

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/281939654>

Parámetros de calidad en helados / Quality Parameters of Ice Cream

Article in *Revista ReCiTeIA* · September 2015

CITATIONS

0

READS

19,056

3 authors, including:



Juan Sebastián Ramírez-Navas
Universidad del Valle (Colombia)

85 PUBLICATIONS 127 CITATIONS

SEE PROFILE

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Natural Ingredients [View project](#)



Helados (Ice Cream) [View project](#)

PARÁMETROS DE CALIDAD EN HELADOS

Autor para correspondencia

JUAN SEBASTIÁN RAMÍREZ-NAVAS

Ingeniero Químico, Doctor en Ingeniería, Profesor Asistente
Grupo GIPAB, Escuela de Ingeniería de Alimentos,
Universidad del Valle - Calle 13 No 100-00, Edificio 338, Espacio
2016, Ciudad Universitaria Meléndez, Cali, Colombia.
E-mail: juan.sebastian.ramirez@correounivalle.edu.co

CINDY JOHANNA RENGIFO VELÁSQUEZ

Ingeniera de Alimentos
Escuela de Ingeniería de Alimentos,
Universidad del Valle
E-mail: cindy.rengifo@hotmail.com

AIXA RUBIANO VARGAS

Ingeniera de Alimentos
Escuela de Ingeniería de Alimentos,
Universidad del Valle
E-mail: aixa.rubiano@correounivalle.edu.co

Recibido: 20/05/2015

Revisado: 20/08/2015

Aceptado: 11/09/2015

CONTENIDO

Resumen.....	80
Abstract.....	80
1 Introducción.....	80
2 Muestreo.....	82
3 Parámetros fisicoquímicos.....	83
3.1 Punto de congelación.....	83
3.2 Densidad.....	85
3.3 pH.....	85
3.4 Acidez titulable.....	86
3.5 Color.....	86
4 Parámetros reológicos y texturales.....	88
4.1 Viscosidad.....	88
4.2 Textura.....	90
5 Parámetros funcionales.....	91
5.1 Overrun.....	91
5.2 Porcentaje de derretimiento y tiempo de caída de primera gota.....	91
6 Referencias Bibliográficas.....	92

Edición:

© 2015 - ReCiTeIA.

ISSN 2027-6850

Cali – Valle – Colombia

e-mail: reciteia@gmail.com

url: <http://revistareciteia.es.tl/>

Parámetros de calidad en helados

RESUMEN

El helado es un alimento de sabor dulce, que se consume en estado congelado. Contiene agua, componentes lácteos, frutas, saborizantes, colorantes y aire. Su mercado está en constante crecimiento, y sus consumidores son cada vez más exigentes con su calidad. En este documento se presenta una descripción de varios parámetros de calidad, así como su determinación en mezclas para helados y en helados. Entre los parámetros de calidad revisados están las propiedades fisicoquímicas, que generalmente se evalúan en el helado, como son punto de congelación, densidad, pH, acidez titulable y color. Entre las propiedades reológicas el parámetro utilizado es la viscosidad. Otros parámetros de calidad importantes son el *overrun*, el porcentaje de derretimiento y el tiempo de caída de primera gota.

Palabras clave: helado, punto de congelación, color, viscosidad, *overrun*, porcentaje de derretimiento, tiempo de caída de primera gota.

Quality Parameters of Ice Cream

ABSTRACT

Ice cream is a sweet-tasting food that is consumed in a frozen state. It contains water, milk ingredients, fruits, flavorings, colorings and air. Your market is constantly growing, and consumers are increasingly demanding quality. This paper provides a description of various quality parameters and their determination in mixtures for ice cream and ice cream. Among the quality parameters reviewed there: physicochemical properties, usually evaluated on the ice cream such as freezing point, density, pH, titratable acidity and color. Viscosity is an important rheological property. Other important quality parameters are overrun, first dripping time and melting rate.

Keywords: ice cream, freezing point, color, viscosity, overrun, first dripping time, melting rate.

1 INTRODUCCIÓN

El helado, como lo conocemos hoy, es un alimento moderno y la tecnología de la congelación es relativamente nueva, sin embargo sus orígenes son muy antiguos [Juri-Morales y Ramírez-Navas, 2015]. Según Fritz [1989], el helado es un alimento de sabor dulce, que se consume en estado congelado. Contiene agua, componentes lácteos, frutas, saborizantes, colorantes y aire. Según Villalba *et al.* [2013] el helado es un producto obtenido por la mezcla y congelación de ingredientes líquidos constituidos fundamentalmente por leche, derivados lácteos y otros componentes.

La norma técnica colombiana NTC-1239 [2002], define al helado como un producto alimenticio, higienizado, edulcorado, obtenido a partir de una emulsión de grasas y proteínas, con adición de otros ingredientes y aditivos permitidos o sin ellos, o bien a partir de una mezcla de agua, azúcar y otros ingredientes y aditivos permitidos sometidos a congelamiento con batido o sin él, en condiciones tales que garanticen la conservación del producto en estado congelado o parcialmente congelado durante su almacenamiento, transporte y consumo final; y a la mezcla líquida para helados como el producto líquido higienizado que se destina a la preparación de helado, que contiene todos los ingredientes necesarios en cantidades adecuadas.

Se clasifican según su forma de elaboración en helados industriales y helados artesanales [Gutierrez, 2011], y según sus componentes en: 1) de crema de leche, 2) de leche, 3) de leche con grasa vegetal, 4) de yogur, 5) de grasa vegetal, 6) no lácteo, de imitación, 7) sorbete o "sherbet", 8) de fruta, 9) de agua o nieve, 10) de bajo contenido calórico [NTC-1239, 2002].

El ingrediente básico del helado de crema es la nata o crema de leche. Éste consta de las siguientes fases (ver Figura 1):

- 1) La fase crio-concentrada: Está compuesta por agua líquida y los ingredientes solubles como proteínas, azúcar e hidrocoloides.
- 2) La fase de cristales de hielo: El tamaño del hielo depende de la temperatura, de las condiciones de proceso, del almacenaje y de composición del azúcar.
- 3) La fase grasa: Se compone de glóbulos grasos individuales y aglomerados.
- 4) La fase gaseosa: El aire se dispersa en la emulsión congelada y forma una crema batida; representa en general el 50% del producto final (al 100% de *overrun*).

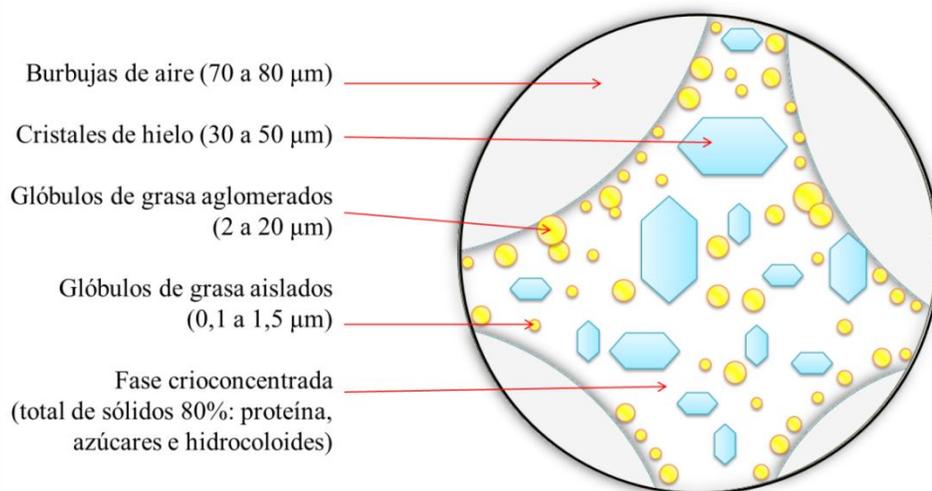


Figura 1. Fases del helado de crema

El helado es una dispersión coloidal que consta de una fase dispersa, que se encuentra inmersa en una fase continua de alta viscosidad. La fase dispersa está compuesta por tres componentes principales que le dan su estructura: burbujas de aire, cristales de hielo y glóbulos de grasa emulsionados y dispersados. La fase líquida está compuesta a su vez por azúcares, proteínas de leche e hidrocoloides disueltos en agua no congelada [Pintor y Totosaus, 2013].

La calidad total de un alimento puede determinarse según cinco grupos de parámetros: sensorial, nutricional, sanitaria, fisicoquímica y funcional. En la Tabla 1 se detallan algunas de las características de estos grupos de parámetros de calidad

Tabla 1. Características de calidad del helado

Calidad	Características de calidad
Sensorial	Forma, color, olor, sabor, textura
Nutricional	Composición, digestibilidad
Sanitaria	Inocuidad (microorganismos, agentes químicos, contaminantes)
Fisicoquímica	pH, acidez, color, propiedades coligativas, viscosidad
Funcional	<i>Overrun</i> , envasado, derretimiento, capacidad de depósito, capacidad de porcionado

Para el consumidor el valor organoléptico ocupa un lugar predominante, debido a que se trata de cualidades que él mismo puede comprobar y calificar. El segundo lugar lo ocupa el valor sanitario. Sin embargo, el valor nutricional está ganando importancia en la determinación de la calidad para determinados grupos de consumidores.

Las propiedades fisicoquímicas que generalmente se evalúan en el helado son pH, color y el punto de congelación. Para las propiedades reológicas los parámetros utilizados son la viscosidad y la textura. Otros parámetros de calidad importantes son el porcentaje de derretimiento y el tiempo de caída de primera gota. En este documento se presenta una descripción de estos parámetros de calidad así como su determinación en mezclas para helados y en helados.

2 MUESTREO

Para determinar la calidad de los helados, se realizan muestreos al azar, que deben ser representativos. Cada unidad de la partida total debe contar con la misma probabilidad que las demás para entrar a formar parte de la muestra al azar. La numeración de las unidades que constituyen la muestra debe ser numerada con números obtenidos al azar. La norma técnica colombiana NTC-666 [1996], basada en la ISO 7002:1984, proporciona una guía sobre los métodos de muestreo de leche y derivados lácteos, incluyendo el helado, para análisis microbiológico, químico, físico y sensorial.

Al realizar el muestreo se recomienda tomar muestras por duplicado. También es conveniente tomar grupos de muestras adicionales y guardarlas para fines de arbitraje o para la realización de contramuestras [Curren y King, 2002].

El equipo de muestreo debe estar fabricado en un material con la resistencia adecuada, que no provoque cambios en la muestra que puedan afectar los resultados de los análisis posteriores. Dentro de los materiales que se consideran apropiados se encuentran el vidrio, algunos metales (por ejemplo: acero inoxidable) y algunos plásticos (por ejemplo: polipropileno). También se pueden utilizar recipientes plásticos desechables o de papel de aluminio con resistencia adecuada (estéril y no estéril) y bolsas plásticas adecuadas, con los métodos de cierre apropiados. Los recipientes diferentes de las bolsas plásticas se deben cerrar de una manera segura mediante un tapón o una tapa roscada de plástico o metal, y si es necesario, un revestimiento plástico interior hermético, insoluble, no absorbente y a prueba de grasa, que no afecte la composición, propiedades, olor y sabor de la muestra. Si se utilizan tapones, deben ser fabricados de un material no-absorbente, inodoro e insaboro, o deberán estar cubiertos con él.

La forma y capacidad de los recipientes debe ser la apropiada para los requisitos particulares del producto al que se va a hacer el muestreo. Los recipientes para productos sólidos, semisólidos o viscosos, deben ser de boca ancha. Todas las superficies deben ser lisas y sin grietas y las esquinas deben ser redondeadas. De preferencia, los recipientes deben ser opacos. Si es necesario, los recipientes transparentes llenos se deben almacenar en un lugar oscuro. Los recipientes y cierres deben estar secos, limpios y estériles o adecuados para esterilización.

El equipo de muestreo debe estar limpio y seco antes de su uso, y no debe influir sobre propiedades tales como olor, sabor o consistencia y composición del producto. En algunos casos, se requiere equipo estéril para evitar la contaminación microbiana del producto. Si los productos contienen partículas gruesas, puede ser necesario aumentar el tamaño mínimo de la muestra.

Después de realizar el muestreo, el recipiente de la muestra se debe cerrar de inmediato y etiquetar indicando la naturaleza del producto y como mínimo, el número de identificación, el nombre y la firma (o las iniciales) de la persona responsable de la toma de muestras. Si es necesario, se puede incluir información adicional, por ejemplo, el propósito del muestreo, la masa o volumen de la muestra y la unidad de la cual se tomó la muestra.

Se debe prestar atención para asegurar que cuando se tomen las muestras para exámenes sensoriales, el sabor de ellas no se vea afectado por la esterilización del equipo de muestreo o los grifos de muestreo, por ejemplo, por flameado con etanol.

Entre los instrumentos para el muestreo se encuentran sondas, de suficiente longitud para llegar al fondo del recipiente del producto; cuchara, cuchillo y espátula, o cuchara para helado; y recipientes para muestras.

En el caso de los helados la temperatura recomendable está entre $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$. La muestra que se toma debe ser de mínimo 200 ml. Inmediatamente después del muestreo se debe transferir el recipiente que contiene la muestra al contenedor apropiado para transporte, logrando aislarlo térmicamente. Dicho contenedor debe haber sido refrigerado apropiadamente (por ejemplo, con dióxido de carbono sólido) durante mínimo 30 min antes de su uso.

3 PARÁMETROS FISCOQUÍMICOS

3.1 PUNTO DE CONGELACIÓN

Los alimentos con una importante proporción de fracción líquida (agua más solutos) presentan propiedades termodinámicas típicas de las disoluciones ideales o reales dependiendo de la proporción de los compuestos solubles. Muchas disoluciones constan de solutos no volátiles que tienen solubilidad limitada en un disolvente volátil, por ejemplo las disoluciones de sacarosa o cloruro sódico en agua. Se observa que propiedades importantes de estas disoluciones, incluyendo el descenso de la presión de vapor del disolvente, la elevación del punto de ebullición, la disminución del punto de congelación y la presión osmótica dependen solamente del número de moléculas o iones disueltos, independientemente de su naturaleza. Estas propiedades se denominan coligativas [Engel y Reid, 2012; Goff y Hartel, 2013; Smith *et al.*, 1991; Walstra, 2002].

El punto de congelación de un líquido es la temperatura, a una presión determinada, a la que dicho líquido se solidifica. Éste se alcanza en una solución cuando la energía cinética de las moléculas se hace menor a medida que la temperatura disminuye. La temperatura de congelación de las disoluciones es más baja que la temperatura de congelación del disolvente puro [Heldman, 2006; Romo S. y Criollo R., 1997].

Las soluciones siempre se congelan a menor temperatura que el disolvente puro. En el caso del agua, el punto de fusión y de congelación es el mismo: $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ [Trujillo Santacoloma, 2004]. En general, cuando una sustancia se disuelve en un disolvente líquido, el punto de congelación de éste disminuye. En el presente caso la cantidad en que disminuye el punto de congelación se llama *descenso del punto de congelación o descenso crioscópico*, y es aproximadamente proporcional al número de moles del soluto disuelto en una cantidad dada del disolvente [Morison y Hartel, 2006; Shoemaker y Garland, 1968].

Para observar la calidad de la leche se puede medir el punto crioscópico y de acuerdo a los resultados se puede comprobar si hay adulteración del producto [Rondon *et al.*, 2003]. En el caso de los helados, el punto de congelación es dependiente del tipo y contenido de constituyentes de la

mezcla, específicamente, de los sólidos solubles y, dentro de éstos, los de mayor relevancia son los azúcares. Las proteínas por su gran tamaño presentan un efecto coligativo pequeño en comparación con el de los azúcares. Los cambios en este parámetro pueden alterar la velocidad de congelación del helado, a una temperatura de almacenamiento específica [Patel *et al.*, 2006].

La NTC-5135 [1996], traducción de la norma ISO 5764:2002 – IDF 106:2002, establece el procedimiento para la determinación del punto de congelación por el método del crioscopio termistor. Un termistor es un termómetro de resistencia cuyo elemento sensible está hecho de un sólido semiconductor que se caracteriza por tener un coeficiente de temperatura altamente negativo [Romo S., 1986]. Estos instrumentos dan respuesta inmediata a los cambios de temperatura, razón por la cual este método es el de referencia.

El principio de la prueba es sobreenfriar una muestra para ensayo a una temperatura apropiada e inducir la cristalización, por medios suficientes para causar una liberación instantánea de calor acompañada de calentamiento de la muestra hasta una meseta de temperatura. Éste punto se alcanza cuando el aumento de temperatura no excede de 0,5 °C en los últimos 20 s. La temperatura así obtenida corresponde al punto de congelación de la muestra de leche.

El instrumento de medición se calibra ajustándolo para dar lecturas con dos soluciones normalizadas de cloruro de sodio, usando el mismo procedimiento que se usa para las muestras de leche.

Para la determinación del punto de congelación se realizan curvas de congelación de las muestras y la muestra control, en las cuales se observa un cambio brusco de pendiente y este se define como el punto de congelación aparente, lo que se corresponde con alrededor de un 80% del agua congelada [Barreiro y Sandoval, 2006].

En la Figura 2 se presentan las curvas experimentales de congelación de tres muestras de helado (30 min, -50°C), en ellas se observa el efecto de la adición de diferentes concentraciones (0%, 0,3% y 1%) de emulsionante sobre el punto de congelación [Rengifo Velásquez y Rubiano Vargas, 2015].

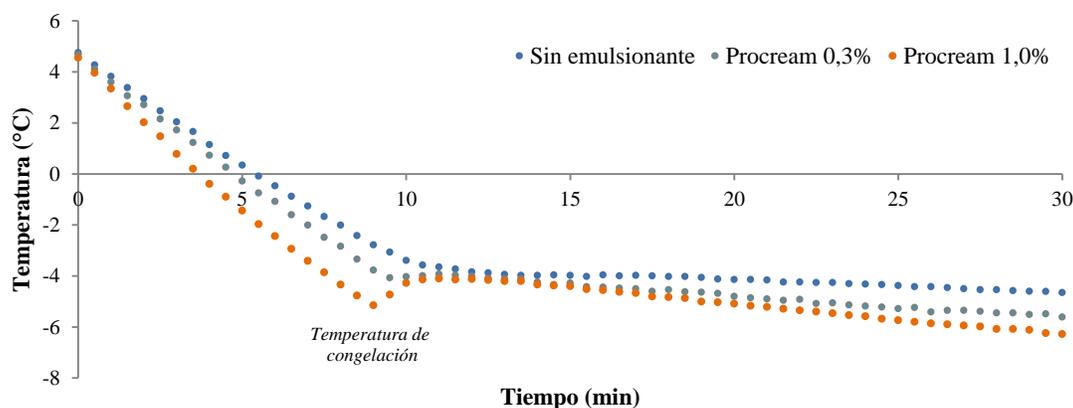


Figura 2. Curva experimental de congelación

Fuente: Rengifo Velásquez y Rubiano Vargas [2015]

Se observa que las muestras presentaron un descenso en su punto de congelación. Esto se debe al incremento de solutos [Cook y Hartel, 2010]. Este efecto puede presentarse cuando la grasa se cristaliza en gotas de emulsión dispersas [Hasenhuettl y Hartel, 2008]. También se observa que los solutos de la solución están iniciando el proceso de congelación, generando una vibración de sus

moléculas causando una variación en la temperatura, lo que se evidencia como un cambio brusco en la pendiente de la curva [Barreiro y Sandoval, 2006]. Mientras el hielo tiene un punto de congelación nominal de 0°C, los cristales de hielo más pequeños tienen un punto de congelación ligeramente deprimido en comparación con cristales más grandes. Este fenómeno se llama la curvatura de Kelvin o el efecto del radio de curvatura. Ya que los pequeños cristales tienen más energía libre de superficie por volumen que los cristales más grandes, su punto de congelación está deprimido según la Ecuación 1 [Cook y Hartel, 2010].

$$\Delta T' = \frac{2\sigma T_{\infty}}{\rho_s \Delta H_{fu} r}$$

Ecuación 1. Depresión del punto de congelación

Dónde: $\Delta T'$: depresión del punto de congelación, σ : tensión interfacial, ρ : densidad del cristal, ΔH_{fu} : calor latente de cristalización, r : radio del cristal, T_{∞} : temperatura absoluta de equilibrio para un cristal de radio infinito.

3.2 DENSIDAD

La densidad es la relación de la masa contenida en la unidad de volumen o en otras palabras el cociente entre su masa y su volumen. Esta propiedad puede variar dependiendo los compuestos que compongan dicha sustancia. Esto permite usar esta propiedad como un instrumento de calidad. Para determinar la densidad de mezclas para helado se recomienda el picnómetro o el areómetro (lactodensímetro) calibrados de acuerdo con lo indicado en la AOAC 33.2.03 (925.22) [AOAC, 2000].

Procedimiento con picnómetro. Se registra en el cuaderno de laboratorio el valor del volumen del picnómetro que está impreso en la pared del frasco. Se pesa el picnómetro vacío, éste debe estar totalmente seco y limpio. Se llena el picnómetro completamente con la muestra utilizando una jeringa o pipeta y enseguida se coloca el tapón. Al colocarlo, parte del líquido se derrama y por lo tanto se debe secar perfectamente el recipiente y el tapón por fuera. Se pesa el picnómetro lleno de líquido y se registra el dato obtenido. Este procedimiento se hace por triplicado.

También se pueden emplear modelos matemáticos, como el presentado por Choi y Okos [1986], que se aplica a alimentos líquidos como una función de la composición y de la temperatura.

$$\rho = \sum \rho_i x_i$$

Ecuación 2. Densidad total

Donde x_i es la fracción en peso de cada componente de la mezcla líquida y ρ_i es la densidad de cada componente a una temperatura seleccionada. El error estándar entre el valor predicho por la ecuación y el experimental está entre 2,14% y 3,15% [Rao, 2006].

3.3 PH

La determinación del pH resulta de especial interés cuando se trabaja con mezclas para helado que contienen fragmentos de fruta [Geyer, 1989]. El pH se mide con un potenciómetro, haciendo uso del método oficial de análisis 981,12 [AOAC, 2000]. Para esta medición se toman 10mL de la mezcla después de 24h de maduración y todas las mediciones se realizan por triplicado. Al llevar a cabo la determinación del pH de helado o de mezclas destinadas a éstos y otras agregaciones, debe

ponerse especial cuidado en el mantenimiento y calibración del electrodo del equipo [Skoog *et al.*, 2001].

El equipo de pH, capaz de hacer lecturas hasta de 0,01 unidades de pH, debe constar de un electrodo medidor de vidrio y un electrodo de referencia o un electrodo múltiple, calibrados por medio de dos soluciones reguladoras de pH conocido, de aproximadamente 7 y 9 respectivamente, y que estén dentro de $\pm 0,01$ unidades de pH [NTC-4978, 2001].

Madrid [2003] afirma que el pH del helado fluctúa entre 6 y 7. Eras López [2013] en su estudio sobre la determinación de parámetros técnicos para la elaboración de helados con frutas nativas del cantón Loja, arrojaron valores de pH de 6,7 -6,8. Caicedo Cipagauta [2010] obtuvo valores de pH de 6,42 en su estudio de la viabilidad de la incorporación de bacterias probióticas micro encapsuladas en helados. Posada D. M. *et al.* [2012] tampoco tuvieron diferencias significativas en el pH para las diferentes concentraciones de emulsionante, y los valores de pH de las muestras que evaluaron estuvo alrededor de $6,83 \pm 0,04$.

3.4 ACIDEZ TITULABLE

Se efectúa de acuerdo con lo indicado en la NTC-4978 [2001]. Para tal efecto, se lleva la muestra hasta una temperatura entre 20 °C y 25 °C. Se homogeneiza la muestra usando un instrumento adecuado, por ejemplo, un macerador (Ultra Turax1 o equivalente), para facilitar la molienda y dispersión de la fruta. Si se observa separación de la grasa en la muestra, la temperatura de la muestra se puede aumentar hasta 38 °C, para una mejor homogeneización. Después de eso, la muestra se deja enfriar hasta una temperatura entre 20 °C y 25 °C. Se pesan aproximadamente 10 g de la muestra de ensayo homogeneizada, con aproximación de 0,01 g, en un vaso de precipitado de 50 ml. Se adicionan aproximadamente 10 ml de agua y se mezcla, hasta obtener finalmente una suspensión.

Se sumergen los electrodos del medidor de pH, en la suspensión y se asegura que éstos estén apropiadamente inmersos. Se titula el contenido del vaso de precipitado, mientras se agita, con la solución de hidróxido de sodio (la solución volumétrica estándar usada, debe ser de una concentración $[C_{(NaOH)} = 0,1 N] \pm 0,000 2 N$, y libre de carbonato), hasta un pH de $8,30 \pm 0,01$. Se registra el volumen, en ml, de la solución de hidróxido de sodio usada, con aproximación al 0,05 ml más cercano.

La acidez titulable se expresa como porcentaje de ácido láctico/100 g de producto empleando la Ecuación 3:

$$w = \frac{v \times 0.9}{m}$$

Ecuación 3. Acidez titulable

Dónde: V: es el valor numérico del volumen en mL, de la solución de hidróxido de sodio usada en la titulación; m: es el valor numérico de masa, en g, de la muestra para ensayo; 0,9 es el factor de conversión para el ácido láctico. 1 mL de NaOH 0,1 N equivalen a 0,009 g de ácido láctico.

3.5 COLOR

El color es una propiedad de la luz y una respuesta del cerebro a la percepción de esta. La visión es la habilidad de detectar la luz e interpretarla; en la industria alimentaria, es muy importante esta característica pues proporciona gran cantidad de información sobre la composición, la madurez, la calidad y dependiendo de estos factores, el grado de aceptación sobre los alimentos será mayor o

menor [Fennema, 2000]. Existen diferentes métodos para determinar el color de los alimentos, entre ellos el sistema CIELab, empleando las coordenadas L* a* b*. En la Figura 3 se representa un sólido para éstas.

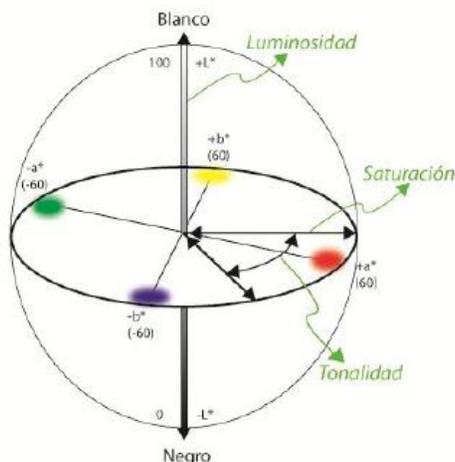


Figura 3. Coordenadas en el espacio L*a*b.

Fuente: Ramírez-Navas [2010a]

La luminosidad es indicada por L*, en la cual se clasifican la serie de grises que va del negro al blanco en una escala de 0 a 100, siendo el menor valor negro puro y el mayor blanco puro. Las coordenadas a* y b*, indican la dirección del color; +a* rojo a -a* verde y +b* amarillo a -b* azul y se relacionan con la cromaticidad y la tonalidad. La primera llamada también intensidad de un color particular, se relaciona con el ancho de banda de la luz, puede definirse por la cantidad de gris que contiene un color; mientras más gris es menos saturado. La segunda es el estado puro del color sin el blanco o negro agregados, éste permite distinguir el rojo del azul, y se refiere al recorrido que hace un tono de un lado a otro del círculo cromático [Konica-Minolta, 2007].

Para realizar la determinación colorimétrica se emplea como modelo de color el sistema CIE-Lab y el iluminante de referencia D65 (estándar luz de día), obteniendo los valores experimentales mediante el empleo del espectrocolorímetro (Color Flex- HunterLab). Donde se las magnitudes estudiadas para la caracterización del color son la luminosidad (L*), la proporción de rojo-verde (a*) y proporción amarillo-azul (b*) [Ramírez-Navas, 2010a].

Para obtener dichas mediciones se calibra el equipo con los platos de referencia verde, blanco y negro, ubicando previamente la caja Petri, sobre la cual se colocan las muestras, en el puerto de lectura. Cada muestra se sitúa en la caja Petri previo a su análisis. Todas las muestras se cubren antes del análisis con el cubreobjetos de color negro (parte del equipo). Para evitar que la luz cause interferencia en la lectura. Las muestras se rotan aproximadamente 120° después de cada lectura, repitiéndose la misma [Novoa y Ramírez-Navas, 2012].

A partir de las coordenadas se estima ΔL^* , Δa^* , Δb^* , ΔE^* , Cromaticidad (C) y $\Delta C(\%)$ mediante las siguientes ecuaciones:

$$\Delta L^* = L_i^* - L_j^*$$

Ecuación 4 Variación de Luminosidad

$$\Delta b^* = b_i^* - b_j^*$$

Ecuación 7. Variación de b*

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}$$

Ecuación 5- Croma o saturación

$$\Delta C(\%) = ((C_i - C_j) / C_i) * 100$$

Ecuación 8. Variación de cromaticidad

$$\Delta a^* = a_i^* - a_f^*$$

Ecuación 6. Variación de a*

$$\Delta E_{f,i} = \sqrt{(\Delta L_{f,i}^*)^2 + (\Delta a_{f,i}^*)^2 + (\Delta b_{f,i}^*)^2}$$

Ecuación 9. Diferencia de color

ΔE^* , cuantifica numéricamente la diferencia de percepción de color, para el ojo humano, entre dos muestras del alimento. Los valores de ΔE^* obtenidos para una muestra en referencia al estándar permiten evidenciar si el observador podrá o no percibir la diferencia de color [Ramírez-Navas, 2010a]. El parámetro C es una medida del grado de pureza de color, lo que significa si el amarillo obtenido es más o menos concentrado o saturado [Perea *et al.*, 2007].

4 PARÁMETROS REOLÓGICOS Y TEXTURALES

4.1 VISCOSIDAD

La reología es la parte de la mecánica que estudia la elasticidad, plasticidad y viscosidad de la materia. “La ciencia del flujo y la deformación”, estudia las propiedades mecánicas de los gases, líquidos, plásticos, sustancias asfálticas, materiales cristalinos y otros. Por lo tanto, el campo de la reología se extiende desde la mecánica de fluidos newtonianos hasta la elasticidad de Hook [Ramírez-Navas, 2006]. Esta ciencia se ha establecido como la manera en la cual los materiales responden a un esfuerzo o tensión aplicada. Todos los materiales tienen propiedades reológicas y el área que ocupa la reología es muy relevante en numerosos campos, incluyendo en la tecnología y procesado de alimentos [Quintans Riveiro, 2008].

La viscosidad es la medida de la dificultad de fluir de un gas o líquido. Se define entonces el esfuerzo de corte (τ) como la relación F/A , y la viscosidad como la relación entre τ y velocidad de deformación (u), y todos los fluidos que cumplen con ésta relación, son llamados fluidos Newtonianos [Alzate, 2003].

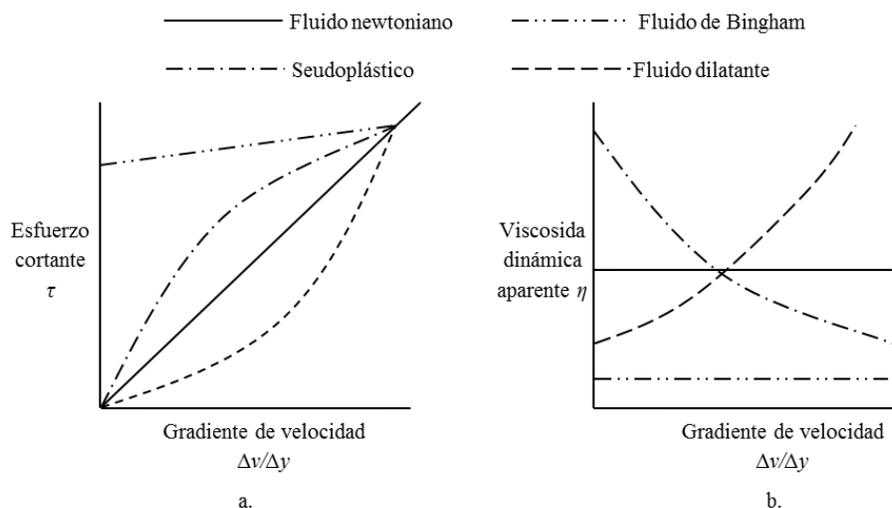


Figura 4. Comportamiento reológico de los fluidos.

Aquellos fluidos que no cumplen con la relación dicha anteriormente, son considerados no Newtonianos, y se clasifican en dependientes o independientes del tiempo, su viscosidad depende también de la velocidad de corte y de las condiciones propias del fluido. En la Figura 4 se muestran las diferencias en los comportamientos de los diferentes tipos de fluidos. En el numeral a) se muestra la relación antes descrita, en la que los fluidos Newtonianos se representan por la relación

lineal entre τ y velocidad de corte u o γ , mientras que los fluidos no Newtonianos tienen comportamientos exponenciales o logarítmicos. En el numeral b) se observa como la viscosidad cambia con el gradiente de velocidad, y además se observa la no dependencia de la velocidad para los fluidos Newtonianos, al permanecer constante la viscosidad [Mott y Brito, 2006].

Las mezclas para helado, presentan, por lo general comportamiento de fluido no newtoniano; las características de este tipo de productos varían desde los líquidos viscosos con propiedades elásticas hasta las de los sólidos con propiedades viscosas. La viscosidad de estos fluidos, no permanece constante, cuando la temperatura y la composición permanecen invariables, sino que depende del esfuerzo cortante o gradiente de velocidad y, a veces del tiempo de aplicación del esfuerzo y de la historia previa del producto [Kofg, 2001; Posada D. M. *et al.*, 2012].

Tanto la viscosidad como los parámetros reológicos del helado son importantes, ya que se utilizan en el diseño de las plantas, en la producción y en la comercialización de éstos. Este parámetro debe ser constante ya que las máquinas llenadoras de helado necesitan esta condición para su calibración. La viscosidad también permite conocer la potencia requerida por el motor del congelador, además del tipo de refrigerante a usar, entre otras condiciones de producción [de Miguel Cabrera, 2014].

Entre los diversos viscosímetros disponibles, para determinar la viscosidad de mezclas para helados, el de más amplio empleo es el viscosímetro rotacional, cuyo principio de funcionamiento es conducir una aguja (que se sumerge en el fluido de ensayo) a través de un resorte calibrado. El arrastre viscoso del fluido contra la aguja se evalúa por la desviación del resorte que se mide con un transductor rotatorio. Dicha aguja varía de tamaño según el tipo de fluido evaluado [Brookfield Engineering Laboratories].

Para lograr en la medición unos valores adecuadamente reproducibles, resulta decisivo efectuar una cuidadosa termoadaptación de los aparatos de medida y de la muestra a analizar, siendo la temperatura de 5°C la más recomendable [Geyer, 1989].

Rengifo Velásquez y Rubiano Vargas [2015] evaluaron el efecto de la concentración de emulsionantes sobre la viscosidad de un helado de vainilla, para esto midieron la viscosidad empleando un reómetro ultra programable BrookField DV-III, con el adaptador para muestras pequeñas [Alvarado, 1996]. Utilizaron la aguja 00 en las mezclas con concentraciones de 0,3% y 0,5%, y la aguja 21 para las mezclas con concentraciones de 1,0%, ya que eran más viscosas. Tomaron 15 mL de mezcla para helado, después de 24 horas de maduración, que colocar en la cámara para la muestra haciendo descender la mezcla lentamente por las paredes para evitar la formación de burbujas de aire. Las mediciones las realizaron a una temperatura de mezcla de 23°C aproximadamente. Las determinaciones de flujo las hallaron exponiendo las muestras a medio ciclo de deformación, con barrido de velocidad de rotación de la aguja ascendente de 20 a 140 rpm. Todas las mediciones las realizaron por triplicado. Los datos de la curva para todos los tratamientos los ajustaron al modelo de Ley de Potencia [Goff *et al.*, 1994; Lopez B y Sepulveda V, 2012] y por medio de la linealización de la curva obtuvieron los valores de índice del comportamiento de flujo adimensional (n).

$$\tau = k\gamma^n$$

Ecuación 10. Modelo de Ley de Potencia

Dónde: τ : Esfuerzo cortante, k : Índice de consistencia, γ : Gradiente de velocidad, n : Índice de flujo

Las mezclas para helado, presentan, por lo general comportamiento de fluido no newtoniano; las características de este tipo de productos varían desde los líquidos viscosos con propiedades elásticas hasta las de los sólidos con propiedades viscosas [Kofg, 2001; Posada D. M. *et al.*, 2012].

4.2 TEXTURA

La Organización Internacional para la Estandarización (ISO) define a la textura como el “conjunto de propiedades reológicas y de estructura (geométricas y de superficie) de un producto, perceptibles por los receptores mecánicos, los táctiles y en ciertos casos por los visuales y los auditivos” [ISO-5492, 2008]. Las propiedades texturales de los alimentos son aquellas que están relacionadas con el flujo, deformación y desintegración del producto y las cuales pueden ser evaluadas sensorial (pruebas subjetivas) e instrumentalmente (pruebas objetivas).

La textura del helado es inherente a la formulación y a los ingredientes utilizados en su manufactura. Este alimento es ampliamente consumido por la frescura y su textura característica, que a su vez depende de la estructura tridimensional formada por las burbujas de aire, los glóbulos de grasa y los cristales de hielo, que macroscópicamente dan esa sensación cremosa al helado. Cambios en la formulación o incorporación de otros ingredientes modificarán la textura del helado [Pintor y Totosaus, 2013].

Instrumentalmente, la textura del helado se determina por pruebas de compresión o penetración, utilizando un equipo analizador de textura. La compresión uniaxial se aplica a muestras con área transversal uniforme para deformaciones pequeñas antes de la ruptura. El producto es presionado con cierta fuerza o velocidad. Dependiendo del experimento, los datos obtenidos se relacionan con el módulo (dureza), fractura de tensión, trabajo de fractura o la combinación de estos parámetros. La prueba de penetración se basa en la medición de la fuerza de cizalla máxima requerida para atravesar completamente una sección del producto con un pistón. A valores más altos de fuerza mayor la resistencia del producto [Demonte, 1995; Durán *et al.*, 2001; Zúñiga *et al.*, 2007].

Pruebas de compresión. En estas pruebas el vástago y la base del equipo analizador de textura deben ser mayores al área transversal de la muestra. El ensayo se realiza a una velocidad constante de 1,00 mm/s, para simular las deformaciones ocurridas en la boca cuando se come el helado, es decir, la compresión del helado entre la lengua y el paladar. Durante la prueba de compresión de muestras de helado, al comprimir 25 % de la altura original a la muestra, la pendiente inicial indica la deformación resultante por la fuerza aplicada, para posteriormente alcanzar una meseta (compactación de las burbujas de aire) antes de registrar la fuerza máxima. En las pruebas de compresión las fuerzas registradas son relativamente pequeñas, por lo que generalmente se reporta la fuerza máxima de compresión, así como el trabajo de compresión (integral de la curva) [Pintor y Totosaus, 2013].

Pruebas de penetración. Se determina la dureza del helado o fuerza máxima durante la penetración. En estas pruebas se utilizan cilindros de medidas conocidas. La altura inicial y el área transversal dependen del diámetro de la muestra. El diámetro de la muestra debe ser al menos tres veces el diámetro del vástago para mantener una relación de geometrías semi-infinita. El vástago utilizado es de un diámetro pequeño (8-10 mm), a fin de registrar la fuerza en función de la profundidad de penetración (usualmente 10 mm). En estas pruebas se introduce el vástago 10 mm de la superficie del helado, la figura obtenida permite observar la ruptura de la estructura de cristales de hielo y burbujas de aire del helado. La presencia de un primer pico significativo representa la fracturabilidad de la muestra, y a medida que el vástago avanza se observan diferentes picos de fuerza, hasta llegar a la fuerza máxima detectada durante la penetración. Claramente al ser

de menor diámetro el vástago utilizado, las fuerzas de penetración necesarias son hasta 10 veces mayores a las de la prueba de compresión [Pintor y Totosaus, 2013].

5 PARÁMETROS FUNCIONALES

Las propiedades funcionales de los alimentos son un conjunto de indicadores que permiten cuantificar los requisitos de desempeño. De alguna manera, éstas se relacionan con las expectativas o la percepción que el consumidor tiene respecto al producto. Durante la última década éstas han adquirido mayor relevancia [Ramírez-Navas, 2010b].

5.1 OVERRUN

El aire se introduce mediante el batido y es un ingrediente necesario, porque sin él el helado sería demasiado denso, duro y frío [Clarke, 2004]. El aumento de volumen del helado efectuado durante el batido frío se conoce como *overrun*, este aumento está referido al volumen de la mezcla que ingresa a la máquina antes de ser batida. El *overrun* se mide a una de mezcla (madurada por 24h) de 10 ml antes y después de ser batida a -20°C, luego se emplea la Ecuación 11 para realizar el respectivo cálculo (existen variantes de esta ecuación en función del volumen o de la densidad).

$$\%overrun = \frac{\text{Peso del volumen de mezcla} - \text{Peso del mismo volumen de helado}}{\text{Peso del mismo volumen de helado}} * 100$$

Ecuación 11. Overrun

La incorporación de aire depende de la composición de la mezcla (contenido de grasa), así como de la clase y cantidad de estabilizador y emulsionante utilizados. El rango de *overrun* suele ser mayor en los helados cremosos que en los de fruta. Muchas veces presenta el margen de ganancia del producto: si el *overrun* es alto, la ganancia será mayor, pero se corre el riesgo de que el helado no tenga una buena conservación; en cambio si es bajo, el helado será duro y demasiado compacto, lo que reducirá considerablemente el margen de utilidad.

5.2 PORCENTAJE DE DERRETIMIENTO Y TIEMPO DE CAÍDA DE PRIMERA GOTTA

La determinación del tiempo de caída de primera gota y el porcentaje de derretimiento se realiza colocando sobre una malla de 56 orificios/cm² una muestra de 70g (MI) de helado de almacenado a -18°C durante un día, recogiendo la masa de helado derretida (MD) en un recipiente y cronometrando el tiempo en el cual ocurre la caída de la primera gota. Después de la caída de la primera gota, se mide el peso de la masa de helado derretida cada dos minutos [Lopez B y Sepulveda V, 2012; Posada D. M. *et al.*, 2012]. El porcentaje de derretimiento se calcula con la Ecuación 12:

$$\%Derretimiento = MD/MI * 100$$

Ecuación 12. Porcentaje de derretimiento

Con los datos de derretimiento se construye la curva de fusión del helado, que muestra el porcentaje de helado derretido en función del tiempo.

En la Figura 5 se presentan tres curvas de derretimiento de muestras de helados adicionadas con diferentes concentraciones de emulsionante.

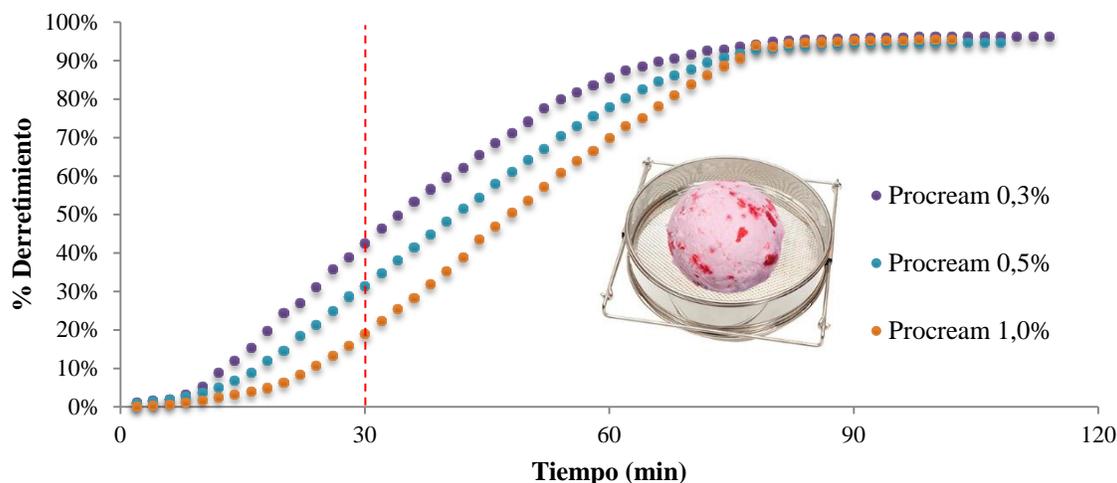


Figura 5. Curva de derretimiento de helados con tres concentraciones de emulsionante Procream (0,3%, 0,5% y 1,0%)

Fuente: Rengifo Velásquez y Rubiano Vargas [2015]

Observando la Figura 5 se aprecia que a mayor concentración disminuye el porcentaje de derretimiento. La curva más baja del emulsionante corresponde a la concentración de 1,0% esto indica que la velocidad de derretimiento para esta curva es menor, por el contrario la curva superior representa la muestra que presenta una mayor velocidad de derretimiento. El tiempo normal en el que una persona consume un helado es de aproximadamente 30 min, por tal razón se considera este dato del porcentaje de derretimiento como un parámetro importante en el análisis.

Posada D. M. *et al.* [2012] en su trabajo de evaluación de un estabilizante integrado de gomas sobre las propiedades de calidad en mezclas para helado duro, evidenció que a medida que se aumenta el nivel de emulsificante en mezclas de helados, se retarda el tiempo de caída de la primera gota que está directamente correlacionado con un menor porcentaje de derretimiento. Al aumentar la concentración de los emulsionantes se aumenta la cantidad de sólidos en la mezcla y estos ayudan a disminuir el derretimiento y la caída de primera gota como lo explican Lopez B y Sepulveda V [2012]. En el estudio del grado de goteo se admite una tolerancia de ± 15 segundos [Geyer, 1989].

6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVARADO, J.D.D. *Principios de Ingeniería aplicados a Alimentos*. Quito, Ecuador: OEA-PRDCT - Radio Comunicaciones, División de Artes Gráficas, 1996. 524 p.
- ALZATE, C.E.O. *Procesamiento de alimentos*. 1 ed.: Univ. Nacional de Colombia, 2003. 323 p.
- AOAC. *Official methods of analysis*. En. Arlington, VA, USA Association of Official Analytical Chemist, 2000.
- BARREIRO, J.A. Y SANDOVAL, A.J. *Operaciones de conservación de alimentos por bajas temperaturas*. 1 ed.: Equinoccio, 2006. 365 p.
- BROOKFIELD ENGINEERING LABORATORIES, I. *Brookfield DV-III Ultra, Programmable Rheometer. Operating Instructions*. Middleboro, MA. USA: Brookfield Engineering Laboratories, INC.
- CAICEDO CIPAGAUTA, Y.M. Estudio de la viabilidad de la incorporación de las bacterias probióticas micro encapsuladas en helado. Tesis de Especialización en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia, Programa Interfacultades, 2010. 68 p.
- CLARKE, C. *The science of ice cream*. 2 ed. Cambridge, UK: Royal Society of Chemistry, 2004. xvi, 187 p.
- COOK, K.L.K. Y HARTEL, R.W. Mechanisms of ice crystallization in ice cream production 2010, vol. 9.

- CURREN, M.S.S. Y KING, J.W. Chapter 25 Sampling and sample preparation for food analysis. En: *Comprehensive Analytical Chemistry*. Elsevier, 2002, vol. Volume 37, p. 869-894.
- CHOI, Y. Y OKOS, M. Thermal properties of liquid foods: review. En: OKOS. *Physical and Chemical Properties of Food*. St. Joseph, MI, USA: American Society of Agricultural Engineers, 1986, p. 35-77.
- DE MIGUEL CABRERA, A. *Elaboración de helados*. INAE0209. 1 ed.: IC Editorial, 2014. 162 p.
- DEMONTE, P. *Evaluación sensorial de la textura y búsqueda de correlaciones con medidas instrumentales*. Cali, Colombia: Departamento de Ingeniería de Alimentos, Universidad del Valle, 1995.
- DURÁN, L., FISZMAN, S. Y BENDITO, C. Propiedades mecánicas empíricas. En: ALVARADO Y AGUILERA. *Métodos para medir propiedades físicas en industria de alimentos*. España: Ed. Acribia, 2001, p. 147.
- ENGEL, T. Y REID, P. *Química Física*. Madrid, España: Pearson Educación S.A., 2012. 1090 p.
- ERAS LÓPEZ, J.D. Determinación de parámetros técnicos para la elaboración de helados con frutas nativas del cantón Loja. Tesis de Pregrado de Ingeniería en producción, educación y extensión agropecuaria. Loja, Ecuador Universidad Nacional de Loja, Área Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables, 2013. 135 p.
- FENNEMA, O. *Química de los alimentos*. 2da ed. Zaragoza: Marcel Dekker, Inc, 2000. 1258 p.
- FRITZ, T. *Fabricación de Helados*. 1 ed. Zaragoza, España: Ed. ACRIBIA, 1989. 304 p.
- GEYER, J. Métodos de análisis químicos y físicos. En: FRITZ. *Fabricación de Helados*. Zaragoza, España: Ed. ACRIBIA, 1989, p. 265-285.
- GOFF, H.D., DAVIDSON, V.J. Y CAPP., E. Viscosity of ice cream at pasteurization temperature. *Journal of Dairy Science*, 1994, vol. 77, no. 8, p. 2207-2222.
- GOFF, H.D. Y HARTEL, R.W. *Ice Cream*. 7 ed. New York, USA: Springer Science+Business Media, 2013. 470 p.
- GUTIERREZ, J. Tecnología de aplicación de ingredientes para helados. *Heladería Panadería Latinoamericana*, 2011, vol. 211, p. 20-23.
- HASENHUETTL, G.L. Y HARTEL, R.W. *Food Emulsifiers and Their Applications*. 2 ed. New York, USA: Springer Science + Business Media, LLC 2008. 426 p.
- HELDMAN, D.R. Food Freezing. En: HELDMAN Y LUND. *Handbook of Food Engineering, Second Edition*. CRC Press, 2006, p. 427-470.
- ISO-5492. Sensory analysis-vocabulary. En: International Organization for Standardization, 2008, vol. 5492.
- JURI-MORALES, G. Y RAMÍREZ-NAVAS, J.S. El helado desde la antigüedad hasta nuestros días. *Heladería Panadería Latinoamericana*, Marzo 2015, vol. 233, no. 1, p. 60-68.
- KOFG *Reología: Boletín Técnico*. Huston, TX, USA: Kelco Oil Feld Group, 2001. 38 p.
- KONICA-MINOLTA *Precise color communication. Color control perception to instrumentation*. Japón: Konica Minolta Sensing Inc., 2007.
- LOPEZ B, F.N. Y SEPULVEDA V, J.U. Evaluation of non fat solids substitutes (nsl) in a hard dairy ice cream mix with vegetable fat. *VITAE*, 2012, vol. 19, no. 2, p. 197-206.
- MADRID, V. *Helados: Elaboración, análisis y control de calidad*. 4 ed. Madrid, España: AMV, 2003. 380 p.
- MORISON, K.R. Y HARTEL, R.W. Evaporation and Freeze Concentration. En: HELDMAN Y LUND. *Handbook of Food Engineering, Second Edition*. CRC Press, 2006, p. 495-552.
- MOTT, R.L. Y BRITO, J.E. *Mecánica de fluidos*. 6 ed.: Pearson Educación, 2006. 626 p.
- NOVOA, D. Y RAMÍREZ-NAVAS, J.S. Caracterización colorimétrica de manjar blanco del Valle. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*. Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, 2012, vol. 10, p. 54-60.
- NTC-666. Leche y productos lácteos. Guía para muestreo (ISO 707:1996). En. Bogotá, Colombia: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, 1996, vol. 666, p. 43.
- NTC-1239. Helados y mezclas para helados. En. Bogotá, Colombia: INCONTEC, 2002, vol. 1239, p. 21.
- NTC-4978. Leche y productos lácteos. Determinación de la acidez titulable (método de referencia). En. Bogotá, Colombia: INCONTEC, 2001, vol. 4978, p. 11.
- NTC-5135. Leche. Determinación del punto de congelación. Método del crioscopio termistor (método de referencia) (ISO 5764:2002 - IDF 106:2002). En. Bogotá, Colombia: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, 1996, vol. 5135, p. 21.
- PATEL, M.R., BAER, R.J. Y ACHARYA, M.R. Increasing the Protein Content of Ice Cream. *Journal of Dairy Science*, 2006, vol. 89, p. 1400 – 1406.
- PEREA, J., CASTELO, M. Y MUNÁRRIZ, J. *La imagen fotográfica*. Madrid, España: Ediciones Akal, 2007 360 p.

- PINTOR, M. Y TOTOSAUS, A. Propiedades funcionales de sistemas lácteos congelados y su relación con la textura del helado: Una revisión. *Biotecnología y ciencias agropecuarias*, 2013, vol. 25, no. 1, p. 56-61.
- POSADA D. M., L.R., SEPULVEDA V., J.U. Y RESTREPO M., D.A. Selección y evaluación de un estabilizante integrado de gomas sobre las propiedades de calidad en mezclas para helado duro. *Vitae*, 2012-08 2012, vol. 19, no. 2, p. 166-177.
- QUINTANS RIVEIRO, L.C. Reología de productos alimentarios. Tesis de Doctorado. Santiago de Compostela: Universidad de Santiago de Compostela, 2008. 237 p.
- RAMÍREZ-NAVAS, J.S. Introducción a la Reología de los alimentos. *Revista RECITEIA*, 2006, vol. 6, no. 1, p. 1-43.
- RAMÍREZ-NAVAS, J.S. Espectrocolorimetría: caracterización de leche y quesos. *Tecnología Láctea Latinoamericana*, 2010a, vol. 61, p. 52-58.
- RAMÍREZ-NAVAS, J.S. Propiedades funcionales de los quesos: Énfasis en los quesos de pasta hilada. *Revista RECITEIA*, Dic 2010b, vol. 10, no. 2, p. 70-97.
- RAO, M.A. Transport and Storage of Food Products. *En: HELDMAN Y LUND. Handbook of Food Engineering, Second Edition*. CRC Press, 2006, p. 353-395.
- RENGIFO VELÁSQUEZ, C.J. Y RUBIANO VARGAS, A. Evaluación del efecto de la concentración de dos emulsionantes sobre propiedades fisicoquímicas y sensoriales de un helado de vainilla. Tesis de Pregrado en Ingeniería de Alimentos. Cali, Colombia: Universidad del Valle, Escuela de Ingeniería de Alimentos, 2015. 62 p.
- ROMO S., L.A. *Termometría y calorimetría*. Quito, Ecuador: Editorial Universitaria, 1986. 187 p.
- ROMO S., L.A. Y CRIOLLO R., R. *Tratado de Termodinámica*. Quito, Ecuador: EDIESPE, 1997.
- RONDON, L., LARA, E. Y GONZALEZ, I. Agentes adulterantes y conservadores en leche fluida. *Revista de la Facultad de Farmacia (Universidad de los Andes, Merida)*, 2003, vol. 45, no. 2, p. 45-50.
- SHOEMAKER, D.P. Y GARLAND, C.W. *Experimentos de Fisicoquímica*. Traducido por HIDALGO Y RODRIGUEZ-MATA. 1 ed. Mexico: UTEHA, 1968. 634 p.
- SKOOG, D.A., HOLLER, F.J. Y NIEMAN, T.A. *Principles of Instrumental Analysis*. Madrid, España: McGraw Hill, 2001. 1028 p.
- SMITH, R.N., PIERCE, C. Y ANDRADE, M.G. *Resolución de problemas de química general*. 1 ed. Barcelona, España: Reverté, 1991. 600 p.
- TRUJILLO SANTACOLOMA, F.J. *Soluciones acuosas: teoría y aplicaciones. Módulo de apoyo académico en química*. Medellín, Colombia: Universidad de Medellín, 2004. 277 p.
- VILLALBA, F., BRUNERI, A. Y RAMÓN, A. Elaboración y composición química de un helado sabor a durazno, con características prebióticas. *Heladería Panadería Latinoamericana*, 2013, vol. 224, p. 58-61.
- WALSTRA, P. *Physical Chemistry of Foods*. Marcel Dekker, 2002.
- ZÚÑIGA, L.A., CIRO, H.J. Y OSORIO, J.A. Estudio de la dureza del queso Edam por medio de estudio de análisis de perfil de textura y penetrometría por esfera. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 2007, vol. 60, no. 1, p. 3797-3811.