Guichard, E. (2004). Flavor Release and Rheology Behavior of Strawberry Fatfree Stirred Yogurt during Storage, 3077–3082.
- Machado, G., Elieidy, M., Oliveira, G. De, Isabel, M., Campos, F., Oliveira, P., ... C, R. De. (2017). LWT - Food Science and Technology Impact of honey on quality characteristics of goat yogurt containing probiotic *Lactobacillus acidophilus*, 80, 221–229. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.02.013>
- Madrid, A. (1996). Curso de Industrias Lácteas. Madrid, España, Editorial AMV Ediciones. 263-275 p.
- Mena, B., & Vasquez, C. (2010). Evaluación del yogur en tres concentraciones de etanol y dos edulcorantes y sus cambios físico-químicos y sensoriales. Zamorano. Trabajo de grado.
- Mendoza, R., Trujillo., Y., & Duran., D. (2007). Evaluación del almidón de ñame espino (*dioscorea rotundata*) como estabilizante en la elaboración de yogur entero tipo batido. *Bistua: Revista de La Facultad de Ciencias Básicas*, 5(2), 97–105.
- Montenegro, A. (2008). *Aplicación de gomas para la elaboración de un manjar de leche hipocalórico*. Universidad Tecnológica Equinoccial. Quito.
- Montoya Campuzano, O. I., & Sepúlveda Valencia, J. U. (2005). *Archivos latinoamericanos de nutrición. Sociedad Latinoamericana de Nutrición* (Vol. 55).

Archivos Latinoamericanos de Nutrición. Retrieved from
http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222005000400005&lng=es&nrm=iso&tlng=es

- Moreira, M., Abraham, a, & De Antoni, G. (2000). Technological properties of milks fermented with thermophilic lactic acid bacteria at suboptimal temperature. *Journal of Dairy Science*, 83(3), 395–400. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(00\)74894-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(00)74894-6)
- Morell, P., Hernando, I., Llorca, E., & Fiszman, S. (2015). Yogurts with an increased protein content and physically modified starch: Rheological, structural, oral digestion and sensory properties related to enhanced satiating capacity. *Food Research International*, 70, 64–73. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.01.024>
- Moro, O., & Hough, G. (1985). DAIRY FOODS RESEARCH PAPERS Total Solids and Density Measurements of Dulce de Leche , a Typical Argentine Dairy Product OSVALDO MORO and GUILLERMO HOUGH Measurement of Solids Content by Evaporation. *Journal of Dairy Science*, 68(3), 521–525. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(85\)80853-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(85)80853-5)
- Narayanan, P., Chinnasamy, B., Jin, L., & Clark, S. (2014). Use of just-about-right scales and penalty analysis to determine appropriate concentrations of stevia sweeteners for vanilla yogurt. *Journal of Dairy Science*, 97(6), 3262–3272. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7365>
- Novoa, D. F., & Ramirez-Navas, J. S. (2012). COLORIMETRIC CHARACTERIZATION OF MANJAR BLANCO DEL VALLE. *Biotecnología En El Sector Agropecuario Y Agroindustrial*, 10(2), 54–60.
- NTC 3757. (2008) Arequipe o dulce de leche y manjar blanco.
- NTC 5151. Alimento para animales. determinacion de los contenidos de calcio, cobre, hierro, magnesio, manganesio, potasio, sodio y zinc.
- NTC 3501.(2012) Análisis sensorial.
- NTC 3915 (2014). analisis sensorial. Metodología. Metodo para investigar la sensibilidad del gusto
- NTC 4979. Leche y productos lacteos. determinacion del contenido de solidos totales en leche, crema de leche, leche evaporada, leche condensada

- NTC 4623. Productos de frutas y verduras. determinacion de la acidez titulable.
- NTC 4592. Productos de frutas y verduras. determinacion del pH.
- NTC 805. Productos lacteos. leches fermentadas.
- Olson, D. W., & Aryana, K. J. Ã. (2008). An excessively high *Lactobacillus acidophilus* inoculation level in yogurt lowers product quality during storage \$, *41*, 911–918.
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2007.05.017>
- Oluyemi, A. (1983). *Preparation of hydrolyzed lactose syroped from whey permeate and its functional properties in white Pan Bread formulation*. Kansas State University.
- Ostle, H., Helland, M., & Narvhus, J. (2003). Growth and metabolism of selected strains of probiotic bacteria in milk. *International Journal of Food Microbiology*, *87*, 17–27.
[https://doi.org/10.1016/S0168-1605\(03\)00044-8](https://doi.org/10.1016/S0168-1605(03)00044-8)
- Parra, A. (2009). Lactosuero: importancia en la industria de alimentos. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, *62*(1), 4967–4982.
- Parra, H., & Ricardo, A. (2013). Efecto del té verde (*Camellia sinensis* L .) en las características fisicoquímicas , microbiológicas , proximales y sensoriales de yogurt durante el almacenamiento bajo refrigeración, (1), 56–64.
- Parra, R. (2010). Review Lactic Acid Bacteria: Funtional role in the foods. *Facultad de Ciencias Agropecuarias*, *8* No. 1, 93–102.
- Paseephol, T., Small, D. M., & Sherkat, F. (2008). Rheology and texture of set yogurt as affected by inulin addition. *Journal of Texture Studies*, *39*(6), 617–634.
<https://doi.org/10.1111/j.1745-4603.2008.00161.x>
- Pasto, Y. (2011). “ESTUDIO DEL EFECTO DE LA SUSTITUCION DE LA SACAROSA POR STEVIA (Edulcorante Natural) EN LA ELABORACIÓN DE DULCE DE LECHE.
- Pauletti, M., Venier, A., Sabbag, N., & Stechina, D. (1990). Rheological Characterization of Dulche de Leche, a Confectionery Dairy Product. *J. Dairy Science*, *73*, 601–603.
[https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(90\)78708-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(90)78708-5)
- Peng, Y., Sierra, M., Horne, D. S., & J.A. Lucey. (2009). Effect of Fortification with Various Types of Milk Proteins on the Rheological Properties. *Food Chemistry*, *74*(9).
<https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2009.01350.x>
- Penna, A. L. B., Sivieri, K., & Oliveira, M. N. (2001). Relation between quality and rheological properties of lactic beverages. *Journal of Food Engineering*, *49*(1), 7–13.

[https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(00\)00179-5](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00179-5)

- Queiroz, N. M., Martin, E., Santos, A., & Vasconcellos, M. (2009). Avaliação das Características Físico-Químicas e Sensoriais de Doce de Leite Diet Fabricado com Sucralose, Litesse® e Lactitol. *Ciênc. Biol. Saúde*, 11(1), 21–25.
- Ramaswamy, H. S., & Basak, S. (1991). Rheology of Stirred Yogurts. *Journal of Texture Studies*, 22(2), 231–241. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4603.1991.tb00016.x>
- Ramírez-Sucre, M. O., & Vélez-Ruiz, J. F. (2013). Physicochemical, rheological and stability characterization of a caramel flavored yogurt. *LWT - Food Science and Technology*, 51(1), 233–241. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.09.014>
- Ramirez Navas, J. S. (2015). Diseño de procesos en Industria Láctea: Transformación de lactosuero. *Investigación Aplicada a La Ingeniería de Procesos*, 53–62.
- Robinson, R. K., Lucey, J. A., & Tamime, A. Y. (2007). *Manufacture of Yoghurt. Fermented Milks*. <https://doi.org/10.1002/9780470995501.ch3>
- Rodriguez, G., Castañeda, R., Muset, G., Castells, L., Aranibar, G., & M, M. (2004). Dulce de Leche Argentino variedad tradicional – Su Caracterización Las características reológicas se determinaron EXPERIMENTAL Las características físico-químicas del determinaciones cuantitativas de los siguientes Con el fin de promover y difundir el dul. *Instituto Nacional de Tecnologia Industrial*, 1–3.
- Rojas-castro, W. N. (2007). características del yogurt batido de fresa derivadas de diferentes proporciones de leche de vaca y cabra 1, 18(2), 221–237.
- Román, A., Wang, J., Csanádi, J., Hodúr, C., & Vatai, G. (2009). Partial demineralization and concentration of acid whey by nanofiltration combined with diafiltration. *Desalination*, 241(1–3), 288–295. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2007.12.054>
- Rovedo, C. O., Viollaz, P. E., & Suarez, C. (1991). The Effect of pH and Temperature on the Rheological Behavior of Dulce De Leche, A Typical Dairy Argentine Product. *Journal of Dairy Science*, 74(5), 1497–1502. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78309-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78309-4)
- Ruiz Rivera, J. A., & Ramírez Matheus, A. O. (2009). Elaboración de yogurt con probióticos (*Bifidobacterium* spp. y *Lactobacillus acidophilus*) e inulina. *Revista de La Facultad de Agronomía*, 26(2), 223–242.

- Sahan, N., Yasar, K., & Hayaloglu, A. A. (2008). ARTICLE IN PRESS Physical , chemical and flavour quality of non-fat yogurt as affected by a b -glucan hydrocolloidal composite during storage, 22, 1291–1297.
<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2007.06.010>
- Schaafsma, G. (2008). Lactose and lactose derivatives as bioactive ingredients in human nutrition. *International Dairy Journal*, 18(5), 458–465.
<https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2007.11.013>
- SENATI. (2011). *Elaboración de manjar blanco*.
- Şener, N., Kiliç Apar, D., & Özbek, B. (2006). A modelling study on milk lactose hydrolysis and B-galactosidase stability under sonication. *Process Biochemistry*, 41(7), 1493–1500. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2006.02.008>
- Shashiki, E. A. (2014). (lepidium meyenii) y del tiempo de almacenamiento sobre la acidez , sinéresis , viscosidad aparente y aceptabilidad general de yogurt batido simbiótico. *Pueblo Cont.*, 25, 89–96.
- Simanca, M. M., & Andrade, R. D. (2013). Efecto del Salvado de Trigo en las Propiedades Fisicoquímicas y Sensoriales del Yogurt de Leche de Búfala Effect of Bran Wheat on the Physico-Chemical and Sensory Properties of Buffalo Milk Yoghurt, 24, 79–86. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642013000100010>
- Singh, A. K., & Singh, K. (2012). Study on Hydrolysis of Lactose in Whey by use of Immobilized Enzyme Technology for Production of Instant Energy Drink. *Journal Food Science Technology*, 4(2), 84–90.
- Smithers, G. W. (2008). Whey and whey proteins-From “gutter-to-gold.” *International Dairy Journal*, 18(7), 695–704. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2008.03.008>
- Somov, V., Evdokimov, I., Knyazev, S., Perminov, S., & Kurash, Y. (2015). APPLICATION OF WHEY-DERIVED SYRUPS IN DAIRY PRODUCTS. *Food and Raw Materials*, 3(2), 89–95. <https://doi.org/10.12737/13113>
- Sousa, C. L., Neves, E. C. A., Carneiro, C. A. A., Peixoto, M. R. S., & Farias, J. B. (2002). Avaliação microbiológica e físico-química de doce de leite e requeijão produzidos com leite de búfala na ilha do marajó- pa la. *B. Ceppa*, 20(2), 191–202.
- Tamime, A. Y., & Robinson, R. K. (2006). *Yogur Ciencia y tecnología*. Acribia.
- Uribe, B. (2005). *Estudio del proceso de nanofiltración para la desmineralización de*

lactosuero dulce. Universidad Politecnica de Valencia.

Uribe, V., & Olmos, J. L. (2008). ELABORACION DE UNA CAJETA BAJA EN CARBOHIDRATOS.

Valencia, E., Millán, L., & Ramirez, N. (2008). Evaluación de los efectos en las propiedades fisicoquímicas, sensoriales y texturales de polidextrosa , fructosa y sorbitol como sustitutos de azúcar en la elaboración de arequipe *. *Revista Lasallista de Investigación*, 5(2), 20–27.

Valencia, F. E., & Millán Cardona, L. de J. (2008). Estimación de la vida útil de un arequipe bajo en calorías. *Revista Lasallista de Investigación*, 1(1), 23.

Valencia García, F. E., Millán Cardona, L. D. J., & Ramírez Herrera, N. (2008). Evaluación de los efectos en las propiedades sensoriales y texturales de polidextrosa, fructosa y sorbitol como sustitutos de azúcar en la elaboración de arequipe. *Revista Lasallista de Investigación*, 5(2), 20–27.

Vinderola, G., Perdígón, G., Duarte, J., Farnworth, E., & Matar, C. (2006). Effects of the oral administration of the exopolysaccharide produced by *Lactobacillus kefiranofaciens* on the gut mucosal immunity. *Cytokine*, 36(5–6), 254–260. <https://doi.org/10.1016/j.cyto.2007.01.003>

Vivas, Y., Morales, A., & Otálvaro, Á. (2017). Aprovechamiento de lactosuero para el desarrollo de una bebida refrescante con antioxidantes naturales. *Alimentos Hoy*, 24(39), 185–199. Retrieved from <http://www.alimentoshoy.acta.org.co/index.php/hoy/article/view/415>

Zapata, I. C., Sepúlveda-valencia, U., & Rojano, B. A. (2015). Efecto del Tiempo de Almacenamiento sobre las Propiedades Fisicoquímicas , Probióticas y Antioxidantes de Yogurt Saborizado con Mortiño (*Vaccinium meridionale Sw*) Effect of Storage Time on the Physicochemical , Probiotic and Antioxidant Properties of Yo, 26(2), 17–28. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642015000200004>