



UNIVERSIDAD  
**NACIONAL**  
DE COLOMBIA

# **Evaluación de la aceptabilidad y estabilidad de una bebida láctea endulzada con hidrolizado de lactosa y enriquecida con hierro**

**Lily Patricia Hernández Morales**

Universidad Nacional de Colombia  
Facultad de Ciencias Agrarias, Posgrado en Ciencia y Tecnología de Alimentos  
Medellín, Colombia  
2017



# **Evaluación de la aceptabilidad y estabilidad de una bebida láctea endulzada con hidrolizado de lactosa y enriquecida con hierro**

**Lily Patricia Hernández Morales**

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:  
**Magister en Ciencia y Tecnología de Alimentos**

Director:

MSc., José Uriel Sepúlveda Valencia

Codirector:

Ph.D., Héctor José Ciro Velásquez

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ciencias Agrarias, Posgrado en Ciencia y Tecnología de Alimentos

Medellín, Colombia

2017



## Resumen

Dentro de los principales desarrollos para el aprovechamiento del suero se encuentran los procesos de concentración de los componentes nutricionales, mediante diversas técnicas dentro de las cuales se destacan los procesos de separación por membranas. La lactosa, uno de los principales componentes del lactosuero, puede ser aprovechada mediante estos procesos de concentración y posteriormente sometida a hidrólisis con el fin de darle mayor valor agregado.

La lactosa hidrolizada en sus dos monosacáridos, glucosa y galactosa, además de poseer mayor poder edulcorante, es apta para el consumo por parte de personas intolerantes a la lactosa. Así es necesario evaluar la implementación y utilidad de estos subproductos buscando darles valor comercial que incentive su recuperación para la protección al ambiente.

La deficiencia de hierro es la carencia nutricional más frecuente a nivel mundial afectando en promedio al 30% de la población en general. La población infantil que no tienen una ingesta adecuada de hierro y/o zinc durante su crecimiento están sujetos a problemas relacionados con un desarrollo intelectual y psicomotor bajo y retardo en su crecimiento. Esta situación genera la necesidad de incorporar productos enriquecidos con micronutrientes que refuercen la alimentación recibida, que evidentemente es insuficiente para estas poblaciones.

La presente investigación estuvo encaminada al aprovechamiento de la lactosa a partir del concentrado de lactosa obtenido de un proceso de separación por membranas por nanofiltración, hidrolizado al 84% y concentrado hasta 72°Brix como endulzante parcial en la elaboración de una leche saborizada con cocoa y enriquecida con hierro aminoquelado como aporte de hierro a la dieta. Parámetros fisicoquímicos tales como sólidos solubles, acidez titulable, densidad, viscosidad y color fueron evaluados para combinaciones de hidrolizado entre 50 a 100% de reemplazo en la formulación y en porcentajes de hierro entre 5 y 15% del valor diario requerido (VDR) definido por la Resolución 333 de 2011 del Ministerio de la protección social.

Los resultados mostraron que las variables estudiadas no tienen diferencias estadísticamente significativas para los diferentes niveles de los tratamientos,

sin embargo si hubo cambios significativos de estas al evaluarlas frente a un patrón de referencia sin inclusión de hidrolizado ni de hierro.

Se estableció una prueba de ordenamiento sensorial bajo el parámetro aceptación general en el atributo "Calidad General" por un panel de 7 jueces entrenados. Este estudio permitió comparar los diferentes tratamientos bajo parámetros sensoriales con el patrón, obteniendo que la bebida más parecida a este es la que presenta menores niveles de inclusión de hierro (5%) con un porcentaje de inclusión de hidrolizado del 50%. Para la bebida seleccionada se estudió su estabilidad en el tiempo bajo condiciones de refrigeración a 4 °C. Los resultados obtenidos indicaron que el producto es estable en los 14 días iniciales de almacenamiento, sin embargo hay diferencias significativas de la acidez y la densidad en el día 17 de almacenamiento ocasionada por el efecto de las bacterias acidolácticas presentes en el producto.

Finalmente se realizó sobre este mismo tratamiento un perfil multidimensional de los atributos sensoriales, encontrando que en la mayoría de descriptores la bebida adicionada con hidrolizado y enriquecida con hierro es muy similar al patrón y presenta una alta calidad sensorial.

**Palabras clave:** hidrolizado de lactosa, bebida saborizada, enriquecimiento, hierro aminoquelado, calidad sensorial

## Abstract

Within the main developments on the usage of whey there are processes of concentration of the nutritional elements, through techniques such as separation by membranes. Lactose, one of the main components of whey, can be harnessed by these concentration processes and subsequently subjected to hydrolysis in order to give it higher added value.

Hydrolyzed lactose in its two monosaccharides, glucose and galactose, in addition of possessing greater sweetening power, is suitable for consumption by lactose intolerant people. Thus, it is necessary to evaluate the implementation and utility of these by-products in order to give them commercial value that encourages their recovery for environmental protection.

Iron deficiency is worldwide the most frequent nutritional deficiency affecting an average of 30% of the population in general. Children who do not have an adequate intake of iron and / or zinc during their growth are subject to problems related to low intellectual and psychomotor development and delayed growth. This situation generates the need to incorporate products enriched with micronutrients that reinforce the food received, which is evidently insufficient for these populations.

The present investigation was addressed to the usage of lactose from the lactose concentrate obtained from a membrane separation process 80% hydrolyzed and concentrated to 72 ° Bx as a partial sweetener in the elaboration of a cocoa flavored milk enriched with aminochelelated iron as a contribution of iron to the diet. Physicochemical parameters such as soluble solids, titratable acidity, density, viscosity and color were evaluated for combinations of hydrolysate between 50 and 100% replacement in the formulation and iron between 5 and 15% of VDR.

It was found that the studied variables do not have significant statistically differences between the different levels of treatments, however, there were significant changes of these by testing them in a reference standard without hydrolyzed or iron inclusion.

It was established a sensory performed under the general acceptance parameter in the attribute "General Quality" by a panel of 7 trained judges. This study

allowed to compare different treatments under sensory parameters with the pattern, obtaining that the most similar beverage is the one that has less levels of iron inclusion (5%) with a percentage of hydrolyzate inclusion of 50%.

For the selected drink their stability was studied over time under refrigeration conditions (4°C). Results indicated that the beverage is stable in the initial 14 days of storage, however there are significant differences in acidity and density on day 17 of storage caused by the acidolactic effect of bacteria on the product.

Finally, a multidimensional profile of the sensory attributes was carried out on this same treatment, finding that in most of the descriptors the hydrolyzed and iron enriched beverage is very similar to the standard and presents a high sensorial quality.

**Key words:** Lactose hydrolyzate, flavored beverage, enrichment, aminochelated iron, sensorial quality.



# Contenido

<b>RESUMEN</b> .....	<b>V</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>VII</b>
<b>CONTENIDO</b> .....	<b>IX</b>
<b>LISTA DE TABLAS</b> .....	<b>XI</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<b>XIII</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO 2 MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>5</b>
1.1 EL LACTOSUERO .....	5
1.2 LA LACTOSA E HIDROLIZADOS DE LACTOSA .....	9
1.3 LECHES SABORIZADAS .....	14
1.4 FORTIFICACIÓN CON HIERRO.....	15
1.5 BEBIDAS SABORIZADAS REDUCIDAS EN AZÚCAR Y ENRIQUECIDAS .....	18
<b>CAPÍTULO 3 ELABORACIÓN DE UNA BEBIDA LÁCTEA CHOCOLATADA ENDULZADA CON CONCENTRADO DE LACTOSA HIDROLIZADA Y ENRIQUECIDA CON HIERRO AMINOQUELADO</b> .....	<b>21</b>
2.1 RESUMEN .....	21
2.2 SUMMARY .....	22
2.3 INTRODUCCIÓN .....	22
2.4 MATERIALES Y MÉTODOS.....	24
2.4.1 <i>Formulación y preparación de los tratamientos</i> .....	24
2.4.2 <i>Determinación de la bebida con mejor calidad general del sabor</i> .....	25
2.4.3 <i>Evaluación de las características físico-química de las bebidas.</i> .....	26
2.4.4 <i>Estabilidad de la bebida</i> .....	26
2.4.5 <i>Perfil sensorial de la bebida por aproximación multidimensional</i> .....	27
2.4.6 <i>Diseño experimental</i> .....	27
2.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	28

---

2.5.1 Determinación de la bebida con mejor calidad general de sabor.....	28
2.5.2 Evaluación de las características físico-química de las bebidas.....	28
2.5.3 Estabilidad físico-química de la bebida.....	33
2.5.4 Perfil sensorial de la bebida por aproximación multidimensional .....	34
<b>CAPÍTULO 4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>37</b>
3.1 CONCLUSIONES .....	37
3.2 RECOMENDACIONES .....	38
<b>BIBLIOGRAFÍA GENERAL .....</b>	<b>39</b>

## Lista de tablas

Tabla 1-1. Composición general del suero y distribución proteica .....	6
Tabla 1-2. Composición de lactosuero dulce y ácido.....	7
Tabla 1-3. Algunos usos del lactosuero en alimentos y otras aplicaciones. ....	8
Tabla 1-4. Propiedades de lactasas de origen microbiano. ....	13
Tabla 1-5. Requisitos fisicoquímicos de leche saborizada .....	14
Tabla 2-1. Caracterización fisicoquímica del sirope de lactosa hidrolizada .....	25
Tabla 2-2. Medias de los resultados de análisis fisico-químicos .....	29
Tabla 2-3: medias de los resultados de estabilidad fisicoquímica del tratamiento T50-5 y testigo .....	33



## Lista de figuras

Figura 1-1: Estructura de la molécula de lactosa en sus configuraciones $\alpha$ y $\beta$ . .....	10
Figura 2-1. Superficies de respuesta para las variables de color $a^*$ y $b^*$ .....	31
Figura 2-2. Perfil multidimensional de la bebida T50-5 y el testigo .....	35



# Introducción

La industria láctea es uno de los sectores más importantes de la economía de los países emergentes e industrializados, donde aproximadamente el 90% del total de la leche utilizada en la industria quesera es eliminada como lactosuero, el cual retiene cerca de 55% del total de los componentes de la leche como lactosa, proteínas séricas, lípidos y sales minerales (Parra, 2011). El suero de queso vertido al medio ambiente puede causar un exceso de consumo de oxígeno, la impermeabilización, la eutrofización, toxicidad, entre otros impactos sobre los medios receptores. Se estima que el suero generado en la elaboración de quesos tiene una DBO del orden de 40000 - 50000 mg/l (Arango & Sanches, 2009), por lo que su uso no es sólo una oportunidad desde el punto de vista funcional, en tanto se desaprovecha un subproducto con alto potencial alimenticio, sino que desde el punto medioambiental, es una necesidad urgente.

En la actualidad existen varias tecnologías que pueden ser utilizadas para el aprovechamiento de los componentes del suero lácteo como los procesos de separación por membranas, tratamientos anaeróbicos y aeróbicos, electrocoagulación, entre otros (Sánchez Sánchez et al., 2009). Las tecnologías de ultrafiltración y nanofiltración permiten concentrar en una de las fases la lactosa del suero que puede ser empleada de numerosas formas. Entre ellas, luego de un proceso de hidrólisis con el cuál es desdoblada en sus monosacáridos constitutivos (glucosa y galactosa), ser utilizada como edulcorante en diferentes productos (Ganzle, Haase, & Jelen, 2008).

Las leches saborizadas constituyen un alimento de alto consumo para la población infantil. Estos productos aumentan la ingesta de los nutrientes que aporta la leche debido a que mejora ostensiblemente la palatabilidad o aceptabilidad frente a la leche pura, permitiendo un mayor consumo general de este producto esencial para la alimentación de los niños (Fayet-Moore, 2014).

A pesar de que los niveles de nutrientes se conservan casi intactos al consumir leche pura y saborizada, se han encontrado estudios que muestran que puede haber relación entre el sobrepeso en algunos grupos de niños y el consumo de este tipo de productos debido al mayor consumo de azúcar (Fayet-Moore, 2014).

Así mismo, estudios médicos han demostrado que existe relación entre la disminución en la asimilación de micronutrientes como la niacina, vitamina E, Hierro y Zinc y el consumo de azúcar agregado a los alimentos en poblaciones de jóvenes y niños (Goddard & Probst, 2014).

En Colombia, entre las enfermedades causadas por deficiencias nutricionales, se tiene una prevalencia de Anemia del 8,1% de la población de niños entre los 5 y 12 años y de 11% de la población de niños entre los 13 y 17 años (Ministerio de la Protección Social, 2011a). Estas poblaciones son a menudo cubiertas con programas de alimentación que buscan suplir las necesidades básicas de nutrientes para prevenir problemas en la salud.

Paradójicamente se encuentra también que las poblaciones infantiles (entre 5 y 17 años) en nuestro país están siendo afectadas altamente por la obesidad, presentándose un aumento del 26% en poblaciones con sobrepeso u obesidad en el último quinquenio en Colombia. Así, uno de cada 6 niños y adolescentes presentan sobrepeso u obesidad, presentándose principalmente en el área urbana (19,2%) que en el área rural (13,4%) (Ministerio de la Protección Social, 2011a).

La anemia es uno de los problemas más prevalentes de los seres humanos. Estudios sugieren que entre un 50% y 80% puede poseer anemia, y de estos de



un 10% a 20% poseen anemia moderada a severa, encontrándose en alto riesgo mujeres y niños, siendo la principal causa la insuficiencia en los niveles de hierro. La población infantil que no tienen una ingesta adecuada de hierro y/o zinc durante su crecimiento están sujetos a problemas relacionados con un desarrollo intelectual y psicomotor bajo y retardo en su crecimiento (Kassebaum et al., 2014). Esta situación genera la necesidad de incorporar productos enriquecidos con micronutrientes que refuercen la alimentación recibida, que evidentemente es insuficiente para estas poblaciones.

Este trabajo evalúa la viabilidad del reemplazo de los edulcorantes calóricos comúnmente usados en la elaboración de leches saborizadas dirigidas a la población infantil por un concentrado de lactosa hidrolizada con menor aporte calórico que la sacarosa, con el fin de contribuir a la disminución de problemas de salud asociados al sobrepeso y así mismo complementar el consumo de micronutrientes fundamentales como el hierro, necesario para evitar problemas de anemia en dicha población.

La evaluación se realizó en términos de la calidad sensorial del sabor y de las propiedades fisicoquímicas de las bebidas en relación a una bebida endulzada con sacarosa y sin suplementación de minerales. Se compararon los atributos sensoriales del tratamiento con mayor calidad general con los de una bebida testigo mediante un análisis paramétrico multidimensional y se estudiaron las propiedades fisicoquímicas con el fin de evaluar la estabilidad de la bebida durante un periodo de 15 días.



## **Capítulo 2 Marco teórico**

### **1.1 El lactosuero**

El suero de leche es el producto lácteo líquido obtenido durante la elaboración del queso, la caseína o productos similares, mediante la separación de la cuajada, después de la coagulación de la leche y/o los productos derivados de la leche. El suero puede ser dulce (de la producción de quesos por coagulación enzimática) o ácido (de la producción de quesos por coagulación ácida) (Codex Alimentarius & FAO/OMS, 2011).

A nivel mundial, en los últimos años, la producción de suero de quesería ha venido en aumento (Smithers, 2008), constituyéndose la industria láctea en uno de los renglones más importantes de países industrializados y en desarrollo (Parra, 2009)

Según estudios realizados sobre producción de lactosuero a nivel mundial, la distribución en el mundo en el año 2005 fue: Europa 53%, América del Norte y central 28%, Asia 6%, África 5%, Oceanía 4%, América del Sur 4%. Anualmente esto representa 110-115 millones de toneladas de lactosuero generados por quesería (Parra, 2009). Para el año 2011, Poveda E. (2013) reportó una producción mundial de 145 millones de toneladas, teniendo un aumento del 26% a nivel mundial en 6 años con base en estas cifras, lo que significa un crecimiento significativo para el sector en términos de este subproducto. La composición del lactosuero es muy variada, dependiendo

principalmente de la tecnología y el tipo de producto del que provenga, estudios muestran algunos valores comunes de esta (ver Tabla 2-1).

**Tabla 2-1. Composición general del suero y distribución proteica**

<b>Componente</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Lactosa</b>	95% de la lactosa de la leche, en una proporción de (4,5-5,0 %p/v)
<b>Proteína</b>	En una proporción 0,8-1% p/v. corresponde alrededor del 25% de las proteínas contenidas normalmente en la leche
<b><math>\alpha</math>-Lactoalbúmina</b>	30% del contenido proteico
<b><math>\beta</math>-Lactoglobulina</b>	Correspondiente a 10% del total de proteínas
<b>Lípidos</b>	0,5-8% de la materia grsa de la leche
<b>Vitaminas</b>	Tiamina 0,38mg/ml; Ribiflavina 1,2mg/ml; ácido nicotínico 0,85mg/ml; ácido pantoténico 3,4mg/ml; priridoxina 0,42mg/ml; cobalamina 0,3mg/ml; ácido ascórbico 2,2mg/ml
<b>Minerales</b>	8-10% del extracto seco. Calcio (0,4-1,6g/l)

Fuente: tomada de Poveda (2013)

La precipitación de caseína conduce a la formación de dos tipos de suero de leche. Suero de leche ácido (pH<5) se obtiene después de la fermentación o la adición de ácidos orgánicos o minerales. Suero de leche dulce (pH = 6-7) se obtiene por adición de enzimas proteolíticas como quimosina (Carvalho, Prazeres, & Rivas, 2013). Cada uno de estos efluentes presenta composiciones diferentes (ver Tabla 2-2; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**)

**Tabla 2-2. Composición de lactosuero dulce y ácido**

<b>Componente</b>	<b>Lactosuero dulce (g/l)</b>	<b>Lactosuero ácido (g/l)</b>
<b>Sólidos totales</b>	63,0-70	63,0-70,0
<b>Lactosa</b>	46,0-52,0	44,0-46,0
<b>Proteína</b>	6,0-10,0	6,0-8,0
<b>Calcio</b>	0,4-0,6	1,2-1,6
<b>Fosfatos</b>	1,0-3,0	2,0-4,5
<b>Lactato</b>	2,0	6,4
<b>Cloruros</b>	1,1	1,1

Fuente: Tomado de (Parra, 2009)

Debido a los altos volúmenes de suero producido por la industria láctea y a las propiedades funcionales de sus componentes, este subproducto ha tratado de reincorporarse en alimentos de diversas formas, entre las que encontramos elaboración de concentrados proteicos, hidrolizados, aislados, fórmulas de alimentación infantil, producción de etanol, biomasa, producción de exopolisacáridos, biopolímeros, ácidos orgánicos, incorporación a quesos, bebidas fermentadas y refrescantes (OECD, 2016; Parra, 2009). En la Tabla 2-3 se resumen los principales usos que se le da al lactosuero y sus beneficios.

Estudios han demostrado como las sustancias presentes en el suero son de gran beneficio para la salud humana, siendo alguno de sus efectos positivos la disminución del anabolismo muscular, reducción de grasa corporal, mejoramiento del desempeño físico y en general efectos positivos sobre la presión sanguínea, mejoramiento del humor y el estrés, así como numerosas propiedades nutricionales y funcionales sobre el organismo (Mestrado & Preto, 2006).

**Tabla 2-3. Algunos usos del lactosuero en alimentos y otras aplicaciones.**

<b>Aplicaciones en</b>	<b>Algunos beneficios</b>
<i>Productos de panadería como croissants y tortas</i>	Incrementar el valor nutricional, como emulsificante, reemplazar la adición de huevo, para dar cuerpo a la masa.
<i>Productos lácteos como bebidas fermentadas y quesos</i>	Valor nutricional, emulsificante, gelificante, mejorar propiedades organolépticas, mejorar consistencia, cohesividad.
<i>Bebidas como jugos de fruta, refrescos, bebidas achocolatadas, bebidas a base de leche</i>	Valor nutricional, solubilidad, viscosidad, estabilidad coloidal.
<i>Postres como barras de yogur y helados</i>	Propiedades emulsificantes, dar cuerpo y textura.
<i>Confitería</i>	Como emulsificante y para facilitar el batido
<i>Productos cárnicos</i>	Pre-emulsificante, gelificante, mejorador de solubilidad
<i>Alimentos nutricionales</i>	Alimentos de mayor valor nutricional y bajo costo, alimentos para deportistas, adultos mayores, fórmulas nutricionales especiales para mantener peso saludable o aumentar consumo de proteína, formulas infantiles, formulas especiales para alimentación hospitalaria.
<i>Concentrados de proteína</i>	Productos alimenticios especiales, suplementos nutricionales, productos de panadería y confitería. Contiene entre 25-89% de proteína, 4-52% de lactosa y 1-9% de grasa
<i>Obtención de aislados de proteína</i>	Para suplementos de proteína, bebidas y productos altos contenidos de proteína. Contiene aproximadamente 90-95% de proteína, 0,5-1% de lactosa y 0,5-1% de grasa
<i>Obtención de hidrolizados de proteína</i>	Para fórmulas infantiles, productos para deportistas, productos nutricionales especiales. Contiene aproximadamente 80-90% de proteína, 0,5-1% de lactosa y 0,5-0,8% de grasa
<i>Purificación de proteínas aisladas</i>	$\alpha$ -Lactoalbúmina, $\beta$ -Lactoglobulina, inmunoglobulinas, glicoproteínas, como lactoferrina y lactoperoxidasa.
<i>Fuentes de compuestos bioactivos</i>	Péptidos y proteínas con potencial antihipertensivo, actividad antimicrobial, antioxidante, incremento de la saciedad, etc.
<i>Fuente de lactosa</i>	Compuesto transportador en productos farmacéuticos, componente de fórmulas infantiles, materia prima para la producción de derivados de lactosa: lactulosa, GOS, lactitol, glucosa.  Para bioconversión de lactosa: alcohol, ácido láctico, biocombustible.
<i>Fuente de extracción de minerales</i>	Calcio, fósforo.

Fuente: tomado de Poveda (2013)

## 1.2 La lactosa e hidrolizados de lactosa

El aumento inusitado en la producción de queso en la segunda parte del siglo pasado, demandó la búsqueda de nuevas alternativas para la utilización del lactosuero, lo que implica necesariamente encontrar usos para la lactosa (Ganzle et al., 2008).

La lactosa está presente en la leche de la mayoría de los mamíferos. Su concentración puede encontrarse entre 2 y 10%, y particularmente en la leche bovina en un promedio del 4,8% (Ganzle et al., 2008). El lactosuero, subproducto de la elaboración de quesos contiene el 95% de la lactosa de la leche (Poveda, 2013), y es un disacárido compuesto de una molécula de glucosa unida a una molécula de galactosa (4-0- $\beta$ -D-galactopyranosyl-D-glucopyranose), con fórmula  $C_{12}H_{22}O_{11}$ .

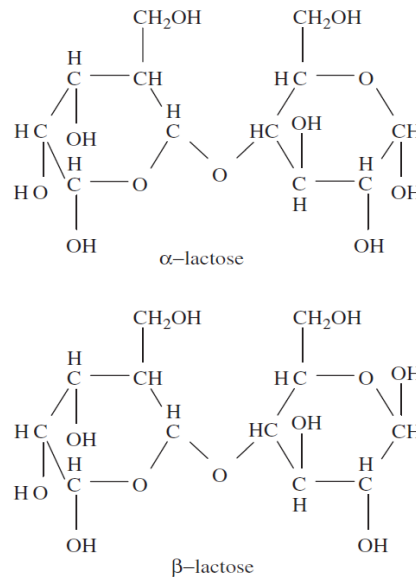
En soluciones acuosas, la lactosa puede presentarse en las formas  $\alpha$  y  $\beta$  (Figura 2-1). Su punto de fusión es 201,6°C. Puede cristalizar como monohidrato por concentración de solución de lactosa hasta sobresaturación y dejándola cristalizar a velocidades moderadas por debajo de los 93,5°C. Las formas cristalinas predominantes son prisma, piramidal o "Hacha", dependiendo de las condiciones de cristalización (Ganzle et al., 2008).

La solubilidad de la lactosa es baja en comparación con otros disacáridos, siendo del 10% del valor de la sacarosa a temperatura ambiente, sin embargo, el efecto de la temperatura sobre su solubilidad es pronunciado, debido principalmente a las diferencias en la solubilidad de sus dos isómeros, explicado en que el equilibrio muta rotatorio favorece la variante  $\alpha$ , de baja solubilidad a temperatura ambiente, cuya solubilidad aumenta considerablemente a temperaturas cercanas a los 93°C (Ganzle et al., 2008).

Entre las formas de extraer la lactosa del suero lácteo, se encuentran técnicas como la cristalización, la cromatografía o la separación por membranas. En esta última se emplean tecnologías de Ultrafiltración (UF) o mediante una

combinación de procesos de UF y de Nanofiltración (NF). En el proceso de la UF, la lactosa es separada junto con el agua y otros componentes más pequeños, mientras que las proteínas son concentradas en el retenido. La lactosa así obtenida puede tener un 80% de pureza en base seca. Los minerales y otras moléculas pequeñas pueden ser retiradas mediante procesos de NF (Harju, Kallioinen, & Tossavainen, 2012; Rosa et al., 2010)

**Figura 2-1: Estructura de la molécula de lactosa en sus configuraciones  $\alpha$  y  $\beta$ .**



Tomado de Ganzle et al.,(2008)

Se reportan cuatro aplicaciones importantes de la lactosa: como endulzante, agente quelante, acidulante y unidad formadora de polímeros. Sin embargo, los concentrados de lactosa obtenida por estos procedimientos no son empleados en alimentos como endulzantes debido a su bajo poder edulcorante y por la alta intolerancia de los consumidores, por lo que la hidrólisis es una alternativa bastante empleada para emplear este producto. Durante la segunda mitad del siglo XX, el proceso teórico de hidrólisis de la lactosa tomó bastante fuerza a pesar de que industrial y económicamente se preciaba bastante difícil. Uno de los objetivos que se perseguían con este proceso era el desarrollo de carbohidratos edulcorantes (Ganzle et al., 2008).



El dulzor de la lactosa se ha reportado entre un 20 y 37% del valor de la sacarosa a las mismas condiciones. Los monosacáridos, glucosa y galactosa, resultantes de su hidrólisis, son mucho más dulces que esta (68 y 62 respectivamente según Modler (1985). Ganzle et al., (2008), reportan que cuando la hidrólisis se da en un 80 a 100%, el dulzor del permeado resultante que contiene 60% de sólidos solubles, se incrementa aproximadamente de 4 a 4,5 veces comparado con el permeado no hidrolizado.

Así, los procesos de hidrólisis permiten la posibilidad del uso de la lactosa como sirope endulzante en productos lácteos o no lácteos, incrementando la disponibilidad de los nutrientes de la leche al aliviar la intolerancia a la lactosa (Ganzle et al., 2008). Así mismo, con la ventaja de que disminuye el aporte calórico lo que lo hace atractivo para ser usado como endulzante en productos como leches saborizadas (Yang & Silva, 1994).

En cuanto a las tecnologías empleadas para la hidrólisis enzimática, las dos principales están basadas en la utilización de la “enzima libre” por un lado, y el empleo de reactores de enzima inmovilizada, siendo la primera el método más aceptado y empleado actualmente para la producción de leche lactosa deslactosada (Ganzle et al., 2008; Hobman, 1983). Sin embargo, la enzima utilizada en este tipo de procesos no puede ser reutilizada, lo cual representa altos costos de producción.

La lactosa puede ser hidrolizada por la enzima  $\beta$ -D-galactosidasa, también conocida como “lactasa”, dando como resultado inicial la glucosa y galactosa en iguales proporciones, pero reacciones posteriores en soluciones concentradas, pueden consumirlas parcialmente para formar algunos oligosacáridos (Holsinguer, 1988; Hobman, 1983).

Se pueden encontrar muchas lactasas para procesos industriales en suero o leche. La enzima preparada de la sepa *Kluveromyces lactis* trabaja a un pH óptimo entre 6 y 7 a 35°C. La lactasa de *Kluveromyces fragilis* tiene un pH óptimo de 4,8 a una temperatura óptima aproximada de 50°C. La tasa de hidrólisis

depende de la concentración de los minerales, lactosa, galactosa, del pH y de la temperatura (Holsinguer, 1988).

En la actualidad existen numerosas enzimas que varían según la fuente de la cual se obtienen, siendo las más comunes las de origen microbiano. En la Tabla 2-4 se muestran las propiedades para algunas de estas lactasas.

Los siropes o concentrados de lactosa pueden ser producidos a partir de suero o permeados de UF con procesos de desmineralización e hidrólisis. Para emplear este sirope como sustituto de siropes de maíz en bebidas refrescantes o caramelos, este requiere procesos previos de decoloración, que suelen realizarse con carbón activado y altas tasas de desmineralización. Sin embargo al emplearlo como endulzante en productos lácteos, se requiere sólo una desmineralización parcial (Modler, 1985).

El uso del sirope de hidrolizados de lactosa ha sido propuesto como una alternativa para endulzar en reemplazo de jarabes de maíz. No obstante, el almacenamiento de estos productos líquidos puede ser un problema debido al crecimiento de microorganismos o a la precipitación de la lactosa residual o la galactosa. Holsinguer (1988) señala que este problema puede ser controlado almacenando entre -10 y -20°C si los sólidos totales están alrededor del 70%. Así mismo, la revisión realizada por Hobman (1983), muestra que siropes de lactosa con porcentajes de hidrólisis de 80% y 60% de sólidos permaneció estable al almacenamiento por más de 6 semanas a 50°C, aunque presentó problemas de decoloración, mientras que en 75% de hidrólisis y 85% de sólidos formó un bloque sólido y viscoso al almacenarlo a 4°C, pero permaneció igualmente estable durante las 6 semanas de evaluación.

**Tabla 2-4. Propiedades de lactasas de origen microbiano.**

<i>Fuente</i>	<i>pH óptimo</i>	<i>Rango de temperatura de operación</i>	<i>Activadores</i>
<i>Aspergillus niger</i>	3,0-4,0	55-60	No requiere
<i>Aspergillus oryzae</i>	5,0-6,2	50-55	No requiere
<i>Kluveromyces lactis</i>	6,5-7,3	35	K, Mg, Mn
<i>Kluveromices fragilis</i>	6,6	37	K, Mg, Mn
<i>Escherichia coli</i>	7,2	40	Na, K, Mg
<i>Bacillus circulans</i>	6,0	60	No requiere
<i>Bacillus subtilis</i>	6,5-7,0	50	No requiere
<i>Bacillus stearothermophilus</i>	5,8-6,4	65	Mg
<i>Lactobacillus acidophilus</i>	6,2-6,6	55	Mg
<i>Streptococcus thermophilus</i>	7,1	55	Na, K, Mg

Tomado de Harju et al., 2012

A pesar de su amplio campo de aplicación que incluyen jarabes, productos horneados, carnes, salchichas, bebidas de frutas, fermentaciones, piensos, alimentos dietéticos, queso de suero, bebidas, caramelos, goma de mascar, postres congelados, helados, yogur, vino, cerveza, enlatados Frutas, verduras enlatadas, budines y aderezos para ensaladas, los mercados que esperaban materializarse a mediados de los años 80 para esta tecnología no lo han hecho, principalmente debido a que su alto costo de producción y de las tecnologías necesarias no lo hace competente frente a otros edulcorantes (Yang & Silva, 1994).

### 1.3 Leches saborizadas

Las leches saborizadas son productos listos para el consumo, no fermentados, con diferentes contenidos de grasa, mezcladas con ingredientes como azúcar u otros endulzantes y saborizantes como cocoa, polvos, jugos de fruta, café, aromas y otros aditivos que responden a los requerimientos de consumidores de variedad de sabor y como alternativa para quienes les disgusta el sabor de la leche natural pero que aprecian su valor nutricional. Son además aliciente para el consumo de leche por parte de los niños. Es por estas razones y de acuerdo a investigaciones de mercado, que el consumo de leches saborizadas ha tenido un rápido crecimiento el último tiempo frente a la leche líquida (Bisig, 2011).

Los sabores más importantes son el chocolate y el café, seguidos de otros sabores como vainilla, fresa, extractos de malta y chocolate y banano. Los ingredientes adicionados están por lo general, limitados a un 30% de la formulación.

La norma técnica colombiana dada por el ICONTEC (NTC 1419) las describe como la leche líquida con ingredientes y aditivos permitidos que es tratada con algún proceso de higienización y que puede ser clasificada según el nivel de grasa en entera, parcialmente descremada o descremada y según el tratamiento de higienización en pasteurizada, ultrapasteurizada, UAT (UHT) o esterilizada. Estas deben contener mínimo 90% de leche fluida para las leches saborizadas y mínimo 85% para leches achocolatadas por fórmula (ICONTEC, 2004a).

En cuanto a los requerimientos fisicoquímicos establecidos por la norma Colombiana, las leches saborizadas deben cumplir con los valores descritos en la Tabla 2-5.

**Tabla 2-5. Requisitos fisicoquímicos de leche saborizada**

<b>Característica</b>	<b>Entera</b>		<b>Semi-descremada</b>		<b>Parcialmente descremada</b>		<b>Descremada</b>	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
<i>pH</i>	6,5	6,8	6,5	6,85	6,5	6,85	6,5	6,85
<i>Materia grasa (%m/m)</i>	3,0	-	1,5	2,0	>0,5	<3,0	-	≤0,5
<i>Proteína %m/m</i>								
<i>Leche saborizada</i>	2,4		2,4		2,4		2,4	
<i>Leche achocolatada</i>	2,3		2,3		2,3		2,3	

Tomado de ICONTEC (2004)

## 1.4 Fortificación con hierro

Según el codex alimentarius, la fortificación tiene por objeto prevenir o reducir el riesgo de una deficiencia demostrada, de un estado nutricional inadecuado o ingestas insuficientes de uno o más nutrientes esenciales para cubrir las necesidades o recomendadas de dichos nutrientes con el fin de mantener o mejorar la salud de la población (Tobergte & Curtis, 2013).

El hierro empleado para la fortificación de alimentos comprende básicamente el hierro no-hemo (sales inorgánicas de hierro) y el hierro hemo (de origen animal). Este último, tiene una vía de absorción mucho más efectiva que la del primero, debido en gran medida a que el hierro no-hemo posee una baja solubilidad y se une a otros compuestos presentes en el alimento. Los compuestos a emplear para la fortificación deben poseer buena biodisponibilidad pero evitando al máximo cambios en las características sensoriales del alimento y el incremento de los costos. Entre las características a tener en cuenta están la solubilidad, sabor, color, estabilidad, higroscopicidad y oxidación (Martínez-Navarrete, Camacho, Martínez-Lahuerta, Martínez-Monzó, & Fito, 2002).

Existe gran diversidad de compuestos de hierro disponibles en el mercado con características bastante diversas. Los compuestos de hierro soluble como el Sulfato Ferroso o el gluconato ferroso, aportan un hierro de alta

biodisponibilidad. Sin embargo el hierro iónico libre es bastante reactivo y tiende a cambiar las propiedades sensoriales de los alimentos en un alto grado debido a los procesos oxidativos que cataliza. Es así como genera problemas de oxidación de grasas, enranciamiento de los lípidos, oxidación de vitaminas y aminoácidos con la consecuente pérdida del valor nutritivo de estos (Boccio & Monteiro, 2004; Martínez-Navarrete et al., 2002).

Los compuestos de hierro de moderada solubilidad, como el Fumarato Ferroso y el Succinato Ferroso, tienen elevada biodisponibilidad pero sólo es posible emplearlos en alimentos sólidos y deshidratados, pues al contacto con el agua, estos precipitan liberando la fracción de hierro, que trae como consecuencia los efectos descritos para los compuestos solubles. Los de baja solubilidad como el Ortofosfato Férrico, el Pirofosfato Férrico y el Hierro elemental, tienen baja reactividad y no producen cambios significativos en las características sensoriales del alimento ni en su valor nutricional, sin embargo, tienen una baja biodisponibilidad (Boccio & Monteiro, 2004).

El Hierro protegido o quelado por proteínas o fosfopéptidos, está unido a aminoácidos como la fosfocerina, asparagina o glicina. De esta manera no reacciona ni se expone a los componentes de la leche. Cuando el Hierro es adicionado a la leche descremada como  $\text{FeCl}_2$ ,  $\text{FeCl}_3$  o ferrosulfatos, se enlaza fácilmente a la fase coloidal de la leche sin importar el estado de oxidación del hierro, sin embargo, pueden causar modificaciones en las moléculas de caseína, no así los compuestos quelados, que no exponen el hierro (Gaucheron, 2000).

El hierro quelado se puede encontrar principalmente como NaFeEDTA, que es el más usado, principalmente en la fortificación de harinas, pero también como bisglicinato de hierro o como trisglicinato de hierro. Se ha encontrado que la absorción de este mineral a partir de bisglicinato de hierro es de 1,1 a 5 veces mayor que la absorción a partir de sulfato ferroso, pero inferior a la del NaFeEDTA según estudios comparativos (Organización Panamericana de la Salud (OPS), 2002). Boccio & Monteiro (2004), indica además que el NaFeEDTA

---

no es fácilmente inhibido, no genera reacciones de oxidación y afecta menos el sabor que el Sulfato Ferroso. Así, los compuestos quelados con aminoácidos, que están formados por componentes habituales de los alimentos, suelen ser más aceptados, siendo principalmente empleados en la fortificación de cereales y maíz y poco estudiados en productos lácteos (Martínez-Navarrete et al., 2002).

A pesar de que los compuestos de hierro protegido como la hemoglobina y el EDTA-Fe (III), poseen alta biodisponibilidad y son relativamente estables en procesos de producción industrial y en almacenamiento, varios de ellos tienen serios efectos sobre el color de los alimentos y la oxidación de las grasas en harinas, sin embargo puede ser útil para la fortificación de leche (Organización Panamericana de la Salud (OPS), 2002).

En cuanto a los alimentos empleados para la fortificación con hierro, los principales son los cereales y los productos lácteos, sin embargo, el efecto catalítico de reacciones de oxidación durante el almacenamiento es un problema importante y tiene relación directa con el grado de solubilidad del hierro (Martínez-Navarrete et al., 2002).

Los productos lácteos son pobres en hierro (0,2 mg/kg), el cual se haya enlazado a las caseínas de la leche (Gaucheron, 2000). El enriquecimiento de estos productos es favorable a las personas que normalmente toman una dieta baja en hierro, pues por lo general consumen altas cantidades de productos lácteos (Hekmat & McMahon, 1997).

Por otra parte, distintos nutrientes presentes en los productos lácteos, como el calcio, la caseína, las proteínas del suero y el cacao en el caso particular de las leches chocolatadas, podrían provocar una disminución significativa de la absorción del hierro y/o el zinc. Para el caso del hierro, el agregado de ácido ascórbico ha demostrado ser efectivo en solucionar en parte este efecto inhibitorio. Sin embargo la vitamina C en medios líquidos, como la leche fluida, se degrada rápidamente a ácido dicetoglucónico, provocando importantes cambios en las características sensoriales del alimento. Por ejemplo, el

chocolate, en contacto con el hierro usado como fortificante de la leche, se torna de un color negro-grisáceo, condición que hace al alimento inaceptable desde el punto de vista de sus cualidades sensoriales (Boccio & Monteiro, 2004; Wharton, 1999).

Es de notar además que los procesos de oxidación no sólo dependen de la matriz y de sus características particulares como pH y humedad, sino también del proceso de elaboración del alimento y sus condiciones, siendo la más importante la temperatura (Martínez-Navarrete et al., 2002). Gaucheron (2000) cita estudios que muestran que la adición de sales de hierro a la leche entera seguida por la pasteurización, generó sólo ligeros cambios en el sabor y procesos de homogenización impidieron la disminución en su calidad.

Una revisión de los productos lácteos funcionales realizada por Urquiza & Ruiz (2014), reporta que productos lácteos son enriquecidos en 2,2 mg/100mg de hierro. Martínez-Navarrete et al., (2002), reporta en su revisión sobre enriquecimiento de alimentos el uso del Sulfato Ferroso como principal fuente de hierro para productos lácteos, incluyendo variedades como el Sulfato de Hierro microencapsulado con lecitina, además del uso del NaFeEDTA.

En Colombia, la legislación de rotulado y etiquetado nutricional (Resolución número 333 de 2011), establece el porcentaje de valor diario (%VD) como el aporte que hace al valor de referencia un determinado nutriente presente en un alimento. En cuanto al hierro, el valor de referencia para niños mayores de 4 años y adultos es de 18mg/día. Para ser declarado “Buena fuente” del mineral, el alimento por porción debe proveer entre el 10 y el 19% del VR (Ministerio de la Protección Social, 2011b).

## **1.5 Bebidas saborizadas reducidas en azúcar y enriquecidas**

Son numerosos los estudios hallados en la literatura que buscan el desarrollo de leches saborizadas con nuevos y diversos productos, buscando ampliar la gama



de sabores disponibles y las materias primas empleadas (Bajracharya et al., 2012; Caldeira, Ferrão, Fernandes, Magnavita, & Santos, 2010; Keshtkaran, Mohammadifar, Asadi, Nejad, & Balaghi, 2013), sin embargo su enfoque está en el desarrollo de sabores e inclusión de fuentes de sabor, así como la implementación o aprovechamiento de subproductos de la leche como el suero lácteo.

En busca de los niveles de reducción de azúcar máximos aceptados por los consumidores, el estudio realizado por Oliveira et al., (2016) encontraron que en el caso de leches chocolatadas, es posible la reducción de hasta 6,7% de los valores comúnmente empleados sin afectar la percepción del consumidor. Sin embargo un estudio de aceptación y preferencia de leches chocolatadas realizado con escolares en Canadá, muestra que al reducir en 1% el dulzor de la bebida, se reduce su consumo (Henry, Whiting, Finch, Zello, & Vatanparast, 2016), lo que se explica por la mayor sensibilidad y disminución de los umbrales de percepción de esta población, limitando la reducción del contenido de azúcar en estos alimentos para niños.

Ante la necesidad de sustituir los endulzantes comúnmente usados por otros que generen menor aporte calórico pero que conserven las características organolépticas, Bajwa & Mittal (2015) estudiaron el reemplazo de una parte de la sacarosa empleada para endulzar bebidas lácteas por sucralosa (72,6ppm), la cual disminuyó la consistencia y la sensación en la boca, característica que fue sin embargo subsanada por la adición de pulpa de mango.

Oliveira et al., (2015), estudió la viabilidad de disminución de azúcar en leches saborizadas de chocolate con la adición de potencializadores del dulzor como la vainilla y la Taumatin, encontrando que los consumidores no detectan reducciones en 40% del nivel de azúcar con la adición de sabor vainilla.

En cuanto a la suplementación de bebidas lácteas con hierro, estudios realizados sobre adición en forma de sales, han mostrado problemas en la aceptación del color y el sabor, limitando así los niveles de su implementación

(Douglas, Rainey, Wong, Edmondson, & LaCroix, 1980; Hekmat & McMahon, 1997; Leclé, 2002; Morales, Sánchez-Vargas, García-Zepeda, & Villalpando, 2015; Walker, Kordas, Stoltzfus, & Black, 2005).

Un estudio del contenido de minerales de bebidas saborizadas de chocolate en Brasil realizado por Pedro, De Oliveira, & Cadore (2006), muestra que los niveles de hierro de 13 diferentes marcas comerciales varían entre 4,43 y 9,30mg/100g de la bebida, lo que equivaldría aproximadamente a un 24 – 51% de los VDR en Colombia.

## **Capítulo 3 Elaboración de una bebida láctea chocolatada endulzada con concentrado de lactosa hidrolizada y enriquecida con hierro aminoquelado**

### **2.1 Resumen**

Las bebidas saborizadas son una de las principales formas de consumo de leche debido a que mejora sus propiedades sensoriales. Sin embargo, los endulzantes empleados en este tipo de bebidas aumentan el aporte calórico de la leche. En este estudio se evaluó el efecto del reemplazo de sacarosa por un concentrado de lactosa hidrolizada y enriquecida con bisglicinato de hierro sobre una bebida láctea chocolatada. Se formularon bebidas con 50, 75 y 100% de reemplazo de sacarosa y porcentajes de VDR (valores diarios recomendados) de hierro de 5, 10 y 15% mediante un diseño de superficie de respuesta de 9 puntos con repetición del punto central para un total de 10 experimentos. Los resultados mostraron que la densidad, sólidos solubles, acidez titulable, color, viscosidad y pH no muestran diferencias significativas entre tratamientos, pero sí se observan cambios considerables de estos frente a un testigo, siendo principal el desplazamiento en los parámetros de color  $a^*$  y  $b^*$  (CIELab) hacia los verdes y amarillos, cambio atribuido a la formación de complejos coloreados entre la cocoa y el bisglicinato de hierro. Adicionalmente, el análisis sensorial mostró diferencias significativas en el sabor de los tratamientos en el parámetro “calidad general” de sabor. El tratamiento con 50% hidrolizado y 5% Hierro (T50-5) fue más cercano a las características del testigo presentando un comportamiento similar al testigo durante los 17 días de monitoreo. Un análisis sensorial multidimensional indicó que las diferencias entre los descriptores de sabor del tratamiento testigo y el T50-5 no son significativas y que su “calidad general” es similar.

**Palabras clave:** leche saborizada, endulzante, hidrolizado de lactosa, evaluación sensorial.

## 2.2 Summary

Flavored beverages are one of the main forms of milk consumption because it improves the sensory properties of this. However, the sweeteners used in this type of beverages increase the caloric intake of milk. In the present study, the effect of the replacement of the sucrose by a hydrolyzed lactose syrup and the enriched with iron bisglycinate on a chocolate flavored milk drink was studied. Beverages with sucrose replacement of 50, 75 and 100% were formulated and enrichment percentages over (recommended daily values) of iron of 5, 10 and 15% using a 9-point response surface design with repetition of central point for a total of 10 experiments. The results indicated that density, soluble solids, titratable acidity, color, viscosity and pH do not show statistically significant difference between treatments, but there are considerable changes of these in front of the control, being one of the most important the change in color parameters  $a^*$  and  $b^*$  (CIELab) toward the green and yellow, a change attributed to the formation of colored complexes between cocoa and iron bisglycinate. The sensorial analysis detected differences on the flavor of the treatments in the parameter "general quality" of flavor. The treatment with 50% hydrolyzed and 5% Iron (T50-5), the closest to the characteristics of the control, presenting a similar behavior to the control during the 17 days of monitoring. Also, a multidimensional sensory analysis showed that the differences between the taste descriptors of the control treatment and the T50-5 are not significant and both have a similar "general quality".

**Key words:** flavored milk, sweetener, lactose hydrolyzed, sensorial evaluation.

## 2.3 Introducción

Dentro de los principales desarrollos para el aprovechamiento del suero se encuentran los procesos de concentración de los elementos nutricionales, como la lactosa y la proteína mediante técnicas tales como la separación por membranas.

La lactosa, como uno de los principales componentes del lactosuero, puede ser aprovechada mediante procesos de concentración y posteriormente sometida a hidrólisis con el fin de darle mayor valor agregado. La lactosa hidrolizada en sus dos monosacáridos; glucosa y galactosa, además de poseer mayor poder edulcorante, es

---

apta para el consumo por parte de personas intolerantes a la lactosa (Ganzle et al., 2008).

La anemia es uno de los problemas más prevalentes de los seres humanos. Estudios sugieren que entre un 50% y 80% puede poseer anemia, y de estos de un 10% a 20% poseen anemia moderada a severa, encontrándose en alto riesgo mujeres y niños, siendo la principal causa la insuficiencia en los niveles de hierro en el organismo. La población infantil que no tienen una ingesta adecuada de hierro y/o zinc durante su desarrollo están sujetos a problemas relacionados con un desarrollo intelectual y psicomotor y retardo en su crecimiento (Kassebaum et al., 2014).

El desarrollo de leches saborizadas se ha enfocado en la búsqueda de sabores disponibles con nuevas materias primas (Bajracharya et al., 2012; Caldeira et al., 2010; Keshtkaran et al., 2013), así como la implementación o aprovechamiento de subproductos de la leche como el suero lácteo.

El estudio realizado por Oliveira et al., (2016), en busca de los niveles de reducción de azúcar máximos aceptados por los consumidores, concluyó que en el caso de leches chocolatadas, es posible la reducción de hasta 6,7% sin afectar la percepción del consumidor. Sin embargo, un estudio de aceptación y preferencia de leches chocolatadas realizado con escolares en Canadá (Henry et al., 2016), muestra que al reducir en 1% el dulzor de la bebida, los niños disminuyen su consumo, lo que se explica por la mayor sensibilidad y disminución de los umbrales de percepción de esta población, lo que imposibilitaría la reducción del contenido de azúcar en alimentos para niños en detrimento del dulzor del mismo.

Se han realizado numerosos estudios en los que se ha buscado sustituir los endulzantes comúnmente usados por otros que generen menor aporte calórico pero que conserven las características organolépticas. Bajwa & Mittal (2015) estudiaron el reemplazo de una parte de la sacarosa empleada para endulzar bebidas lácteas por sucralosa (72,6 ppm), la cual disminuyó la consistencia y la sensación en la boca, que fue sin embargo subsanada por la adición de pulpa de mango.

Estudios realizados sobre bebidas adicionadas con suplementos de hierro en forma de sales, han mostrado en general problemas en la aceptación del color y el sabor,

limitando así los niveles de su implementación (Bejarano-roncancio, Patricia, & Rangel, 2011; Hekmat & McMahon, 1997; Lecle, 2002; Morales et al., 2015; Walker et al., 2005).

Oliveira et al., (2015), estudió la viabilidad de disminución de azúcar en leches saborizadas de chocolate con la adición de potencializadores del dulzor como la vainilla y la Taumatín, encontrando que los consumidores no detectan reducciones en 40% del nivel de azúcar con la adición de sabor vainilla.

Un estudio del contenido de minerales de bebidas saborizadas de chocolate en Brasil realizado por Pedro, De Oliveira, & Cadore (2006), muestra que los niveles de hierro de 13 diferentes marcas comerciales varían entre 4,43 y 9,30mg/100g de la bebida, lo que equivaldría aproximadamente a un 24 – 51% de los VDR en Colombia. Teniendo presente lo anterior, este estudio se enfocó en evaluar el efecto del reemplazo de sacarosa por un concentrado de lactosa hidrolizada y enriquecida con bisglicinato de hierro en una bebida láctea chocolatada determinando sus propiedades de calidad fisicoquímicas y sensorial del producto.

## **2.4 Materiales y métodos**

### **2.4.1 Formulación y preparación de los tratamientos**

Las bebidas lácteas fueron elaboradas con leche semidescremada (1,5% de grasa). El sirope de lactosa hidrolizada empleado como edulcorante fue producido en el Laboratorio de Productos Lácteos de la Universidad Nacional de Colombia-Sede Medellín. Las características del sirope Glucosa-Galactosa se muestran en la Tabla 3-1. Como fuente de hierro se utilizó hierro aminoquelado (Bisglicinato de hierro) en presentación comercial Ferramin (TECNAS S.A.). Este producto reporta una concentración de hierro de mínimo 13% m/m y un pH en solución (al 10% p/v) variando de 2,0 y 4,0. Adicionalmente, se empleó cocoa alcalina en polvo como saborizante y carragenina de TECNAS S.A. como estabilizante. Las bebidas se estandarizaron en un nivel de dulzura del 7% (sacarosa).

Los límites de sustitución de hidrolizado y de suplementación con hierro se establecieron mediante pre-ensayos donde se consideró las siguientes condiciones: niveles mínimos de inclusión para el desarrollo de un nuevo producto, los máximos aceptados sensorialmente y los empleados comercialmente, estableciendo así los

porcentajes de reemplazo de azúcar por hidrolizado (%H) en 50% - 75% - 100% y los valores de aporte de hierro por porción de 200gr en 5% -10% - 15% de los VDR.

**Tabla 3-1. Caracterización fisicoquímica del sirope de lactosa hidrolizada**

<i>Propiedad</i>	<i>Valor</i>
<i>Acidez titulable</i>	1,25 ± 0,088 %
<i>pH</i>	4,85 ± 0,073
<i>Sólidos solubles</i>	72,51 ± 1,85 °Brix
<i>Poder edulcorante (% sacarosa)</i>	50%

Las bebidas se elaboraron en baches de 10 kg. Se calentó la leche a 35°C ± 2°C y se adicionaron la cocoa (1%), azúcar, hidrolizado y estabilizante (0,11%), posteriormente se incrementó la temperatura hasta 45° y se homogenizó a 138 Bar (2000psi). Por último se realizó un proceso de pasteurización a 70°C por 30 min con enfriamiento hasta 5°C.

#### **2.4.2 Determinación de la bebida con mejor calidad general del sabor**

Se realizó una prueba de ordenamiento de todos los tratamientos para el parámetro “Calidad general” de sabor por parte de siete jueces entrenados del Laboratorio de Análisis Sensorial de la Universidad de Antioquia con el fin de seleccionar el tratamiento con la mayor similitud al patrón (leche saborizada elaborada bajo las mismas condiciones sin reemplazo de azúcar ni adición de hierro). Los procedimientos se realizaron según NTC 3501 (ICONTEC, 2004b), NTC 3930 (ICONTEC, 2015) y la Guía Técnica Colombia 165 (ICONTEC, 2011).

### **2.4.3 Evaluación de las características físico-química de las bebidas.**

Se evaluó el efecto de los factores en los tratamientos y en un blanco (bebida sin inclusión de hidrolizado ni hierro). El color se determinó por coordenadas de color en el espacio CIELAB: L\*(luminosidad) y a\*, b\* (cromaticidad),  $5 \pm 2^{\circ}\text{C}$ , utilizando un colorímetro Minolta CR-400 (Konica, España). Las condiciones de operación fueron: observador  $2^{\circ}$ , Iluminante D65; el pH se midió a  $25^{\circ}\text{C}$  utilizando un pHmetro marca OHAUS ST3100-F, calibrado a pH 4,0 y 7,0 según NTC 1419. La acidez titulable fue evaluada por medio del método volumétrico 947,05 de la AOAC (1990), con NaOH 0,1N utilizando fenolftaleína con pH de viraje de 8,2 como indicador y expresada como porcentaje de ácido láctico. En la determinación de la viscosidad se utilizó un viscosímetro Brookfield modelo RVDV-III U (Brookfield Engineering Lab, Middleboro, USA) a temperatura de  $5 \pm 2^{\circ}\text{C}$ , utilizando un husillo cilíndrico ULA a una velocidad de giro progresiva de 16 rpm hasta 250 rpm. En este caso, las curvas de flujo fueron obtenidas tomando dos ciclos de ascenso y descenso, donde el segundo ciclo en su curva de ascenso fue usado para determinar la viscosidad. Los sólidos solubles fueron medidos mediante refractómetro marca Hanna Modelo HI 96801. Las mediciones fueron realizadas a una temperatura aproximada de  $5^{\circ}\text{C}$  según método 932.12 de la AOAC (1990). La densidad se determinó mediante picnómetro calibrado según NTC 707. Cada uno de los análisis se realizó por triplicado.

### **2.4.4 Estabilidad de la bebida**

Se estudió la estabilidad fisicoquímica de la bebida con mayor "calidad general" en sabor con el fin de determinar el cambio de sus propiedades en el tiempo y en relación con un patrón. Se evaluó la variación del color, sólidos solubles, pH, acidez titulable, densidad y viscosidad con las metodologías descritas anteriormente por triplicado. Las mediciones se realizaron los días 0, 3, 7, 10, 14 y 17 para el tratamiento control (Testigo) y el T50-5 durante 17 días en muestras de la bebida mantenida en refrigeración a  $4^{\circ}\text{C}$ .

Se analizó la cinética de la sedimentación y separación de fases. 100 ml de cada muestra fueron dejadas en reposo en una probeta y se midió cada 30 min la proporción sobrenadante/sedimento hasta llegar a valores de variación inferiores a 0,1ml en el



volumen de cada fase. La cinética se obtuvo al graficar la altura del sobrenadante vs el tiempo. Se realizaron 3 réplicas del análisis.

La estabilidad del complejo de hierro quelado fue medida indirectamente mediante análisis de Espectrometría de Absorción Atómica, siguiendo el método AOAC 999.11 con calcinación a 450°C y límite mínimo de detección de 5mg/kg de muestra (AOAC INTERNATIONAL, 2002). Este análisis se realizó los días 1 y 15 de almacenamiento, para determinar la presencia de hierro libre producto de la degradación del complejo Hierro-Bisglicinato en las bebidas.

### **2.4.5 Perfil sensorial de la bebida por aproximación multidimensional**

Se identificaron y seleccionaron el conjunto de descriptores relevantes que dan la máxima información sobre los atributos sensoriales de la bebida a analizar y del testigo con el propósito de establecer un perfil sensorial, valorando las intensidades con jueces entrenados en una escala de calificación de 0 a 5 para todos los descriptores, comparando los valores obtenidos para el testigo y el tratamiento. Excepto para la calidad general donde se utiliza escala de 1 a 3 donde 3 es alto y 1 bajo. Este estudio se realizó con base en Normas Técnicas Colombianas 3501, 3932 y Guías Técnicas Colombianas 165 y 226. El análisis se realizó por duplicado.

### **2.4.6 Diseño experimental**

Para evaluar el efecto de los factores (hidrolizado y hierro) en sus diferentes niveles, sobre las variables de respuesta fisicoquímicas, se empleó un diseño de superficie de respuesta central compuesto con nueve (9) puntos y una (1) repetición del punto central, para un total de 10 experimentos con 4 grados de libertad para el error. Este modelo se analizó mediante ANAVA para dos factores a un nivel de significancia del 5%. Estos mismos tratamientos fueron empleados para determinar el mejor tratamiento en términos de “calidad general” del sabor, pero analizados mediante prueba de Friedman para rangos múltiples, con la cual se determinaron las diferencias significativas entre las puntuaciones dadas por los jueces a cada tratamiento. La comparación entre las variables fisicoquímicas del testigo y del conjunto de los tratamientos se realizó mediante prueba T con significancia del 5%. La diferencia entre puntuaciones del análisis sensorial por aproximación multidimensional se realizó mediante prueba U de

Mann Whitney con significancia del 5%. El análisis de resultados se realizó con el software Statgraphic centurion XVI.I.

## **2.5 Resultados y discusión**

### **2.5.1 Determinación de la bebida con mejor calidad general de sabor**

Del análisis de ordenamiento se obtuvo la bebida con mayor similitud al tratamiento control en el descriptor “Calidad General de sabor”, el tratamiento 50% de reemplazo por hidrolizado y 5% de VDR de Fe (T50-5). Cabe notar que este tratamiento es el que posee menores niveles de los dos factores en estudio. Los resultados de esta prueba evidencian que existen efectos negativos de los dos factores sobre la calidad de la bebida. De acuerdo a estos resultados, la bebida seleccionada está por debajo de los valores mínimos establecidos por la norma (10% - 19%) para reportarle como “buena fuente de hierro”, por lo cual, no entra dentro de la clasificación de alimentos enriquecidos (Ministerio de la Protección Social, 2011b). Este resultado contrasta con los resultados obtenidos por Bejarano-Roncancio et al., (2011) en la formulación de una bebida sabor arequipe en la que el panel sensorial otorgó una aceptación del 80% a una bebida con 10% de los VDR de hierro con la adición de hierro bisglicinato, lo que permite deducir que el sabor de las bebidas elaboradas en el presente estudio son afectadas por los demás ingredientes empleados.

### **2.5.2 Evaluación de las características físico-química de las bebidas**

La mediana de las mediciones de sólidos solubles, acidez titulable, pH, viscosidad y densidad se presentan en la Tabla 3-2, así como las lecturas de los parámetros de color  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b$ . El análisis de los efectos de los factores para cada una de las variables respuesta, permite concluir que ninguno de los niveles del hidrolizado o del hierro genera efectos estadísticamente significativos ( $p > 0,05$ ) sobre las variables dependientes: sólidos solubles, acidez titulable, pH, densidad y viscosidad (comportamiento de flujo Newtoniano). Es decir, en general todos están dentro de los mismos rangos para cada una de las variables.

**Tabla 3-2. Medias de los resultados de análisis físico-químicos**

Tratamiento	Factores		Sólidos solubles (%)	Acidez Titulable (%al)	pH	Viscosidad (mPa-s)	Densidad (g/ml)	Color		
	%H	%Fe						L	a*	b*
Blanco	0	0	18,4±0,3	0,14±0,01	6,65±0,01	15,5±0,1	1,062±0,0	39,01±0,82	7,76±0,11	8,43±0,13
T50-5	50	5	18,1±0,2	0,19±0,00	6,46±0,03	12,0±0,3	1,058±0,0	41,28±0,80	4,92±0,11	6,97±0,12
T100-5	100	2	19,4±0,1	0,26±0,00	6,29±0,01	10,7±1,7	1,070±0,0	32,54±1,38	5,82±0,22	7,68±0,37
T50-10	50	10	21,5±0,1	0,25±0,00	6,33±0,01	15,4±1,1	1,077±0,0	32,50±0,81	4,68±0,15	5,67±0,26
T100-10	100	10	19,6±0,3	0,27±0,00	6,26±0,01	13,3±0,1	1,071±0,0	32,51±0,64	5,00±0,13	7,04±0,22
T75-15	75	15	19,4±0,1	0,23±0,01	6,30±0,02	11,6±0,8	1,069±0,001	31,59±0,45	4,13±0,07	5,45±0,12
T75-10	75	10	19,2±0,2	0,22±0,01	6,37±0,03	11,5±0,2	1,067±0,0	31,68±0,34	4,60±0,12	6,07±0,25
T100-15	100	15	21,5±0,1	0,30±0,00	6,19±0,02	13,8±0,4	1,078±0,0	31,08±1,12	4,23±0,13	5,72±0,20
T50-15	50	15	19,3±0,2	0,23±0,00	6,31±0,01	12,8±0,1	1,064±0,0	33,70±0,59	4,06±0,04	5,19±0,19
T75-5	75	5	23,3±0,1	0,30±0,01	6,15±0,01	16,4±0,3	1,084±0,0	32,02±1,53	5,73±0,25	7,32±0,37
T75-10	75	10	21,5±0,2	0,30±0,00	6,17±0,01	16,2±0,0	1,077±0,0	34,04±0,56	5,10±0,11	6,59±0,23

Un estudio realizado por Yanes, Durán, & Costell (2002), caracterizó las propiedades fisicoquímicas de nueve bebidas de leche chocolatada comerciales de diferentes marcas en el mercado español, todas ellas con formulaciones particulares en las que pueden variar sus componentes. Estos estudios reportan valores de sólidos solubles que varían de 16,25 a 18,40°Brix, de pH entre 6,71 y 7,35 y viscosidad entre 6,67 y 32,13 mPa-s (comportamiento de flujo Newtoniano). Al compararlas con las bebidas elaboradas en el presente estudio (con inclusión de hidrolizado y adición de hierro), estas últimas presentan valores más elevados de sólidos (18,1 y 23,3°Brix), menores de pH (6,17 a 6,49) y valores de viscosidad (11,5 y 16,4 mPa-s) que el de las bebidas comerciales chocolatadas estudiadas por estos autores. El aumento de sólidos en las bebidas se debe al alto valor aportado por el hidrolizado (72,51 °Brix), que se adiciona al doble de la proporción de azúcar debido a que su poder edulcorante es tan sólo el 50% de esta. La disminución en los valores de pH de las bebidas adicionadas y suplementadas es producto del efecto de los dos factores hidrolizado y hierro, cuyos valores de pH (4,85 y 3 respectivamente) son considerablemente menores a los valores de la bebida sin adiciones. La viscosidad, no es alterada considerablemente por ninguno de ellos.

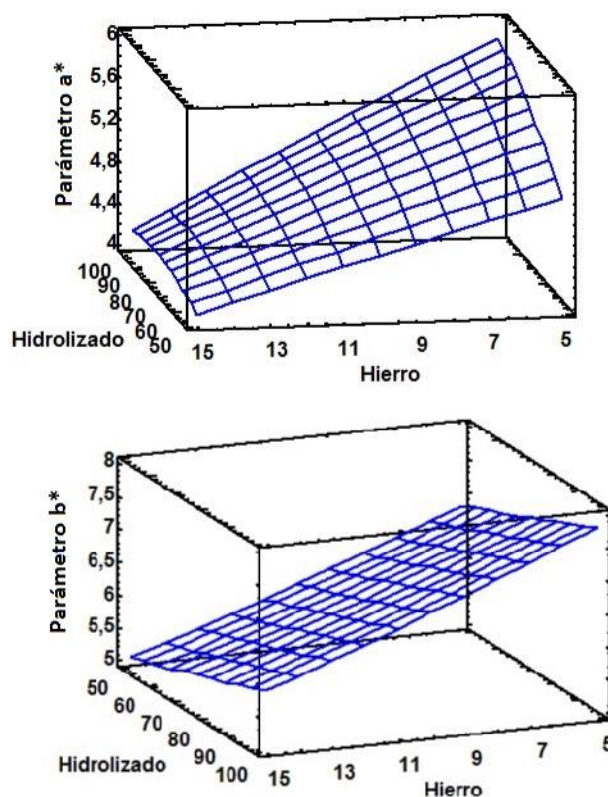
En cuanto al color, el análisis estadístico indicó que no hay efectos significativos para la variable luminosidad (L) ( $p > 0,05$ ) al variar los porcentajes de hidrolizado y de hierro. Sin embargo, en la gama de rojo a verde, representada por el parámetro  $a^*$ , existen cambios significativos debidos al hierro ( $p < 0,05$ ). En la gama del amarillo a los azules, parámetro  $b^*$ , existen efectos significativos debidos tanto al hierro como al hidrolizado ( $p < 0,05$ ), siendo principal el efecto de la adición de hierro, que genera complejos coloreados con las proteínas de la leche. Para el parámetro  $a^*$  hubo una fuerte caída en la magnitud (5,6 a 4,2) al aumentar los valores de adición de hierro, es decir, al aumentar la concentración de hierro se desplaza el color de los rojos a los verdes. La variación en el parámetro  $b^*$ , indica que hay desplazamiento desde los colores azules hacia los amarillos al aumentar la adición de hidrolizado (5,9 a 6,8) y al disminuir la concentración de hierro (5,4 a 7,3).

Estos resultados concuerdan con evaluaciones hechas sobre leches chocolatadas adicionadas con diferentes compuestos de hierro por Douglas et al., (1980) en el que no hubo cambios significativos en el color de las bebidas debido a la adición de Pirofosfato de hierro sódico, ferripolifosfato ni fumarato ferroso, pero si con compuestos

de hierro complejados con proteínas de suero (Ferripolifosfato) respecto de un patrón sin adición de compuestos de hierro, disminuyendo el color rojo y el amarillo como en el presente estudio.

Un análisis de superficie de respuesta para los parámetros  $a^*$  y  $b^*$ , muestra el comportamiento de las bebidas al variar los factores hierro e hidrolizado. La Figura 3-1 muestra que dentro del área estudiada no se alcanzan en ninguna de las posibles combinaciones los valores del testigo para valores de  $a^*(7,76)$  y  $b^*(8,43)$ , siendo así el hierro el que determina en mayor medida el acercamiento al color del testigo.

**Figura 3-1. Superficies de respuesta para las variables de color  $a^*$  y  $b^*$**



Igualmente, Yanes, Durán, & Costell (2002) presentan los parámetros de color de las nueve bebidas chocolatadas: L (31,76 a 53,55),  $a^*$  (9,71 a 14,28) y  $b^*$  (14,08 a 20,70). La comparación con los resultados de su investigación muestran que la coordenada L de las bebidas elaboradas en el presente estudio (31,08 a 41,28) se encuentra en el

rango reportado por estos estudios. Sin embargo, los valores de  $a^*$  (4,06 a 7,76) y  $b^*$  (5,19 a 8,43), están por debajo del límite inferior de los valores reportados, incluso para el testigo. Esta diferencia puede atribuirse al uso de colorantes y variedades de cocoa que afectan el color, aunque también afecta, como lo muestra la tendencia de los resultados, la adición de hidrolizado y hierro principalmente.

La comparación de todos los tratamientos contra el testigo (bebida chocolatada sin reemplazo de sacarosa ni adición de hierro), permite evaluar el efecto general de los tratamientos en los niveles de inclusión de hidrolizado (50 a 100%) y de suplementación de hierro (5 – 15%) sobre las variables de respuesta en relación al testigo. De este análisis puede concluirse con una confianza del 95% que todas las variables fisicoquímicas evaluadas cambian significativamente frente al testigo, es decir, los tratamientos generan efectos significativos en las variables fisicoquímicas en cualquiera de los valores de inclusión evaluados, aumentando los sólidos solubles de 18,4 a 20,28%, acidez titulable de 0,14 a 0,26%, densidad de 1,062 a 1,0715 g/ml y disminuyendo el pH de 6,65 a 6,28 y viscosidad de 15,5 a 13,30 mPa-s.

Debido al reemplazo de azúcar por hidrolizado (72-75 °Brix), es necesario adicionar el doble de la cantidad de azúcar para alcanzar el nivel de dulzura establecido (7%), lo que cambia la concentración de sólidos solubles de 18,4 °Bx (testigo) a 20,28 °Bx. El aumento en esta propiedad, que en el hidrolizado se debe a la presencia de minerales y oligosacáridos no determinados, genera también aumento en la densidad de las bebidas, pasando de 1,062 g/ml (testigo) a 1,0715 g/ml (media de los 10 tratamientos).

Ningún valor de adición de hierro ni de hidrolizado en el rango de trabajo generó cambios significativos sobre la acidez titulable lo que implica que para los niveles de 50 a 100% de inclusión del hidrolizado la variación que se genera en la acidez titulable es básicamente la misma, aumentando de 0,14 (testigo) a 0,26% de ácido láctico (T50-5).

Esta variación en la acidez tiene su efecto igualmente sobre el pH de la bebida, al pasar de 6,65 a 6,28, lo que implica que los valores obtenidos están muy por debajo de lo establecido en la norma para bebidas saborizadas (ICONTEC, 2004a) con valores normales de pH entre 6,5 y 6,85. Esta disminución en el pH está relacionada por un lado con el Bisglicinato, cuyo valor reportado está entre 2-4 en soluciones al 10% p/v y que concuerda con los resultados de estudios reportados por Gaucheron (2000) para

diferentes compuestos de hierro, explicados por el intercambio de los iones de hierro a las uniones miscelares H<sup>+</sup>. Adicionalmente, el bajo valor de pH del Hidrolizado (4,85) también contribuye en gran medida a la acidificación de la bebida.

La variación en la media de la viscosidad del conjunto de los tratamientos (13,0 mPa-s) frente al testigo (15,5 mPa-s) concuerda con estudios realizados por (Bajwa & Mittal, 2015) en donde muestra que la disminución de sacarosa contribuye a la disminución de la viscosidad de la bebida evaluada y de comportamiento de flujo Newtoniano.

### 2.5.3 Estabilidad físico-química de la bebida

Los resultados de estabilidad se muestran en la Tabla 3-3. La acidez titulable de la bebida T50-5 mostró un comportamiento similar al testigo durante el periodo de almacenamiento, presentando diferencias significativas respecto a los valores iniciales a partir del día 7 de evaluación. Sin embargo, el mayor cambio se dio entre los días 14 y 17, pasando de un promedio de 0,23 a 0,26% al.

**Tabla 3-3: medias de los resultados de estabilidad fisicoquímica del tratamiento T50-5 y testigo**

Tiempo (días)	Acidez titulable (%al)		Sólidos solubles (°Brix)		Densidad (g/ml)		Viscosidad (mPa-s)	
	T50-5	Testigo	T50-5	Testigo	T50-5	Testigo	T50-5	Testigo
0	0,210 <sup>a</sup>	0,13 <sup>a</sup>	19,6 <sub>a</sub>	18,2 <sup>a</sup>	1,0661 <sup>a</sup>	1,0583 <sup>a</sup>	12,4 <sup>a</sup>	13,73 <sup>a</sup>
3	0,210 <sup>a</sup>	0,13 <sup>a</sup>	19,6 <sub>a</sub>	18,3 <sup>a</sup>	1,0665 <sup>a</sup> <sub>b</sub>	1,0597 <sup>b</sup>	12,8 <sup>b</sup>	14,13 <sup>b</sup>
7	0,220 <sup>b</sup>	0,14 <sup>b</sup>	19,6 <sub>a</sub>	18,3 <sup>a</sup>	1,0669 <sup>a</sup> <sub>b</sub>	1,0613 <sup>b</sup>	12,9 <sup>b</sup>	13,93 <sup>ab</sup>
10	0,227 <sup>bc</sup>	0,14 <sup>bc</sup>	19,7 <sub>a</sub>	18,3 <sup>a</sup>	1,0671 <sup>b</sup>	1,0623 <sup>c</sup>	13,4 <sup>c</sup>	13,80 <sup>ab</sup>
14	0,230 <sup>c</sup>	0,15 <sup>c</sup>	19,9 <sub>a</sub>	18,3 <sup>a</sup>	1,0668 <sup>a</sup> <sub>b</sub>	1,0613 <sup>b</sup>	13,3 <sup>c</sup>	14,03 <sup>ab</sup>
17	0,260 <sup>d</sup>	0,16 <sup>d</sup>	21,5 <sub>b</sub>	18,3 <sup>a</sup>	1,0671 <sup>b</sup>	1,0610 <sup>b</sup>	13,8 <sup>d</sup>	14,00 <sup>ab</sup>

Un efecto significativo se detectó sobre los sólidos solubles de la bebida T50-5, entre el día 14 y el 17. Los sólidos solubles del testigo no presentaron variaciones significativas en el tiempo. Esta variación puede explicarse según Yang & Silva (1994) por la

degradación o división de los Galactooligosacaridos producidos durante el proceso de hidrólisis de la lactosa, los cuales son susceptibles a cambios en la acidez. En cuanto a la viscosidad, esta cambió significativamente con aumento progresivo en el tiempo en el caso del tratamiento T50-5, pero sin cambios significativos en el testigo, este cambio también puede estar relacionado con la degradación de los Galactooligosacáridos, aunque en mayor medida, producto de la coagulación de las proteínas de la leche por la acidez. La densidad, no mostró un patrón de cambio en el tiempo de almacenamiento.

Ni el testigo ni el tratamiento T50-5 presentaron cambios significativos en el tiempo en los parámetros de color, lo que muestra alta estabilidad del bisglicinato y del hidrolizado en este aspecto.

La estabilidad en el color de la bebida contrasta con los resultados obtenidos por Douglas et al., (1980) para leches chocolatadas adicionadas con diferentes sales de hierro (10-20 mg/0,95l de leche) y complejos de proteína de suero con hierro, en los que hay cambios significativos en los valores de  $b^*$  principalmente, tendiendo hacia el incremento en las tonalidades amarillas.

El análisis de espectrometría de absorción atómica los días 1 y 15 corroboró que las formulaciones no afectan la estabilidad del complejo quelado, al no encontrarse hierro libre en la bebida, lo que asegura su biodisponibilidad y protección contra reacciones de oxidación de grasas y rancidez catalizadas por el hierro libre.

En cuanto a la estabilidad física de las partículas, la formulación T50-5 presentó sedimentación visible, generándose dos fases en proporción sobrenadante-sedimento de 30-70 al cabo de 33h, luego de las cuales no hubo cambios apreciables. Este comportamiento puede ser explicado por el descenso en el pH de la bebida T50-5 frente al testigo, que se aleja de los valores óptimos de trabajo de las carrageninas. (Neutros-alcalinos) (Alarcón, 2003).

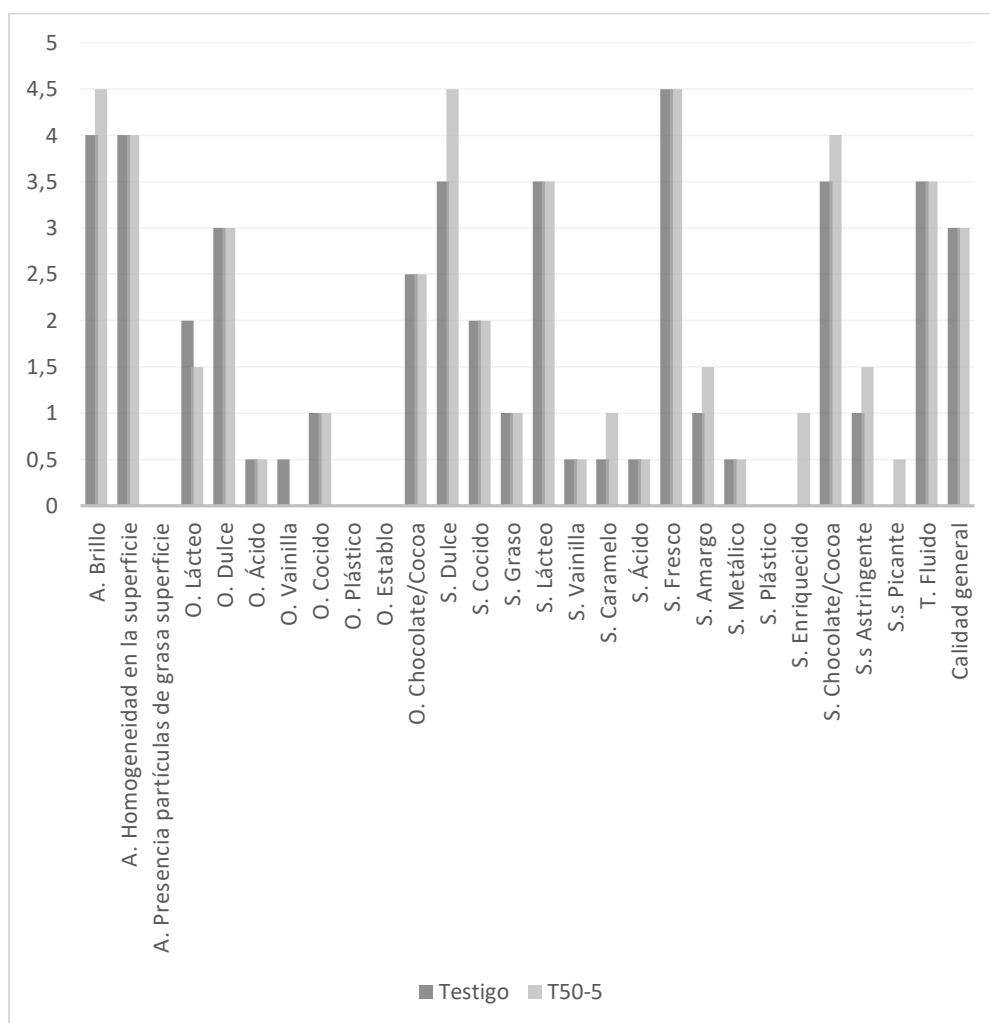
#### **2.5.4 Perfil sensorial de la bebida por aproximación multidimensional**

Las puntuaciones individuales de los jueces para cada atributo fueron analizadas y se encontró que existen diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en el atributo brillo, olor a



chocolate/cocoa, lácteo y vainilla, en el sabor a chocolate/cocoa, enriquecido, amargo, caramelo, dulce y en las sensaciones somatosensoriales astringente y picante. En la Figura 3-2 se ilustran los resultados de este análisis. Adicionalmente, al comparar el color de las muestras con la gama PANTONE®, (1995), la tonalidad para el T50-5 y para el control fueron respectivamente 17-1321 TPX y 16-1318 TPX, lo que indica que el color es afectado y detectado por el panel.

**Figura 3-2. Perfil multidimensional de la bebida T50-5 y el testigo**



Convenciones: A. (Apariencia), O. (Olor), S. (Sabor) S.s. (Sensación somato sensorial) T. (Textura)

Un estudio sobre aceptación sensorial de bebidas de suplementos de hierro, muestran como el factor limitante que tuvo mayor rechazo de la población evaluadora fue el color,

producto del efecto de las sales de hierro empleadas (Morales et al., 2015), si bien se conservaron los demás atributos. Estos resultados son coherentes con los obtenidos en la presente investigación.

Hekmat & McMahon (1997) investigaron la adición de hierro quelado con proteínas en yogur; los resultados mostraron que no hubo efectos significativos sobre el sabor de la bebida con adiciones de 10, 20 y 40 mg/kg de hierro, más que un ligero sabor “oxidado” en el rango de “no perceptible” a “muy ligeramente perceptible”. Cuando un yogourt fortificado y uno no fortificado fueron evaluados por un panel entrenado ambos fueron igualmente apreciados

En el estudio realizado por Morales et al., (2015) sobre bebidas adicionadas con sales de hierro, muestra cómo la adición de sulfato ferroso y hierro reducido tuvo bajos niveles de aceptación en el sabor sin mostrar disgusto. Sin embargo, el color fue un atributo limitante en la aceptación de las bebidas.

## Capítulo 4 Conclusiones y recomendaciones

### 3.1 Conclusiones

De acuerdo a los resultados obtenidos en el presente estudio la incorporación de un concentrado de lactosa hidrolizada enzimáticamente como sustituyente parcial de la sacarosa es viable hasta en un 50% sin cambios significativos en las características de sabor de bebidas chocolatadas enriquecidas con hierro aminoquelado como bisglicinato de hierro (5% de VDR).

Las características fisicoquímicas como viscosidad, densidad, sólidos solubles, acidez titulable, pH y color de una bebida chocolatada con inclusión de hidrolizado (50% de reemplazo) y Hierro aminoquelado como bisglicinato de hierro (5% VDR), fueron alteradas en relación a las de una bebida testigo. Sin embargo, estas diferencias no afectan la “calidad general” determinada por un panel de jueces entrenados, con excepción del color, el cual presentó alteraciones disminuyendo los tonos rojos y amarillos, defecto generado por la presencia del bisglicinato.

La incorporación del concentrado de lactosa hidrolizada, es viable como sustituyente de la sacarosa y puede ser empleado en bebidas lácteas chocolatadas.

El hierro bisglicinato, a pesar de que no genera cambios significativos en el sabor de la bebida, sí ocasiona defectos de color que limitan su uso como fortificante en bebidas lácteas chocolatadas.

La estabilidad de las partículas de la bebida adicionada con hidrolizado cambia considerablemente frente a una bebida no tratada debido a la disminución de pH que ocasiona pérdida de efectividad del estabilizante (carragenina)

## **3.2 Recomendaciones**

Para el desarrollo de una bebida láctea con inclusión de hidrolizado de lactosa, es necesario implementar aditivos que permitan la regulación de las propiedades fisicoquímicas alteradas, tales como la acidez y el pH.

Es necesario estudiar la estabilidad sensorial de la bebida, con el fin de determinar cómo afectan el hidrolizado y el hierro el sabor de la misma durante el almacenamiento.

## Bibliografía General

- Alarcón, Y. (2003). *Evaluación del uso de carragenina en bebidas lácteas fermentadas*. Universidad Austral de Chile. Retrieved from <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2003/faa321e/pdf/faa321e.pdf>
- AOAC INTERNATIONAL. (2002). AOAC Official Method 999.11, Determination of Lead, Cadmium, Copper, Iron, and Zinc in Foods.
- Arango, O., & Sanches, L. (2009). Tratamiento de aguas residuales de la industria láctea en sistemas anaerobios tipo UASB. *Facultad de Ciencias Agrarias*, 7(2).
- Bajracharya, P., Islam, M. A., Jiang, T., Kang, S.-K., Choi, Y.-J., & Cho, C.-S. (2012). 29 Into Alginate/Chitosan/Alginate Microcapsules on Viability and Cytokine Induction. *Journal of Microencapsulation*, 29(5), 429–436. <http://doi.org/10.3109/02652048.2012.655332>
- Bajwa, U., & Mittal, S. (2015). Quality characteristics of no added sugar ready to drink milk supplemented with mango pulp. *Journal of Food Science and Technology*, 52(4), 2112–2120. <http://doi.org/10.1007/s13197-013-1184-7>
- Bejarano-roncancio, J. J., Patricia, O., & Rangel, C. De. (2011). Formulación de una bebida láctea con sabor a arequipe enriquecida con hierro y ácido fólico, dirigida a mujeres gestantes. *Revista Fac Med*, 59(1), 21–29.
- Bisig, W. (2011). Liquid milk products: Flavored milks, (E 440), 301–306.
- Boccio, J., & Monteiro, J. B. (2004). Fortificación de alimentos con hierro y zinc

- pros y contras desde un punto de vista alimenticio y nutricional. *Revista de Nutricao*, 17(1), 71–78. <http://doi.org/10.1590/S1415-52732004000100008>
- Caldeira, L. A., Ferrão, S. P. B., Fernandes, S. A. D. A., Magnavita, A. P. A., & Santos, T. D. R. (2010). Desenvolvimento de bebida láctea sabor morango utilizando diferentes níveis de iogurte e soro lácteo obtidos com leite de búfala. *Ciência Rural*, 40(10), 2193–2198. <http://doi.org/10.1590/S0103-84782010005000176>
- Carvalho, F., Prazeres, A. R., & Rivas, J. (2013). Cheese whey wastewater: characterization and treatment. *The Science of the Total Environment*, 445–446, 385–96. <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.12.038>
- Codex Alimentarius, C., & FAO/OMS. (2011). *Leche y Productos Lácteos. Instituto nacional de defensa del consumidor y de la ...*. Retrieved from <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Norma+técnica+peruana#0>
- Douglas, F., Rainey, N. H., Wong, N. P., Edmondson, L. F., & LaCroix, D. E. (1980). Color, Flavor, and Iron Bioavailability in Iron-Fortified Chocolate Milk. *Journal of Dairy Science*, 64(9), 1785–1793. [http://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(81\)82767-1](http://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(81)82767-1)
- Fayet-Moore, F. (2014). Flavoured milk consumption among children – What is the evidence? *Journal of Nutrition & Intermediary Metabolism*, 1(2014), 40. <http://doi.org/10.1016/j.jnim.2014.10.146>
- Ganzle, M. G., Haase, G., & Jelen, P. (2008). Lactose: Crystallization, hydrolysis and value-added derivatives. *International Dairy Journal*, 18(7), 685–694. <http://doi.org/10.1016/j.idairyj.2008.03.003>
- Gaucheron, F. (2000). Iron fortification in dairy industry. *Food Science and Technology*, 11(2000), 403–409.
- Goddard, E., & Probst, Y. (2014). Micronutrient intake density may be reduced in

---

children with high sugar intakes: a systematic literature review. *Journal of Nutrition & Intermediary Metabolism*, 1–55.

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

Hekmat, S., & McMahon, D. J. (1997). Manufacture and Quality of Iron-Fortified Yogurt. *Journal of Dairy Science*, 80(12), 3114–3122. [http://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(97\)76282-9](http://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(97)76282-9)

Henry, C., Whiting, S. J., Finch, S. L., Zello, G. A., & Vatanparast, H. (2016). Impact of replacing regular chocolate milk with the reduced-sugar option on milk consumption in elementary schools in Saskatoon, Canada. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism = Physiologie Appliquee, Nutrition et Metabolisme*, 41(5), 511–515. <http://doi.org/10.1139/apnm-2015-0501>

Hobman, P. G. (1983). Review of Processes and Products for Utilization of Lactose in Deproteinated Milk Serum. *Journal of Dairy Science*, 67(11), 2630–2653. [http://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(84\)81624-0](http://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(84)81624-0)

Holsinguer, V. H. (1988). Lactose. In N. P. Wong (Ed.), *Fundamentals of dairy chemistry* (3rd ed., pp. 279–342). Van Nostrand Reinhold.

ICONTEC. (2004a). Norma Técnica Colombiana, NTC 1419. PRODUCTOS LÁTEOS. LECHE LIQUÍDA SABORIZADA.

ICONTEC. (2004b). NTC 3501. Análisis sensorial. Vocabulario. Retrieved from <http://tienda.icontec.org/brief/NTC3501.pdf>

ICONTEC. GTG 165. Análisis sensorial: Metodología. Guía General (2011).

ICONTEC. NTC 3930. Metodología. Ordenamiento de acuerdo con un criterio específico (ranking). (2015).

- Kassebaum, N. J., Jasrasaria, R., Naghavi, M., Wulf, S. K., Johns, N., Lozano, R., ... Murray, C. J. L. (2014). A systematic analysis of global anemia burden from 1990 to 2010. *Blood*, *123*(5), 615–624. <http://doi.org/10.1182/blood-2013-06-508325>
- Keshtkaran, M. ., Mohammadifar, M. A. ., Asadi, G. H. ., Nejad, R. A. ., & Balaghi, S. . (2013). Effect of gum tragacanth on rheological and physical properties of a flavored milk drink made with date syrup. *Journal of Dairy Science*, *96*(8), 4794–4803. <http://doi.org/10.3168/jds.2012-5942>
- Lecle, J. (2002). Fortification of milk with iron-ascorbate promotes lysine glycation and tryptophan oxidation, *76*, 491–499.
- Martínez-Navarrete, N., Camacho, M. M., Martínez-Lahuerta, J., Martínez-Monzó, J., & Fito, P. (2002). Iron deficiency and iron fortified foods — a review. *Food Research International*, *35*, 225–231.
- Mestrado, P. De, & Preto, O. (2006). Proteínas do soro do leite : composição , propriedades nutricionais , aplicações no esporte e benefícios para a saúde humana Whey protein : composition , nutritional properties , *19*(4), 479–488.
- Ministerio de la Protección Social. (2011a). Encuesta Nacional de la Situación Nutricional en Colombia 2010. *Ensin*, 1–512. <http://doi.org/9789586231121>
- Ministerio de la Protección Social. Resolución N° 0333-2011 Rotulado etiquetado (2011).
- Modler, H. W. (1985). Functional Properties of Nonfat Dairy Ingredients - A Review. Modification of Products Containing Casein. *Journal of Dairy Science*, *68*(9), 2195–2205. [http://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(85\)81091-2](http://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(85)81091-2)
- Morales, J. C., Sánchez-Vargas, E., García-Zepeda, R., & Villalpando, S. (2015). Sensory evaluation of dairy supplements enriched with reduced iron, ferrous sulfate or ferrous fumarate. *Salud Publica de Mexico*, *57*(1), 14–21.



- OECD. (2016). Dairy and Dairy Products. *OECD Publishing, Paris*, (OECD-FAO Agricultural outlook 2016-2025). Retrieved from [http://dx.doi.org/10.1787/agr\\_outlook-2016-11-en](http://dx.doi.org/10.1787/agr_outlook-2016-11-en)
- Oliveira, D., Antúnez, L., Giménez, A., Castura, J. C., Deliza, R., & Ares, G. (2015). Sugar reduction in probiotic chocolate-flavored milk: Impact on dynamic sensory profile and liking. *Food Research International*, *75*, 148–156. <http://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.05.050>
- Oliveira, D., Reis, F., Deliza, R., Rosenthal, A., Giménez, A., & Ares, G. (2016). Difference thresholds for added sugar in chocolate-flavoured milk: Recommendations for gradual sugar reduction. *Food Research International*, *89*, 448–453. <http://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.08.019>
- Organización Panamericana de la Salud (OPS). (2002). Compuestos de hierro para la fortificación de alimentos: Guías para América Latina y el Caribe., 24. Retrieved from [http://new.paho.org/hq/dmdocuments/2009/Compuestos de hierro\\_Esp.pdf](http://new.paho.org/hq/dmdocuments/2009/Compuestos_de_hierro_Esp.pdf)
- PANTONE R. (1995). PANTONE COLOR IDENTIFICATION. controls usage guidelines. ISBN 978-159065199-5. Printed in USA. Retrieved from [pantone.com/coloridcontrols](http://pantone.com/coloridcontrols)
- Parra, R. (2011). Revisión : Microencapsulación de Alimentos. *Rev. Fac. Nat. Agr. Medellín*, *63*(2), 5669–5684.
- Parra, R. adolfo. (2009). Lactosuero: importancia en la industria de alimentos, *62*(1), 4967–4982.
- Pedro, N. A. R., De Oliveira, E., & Cadore, S. (2006). Study of the mineral content of chocolate flavoured beverages. *Food Chemistry*, *95*(1), 94–100. <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.12.021>
- Poveda, E. (2013). Suero lácteo , generalidades y potencial uso como fuente de calcio de alta biodisponibilidad, *40*(397), 397–403.

- Rosa, R., Souza, D., Bergamasco, R., Cláudio, S., Feng, X., Henrique, S., ... Luiz, M. (2010). Recovery and purification of lactose from whey. *Chemical Engineering & Processing: Process Intensification*, 49(11), 1137–1143. <http://doi.org/10.1016/j.cep.2010.08.015>
- Sánchez Sánchez, G. L., Garzón, M. J. G., Garzón, M. A. G., Giraldo Rojas, F. J., de Jesús Millán Cardona, L., & Villada Ramírez, M. E. (2009). Aprovechamiento del suero lácteo de una empresa del norte antioqueño mediante microorganismos eficientes. (Spanish). *Milk Serum Use in a Company from the Antioquian Northern Region by the Use of Efficient Micro Organisms. (English)*, 4(2), 65–74.
- Smithers, G. W. (2008). Whey and whey proteins — From “ gutter-to-gold ,” 18, 695–704. <http://doi.org/10.1016/j.idairyj.2008.03.008>
- Tobergte, D. R., & Curtis, S. (2013). Codex Alimentarius. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699. <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Urquiza, E. S.-, & Ruiz, M. A. M. J. F. V. (2014). Productos lácteos fortificados Y sus beneficios en la Salud humana. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*, 5–14.
- Walker, C. F., Kordas, K., Stoltzfus, R. J., & Black, R. E. (2005). Interactive effects of iron and zinc on biochemical and functional outcomes in supplementation trials 1 – 3, 5–12.
- Wharton, B. A. (1999). Iron deficiency in children: detection and prevention. *Blackwell Science*, 270–280.
- Yanes, M., Durán, L., & Costell, E. (2002). Rheological and optical properties of commercial chocolate milk beverages. *Journal of Food Engineering*, 51(3), 229–234. [http://doi.org/10.1016/S0260-8774\(01\)00061-9](http://doi.org/10.1016/S0260-8774(01)00061-9)
- Yang, S. T., & Silva, E. M. (1994). Novel Products and New Technologies for Use

of a Familiar Carbohydrate, Milk Lactose. *Journal of Dairy Science*, 78(11), 2541–2562. [http://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(95\)76884-9](http://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(95)76884-9)