



EFFECTO DEL PRETRATAMIENTO CON ULTRASONIDO Y TIEMPOS DE MADURACIÓN SOBRE LOS PARÁMETROS DE CALIDAD DE HELADOS

**LISETH K. RODRÍGUEZ ESQUIVEL
BRANEES CAMPO MONTOYA**

Universidad del Valle
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería de Alimentos
Cali – Colombia
2018



**EFFECTO DEL PRETRATAMIENTO CON ULTRASONIDO Y TIEMPOS DE
MADURACIÓN SOBRE LOS PARÁMETROS DE CALIDAD DE HELADOS**

LISETH K. RODRÍGUEZ ESQUIVEL

CÓD. 1225535

BRANEES CAMPO MONTOYA

CÓD. 1310023

*Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar
al título de Ingeniero de Alimentos*

Director:

JUAN SEBASTIÁN RAMÍREZ, I.Q., PH.D.

Codirectora:

AIDA RODRÍGUEZ DE STOUVENEL, I.Q., PH.D.

Universidad del Valle
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería de Alimentos
Cali – Colombia
2018

DEDICATORIA

A mis padres Luis Carlos y Francia, a mi abuelita Matilde, por ser un apoyo incondicional durante mi formación como persona y profesional. Motivándome cada día a ser mejor y perseverar. A mi hermano por ser mi ejemplo a seguir, a mi novio Sebastián por su comprensión, ayudas y enseñanzas.

A mis maestros de la Escuela de Ingeniería de Alimentos, por cada día de enseñanza y motivación que marcaron cada etapa de mi camino universitario.

Liseth Rodríguez

Especialmente a mis padres que me formaron con disciplina y ética, brindándome todo el apoyo para sacar adelante este segundo título universitario.

A mis amigos del barrio por sus fuerzas positivas, y darme motivación cuando más lo necesitaba.

A todas las personas que creyeron en este proyecto, y nos colaboraron en los momentos más difíciles.

Branees Campo Montoya

AGRADECIMIENTOS

A nuestros padres, que se esforzaron por darnos educación, amor e inculcar valores para formarnos como profesionales.

A nuestros maestros Juan Sebastián Ramírez-Navas y Aida Rodríguez por su colaboración, compromiso y acompañamiento en el desarrollo de este Trabajo de Grado; el cual no hubiese sido posible sin ellos.

A nuestros compañeros de clase por los momentos vividos a lo largo de nuestra carrera, también a la Universidad del Valle y a la escuela de Ingeniería de Alimentos por su ayuda en el desarrollo de este trabajo de grado.

A la empresa Pollos El Bucanero, desde la jefatura hasta la gerencia, por haberme apoyado en la idea de seguir estudiando y formarme como profesional.

TABLA DE CONTENIDO

Dedicatoria.....	3
Agradecimientos.....	4
Lista de Tablas.....	6
Lista de Figuras.....	6
Lista de Ecuaciones.....	7
Nomenclatura.....	8
Resumen.....	9
Abstract.....	10
1 Introducción.....	11
2 Problema de investigación.....	12
2.1 Planteamiento y formulación del problema.....	12
2.2 Hipótesis.....	12
2.3 Justificación.....	12
2.4 Objetivos.....	13
3 Marco teórico.....	14
3.1 Helado.....	14
3.2 Proceso de elaboración de helados.....	16
3.3 Parámetros fisicoquímicos, reológicos y funcionales.....	18
3.4 Características del baño ultrasónico.....	20
3.5 Pruebas sensoriales afectivas de aceptación.....	21
4 Metodología.....	22
4.1 Materias primas.....	22
4.2 Formulación de mezclas para helados.....	22
4.3 Diseño experimental.....	22
4.4 Pruebas de aceptabilidad sensorial.....	27
4.5 Análisis estadístico.....	28
5 Resultados y discusión.....	29
5.1 Propiedades fisicoquímicas de la mezcla para helado sometida a US.....	29
5.2 Propiedades físicas del helado.....	36
5.3 Evaluación sensorial.....	40
5.4 Análisis de aceptación.....	41
5.5 Costos producción lote de 2350 g de mezcla.....	43
6 Conclusiones.....	45
7 Recomendaciones.....	45
8 Anexos.....	48
8.1 Anexo 1: Cursograma analítico.....	48
8.2 Anexo 2: Formato de prueba orientada al consumidor.....	49

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Requisitos fisicoquímicos para mezclas de helado.....	15
Tabla 2. Formulación de helados	22
Tabla 3. Diseño experimental factorial	23
Tabla 4. Resultados parámetro densidad para mezclas de helado.....	29
Tabla 5. Resultados del parámetro de pH en mezclas de helado.....	30
Tabla 6. Acidez promedio en grados Dornic para mezclas de helado tratadas con US y TM	31
Tabla 7. Índices de comportamiento y consistencia para mezclas de helado.....	33
Tabla 8. Porcentaje de variación de la luminosidad (ΔL), saturación (ΔC), y color (ΔE) en mezclas para helados.....	35
Tabla 9. Prueba de Friedman para los atributos sensoriales olor, color, sabor y textura de seis helados evaluados sensorialmente.....	41
Tabla 10. Prueba de Wilcoxon para los atributos sensoriales olor, color, sabor y textura de cuatro helados evaluadas sensorialmente	42
Tabla 11. Costo global de la producción /3.5 L helado.....	44
Tabla 12. Descripción de los gastos de personal.....	44
Tabla 13. Costo de Insumos y equipos.....	44

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de bloques de elaboración de mezclas de helados.....	16
Figura 2. Baño ultrasónico	17
Figura 3. Choque térmico mezcla	18
Figura 4. Equipo de congelación y batido.....	18
Figura 5. Equipo baño ultrasónico	20
Figura 6. Determinación densidad	24
Figura 7. Determinación experimental acidez.....	25
Figura 8. Colorímetro ColorFlex de HunterLab.....	25
Figura 9. Reómetro ultra programable BrookField DV-III.....	26
Figura 10. Ultracongelador con equipo de adquisición de datos (Datalogger)	27
Figura 11. Interacción para densidad media.....	29
Figura 12. Interacción para pH medio.....	30
Figura 13. Interacción acidez media	32
Figura 14. Viscosidad de la mezcla sin US (Blanco) a una velocidad de corte 18,6 Hertz	33
Figura 15. Viscosidad de la mezcla US a 25 KHz a una velocidad de corte 18,6 Hertz.....	34
Figura 16. Viscosidad de la mezcla US a 45 KHz a una velocidad de corte 18,6 Hertz.....	34
Figura 17. Parámetros de color en mezclas para helado tratadas con US y TM	35
Figura 18. Interacción del color en las mezclas	36
Figura 19. Resultados del % de derretimiento para mezclas de helados.....	37
Figura 20. Curvas experimentales de congelación.....	39
Figura 21. Porcentaje de <i>overrun</i> en helado tratado con ultrasonido y tiempo de maduración	40
Figura 22. Diferencias de preferencias entre muestras de helado tratado con ultrasonido y tiempo de maduración.....	41
Figura 23. Perfil sensorial de helados tratados con ultrasonido y tiempo de maduración	42
Figura 24. Prueba de preferencia y compra consumidores	43

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1. Porcentaje de derretimiento.....	19
Ecuación 2. %Ovrrun	19
Ecuación 3. Fórmula para el diseño experimental	23
Ecuación 4. Densidad.....	24
Ecuación 5. % Ácido Láctico /100g de muestra	24
Ecuación 6. Conversión de % Ácido Láctico a °D.....	24
Ecuación 7. Diferencia de color	25
Ecuación 8. Variación de la saturación	25
Ecuación 9. Variación de Luminosidad	25
Ecuación 10. Modelo de Ley de Potencia	26
Ecuación 11. Porcentaje de <i>Ovrrun</i>	26
Ecuación 12. Porcentaje de derretimiento.....	27
Ecuación 13. Esfuerzo cortante	32
Ecuación 14. Índice de consistencia.....	32

NOMENCLATURA

Símbolo	Significado
US	Ultrasonido
TM	Tiempos de maduración
MI	Peso helado inicial
MD	Peso helado derretido
NTC	Norma Técnica Colombiana
°D	Grados Dornic
DSH	Diferencias significativamente honestas
rpm	Revoluciones por minuto
kHz	Kilohercio
ΔL	Variación luminosidad
ΔC	Variación de la saturación
ΔE	Diferencia de color
Fcal	Valor F de Snedecor calculado
NS	No significancia.

RESUMEN

La maduración de mezclas para helados permite que los emulsionantes se absorban a la superficie de las gotas de grasa, mejorando la calidad del helado y la viscosidad de la mezcla líquida. Se estima que la aplicación de ultrasonido en mezclas para helado, ofrece muchos beneficios, como la reducción de tiempos de proceso, mejora de los parámetros de calidad, entre otros. Con el empleo de la combinación de estos dos factores (ultrasonido y maduración) se midieron parámetros de calidad importantes para la industria como el *overrun*, que relaciona el volumen de aire, introducido mediante el batido; el porcentaje de derretimiento y tiempo de caída de primera gota, donde se muestra el porcentaje de helado derretido en función del tiempo, el cual es un atributo percibido por el consumidor, cuando se reduce el helado lentamente a líquido. En la mezcla sometida a 3 niveles de US (0, 25 y 45 kHz), 3 niveles de tiempos de maduración (24, 48 y 72) horas, se midieron los efectos producidos sobre los parámetros de color, densidad, viscosidad, acidez, pH, punto de congelación, tiempo de caída de primera gota, % porcentaje de derretimiento y capacidad de retención de aire (*overrun*). Los resultados obtenidos, se analizaron por un análisis de varianza (ANOVA) y las diferencias significativas con una prueba comparativa de Tukey. No se obtuvieron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los tratamientos para los tiempos de maduración y la densidad, mientras que para el pH y la acidez (expresada en grados Dornic) se encontraron diferencias significativas. El tratamiento que presentó mayores valores en el parámetro de viscosidad fue US a 25 KHz a 72 horas. La viscosidad aumentó a medida que se incrementó el tiempo de maduración en la muestra control y en la muestra sometida a US a 25 KHz. La mezcla con aplicación de US a 45 KHz resultó más efectiva en la retención del color original de la mezcla, con una diferencia de color del 0,62% en mismo tiempo de maduración. Se obtuvo un incremento en la velocidad de congelación y una disminución en el punto de congelación al usar el tratamiento de ultrasonido 25kHz y 45kHz en las mezclas maduras a 24 horas, los resultados del *overrun* mostraron un incremento con el tiempo de maduración en la muestra control.

Palabras clave: Ultrasonido, helado, maduración, tasa de derretimiento, calidad.

ABSTRACT

The ageing of ice cream mixes allows the emulsifiers to be absorbed to the surface of the fat droplets, improving the quality of the ice cream and viscosity of the liquid mixture. It's estimated that application of ultrasound to ice cream mixes, offers many benefits like reducing process times, improvement of quality parameters, among others. With the use of the combination of these two factors (Ultrasound and maturation) important quality parameters were measured for the industry such as the Overrun, which relates the volume of air, introduced by the shake; the percentage of melting and fall time of first drop, where the percentage of melted ice cream is show as a function of time, which is an attribute perceived by the consumer, when the ice cream is slowly reduced to liquid. In the mixture subjected to 3 levels of US (0, 25 and 45) kHz, 3 levels of ageing times (24, 48 and 72) hours. The effects produced on the parameters of color, density, viscosity, acidity, pH, freezing point, fall time of first drop, % melting percentage and air retention capacity (Overrun). The results obtained were analyzed by analysis of variance (ANOVA) and the differences significantly honest with a comparative test of Tukey. No significant differences were obtained ($p < 0.05$) between treatments for ageing times and density, while for pH and acidity (expressed in Dornic degrees) significant differences were found. The treatment that presented highest values in the parameter of viscosity was US to 25 KHz at 72 hours. The viscosity increased as the ageing time increased in the control sample and in the sample subjected to US at 25KHz. The mixture with application of US to 45 KHz was more effective in the retention of the original color of the mixture, with a color difference of 0.62% at the same ageing time. An increase in the speed of freezing and a decrease in the freezing point was obtained when using the ultrasound treatment 25kHz and 45kHz in the mixtures matured at 24 hours, the results of the overrun showed an increase over ageing time in the control sample.

Keywords: Ultrasound, ice cream, ageing, melt down rate, quality.

1 INTRODUCCIÓN

El helado más que un postre, es un alimento completo e importante en toda dieta variada y equilibrada, que, además, juega un papel importante en la alimentación desde el punto de vista nutricional, debido a que sus ingredientes aportan proteínas de alto valor biológico, azúcares, grasas de origen lácteo o vegetal, vitaminas liposolubles, vitaminas hidrosolubles y sales minerales. Las proteínas mayoritarias en los helados son albúminas y globulinas. Las proteínas tienen una función estabilizadora en el helado y en el organismo intervienen en la formación de todas las estructuras, además de realizar funciones de defensa y de regulación de funciones metabólicas (Cardús y Vega, 2006). Los helados *premium*, se elaboran a partir de leche entera, crema de leche, leche en polvo entera, azúcar, estabilizantes y esencia de vainilla. Estos productos lácteos en la mezcla contienen en una base de peso de tres a cuatro veces más grasa, y alrededor del 12-16% más proteínas que la leche (Goff y Hartel, 2013). Este alimento tan complejo, requiere de tratamientos térmicos para su conservación y así garantizar las características nutricionales.

Los tratamientos térmicos pueden afectar nutricionalmente al producto, por lo que se ha promovido el empleo de métodos alternativos de conservación, que además no modifiquen los componentes intrínsecos del alimento (Gómez Díaz y Lopez, 2009), como es el caso del ultrasonido. El ultrasonido se define como la energía generada por ondas sónicas de 20kHz o más vibraciones por segundo (Hoover, 2000). El uso del US combinado con otros factores (termo-sonicación), mejora el resultado del tratamiento a condiciones de 72°C, 20kHz y 350Kpa (Vercet, Burgos, y López-Buesa, 1999). Por lo anterior, desde el punto de vista de conservación de los alimentos, es de interés el Ultrasonido de baja frecuencia, para obtener cambios físicos y químicos deseables en el producto, en intervalos de frecuencia de 20 a 100 kHz (niveles de potencia de 10 a 1000 W/cm²), por medio del fenómeno de cavitación (D. J. McClements, 1995).

Para la realización de este trabajo de grado, se evaluó el efecto del Ultrasonido en tres niveles de frecuencia (0, 25 y 45) kHz, y la maduración en tres niveles de tiempo (24, 48 y 72 horas), con el fin de comprobar si sus propiedades fisicoquímicas (densidad, pH, acidez, color, viscosidad, tiempo de derretimiento, tiempo de caída de la primera gota y punto de congelación) y sensoriales presentaban cambios significativos. Mediante un panel sensorial con consumidores, se calificaron atributos como color, olor, sabor y textura, en las muestras de helados de vainilla elaboradas.

2 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

2.1 Planteamiento y formulación del problema

Los helados poseen una estructura constituida por cristales de hielo, burbujas de aire y pequeñas gotas de grasa junto con azúcares y proteínas de la leche, formando una solución coloidal muy compleja (Clarke, 2004). Debido a esta complejidad, presenta algunos problemas de calidad, tales como la dureza en el helado, la formación de grandes cristales de hielo y las tasas de derretimiento muy altas. Todas estas dependen de la formulación y microestructura del helado.

Estos problemas pueden ser mejorados con una adecuada maduración combinada con el uso de tecnologías alternativas, como el Ultrasonido (Cardús y Vega, 2006). Este último ha sido ampliamente estudiado en la aplicación sobre alimentos, ya que es una energía no contaminante y tiene efectos ventajosos como: mayor eficiencia debido a la reducción en tiempos y temperaturas de proceso, modificación de la estructura y textura en alimentos, eliminación de posibles patógenos, entre otras (Mason, Paniwnyk, y Lorimer, 1996). Por otra parte, la maduración de la premezcla permite a los emulsionantes ser absorbidos en las gotas de grasa y generar la cristalización de ésta, manteniendo por largo tiempo las burbujas de aire (Clarke, 2004). Con la variación de estos dos factores se desea lograr mejoras en los parámetros de calidad, los cuales son importantes para el productor y consumidor de helados.

2.2 Hipótesis

La combinación de tiempos de maduración y US usando altas frecuencias en la mezcla de helado, mejora los parámetros de calidad: pH, acidez, viscosidad, punto de congelación.

El US disminuye el tiempo de maduración de las mezclas de helado, acortando tiempos de proceso.

Existe correlación entre el fenómeno de cavitación a partir de US de alta frecuencia (kHz) y la velocidad de nucleación del helado.

2.3 Justificación

Las empresas que elaboran helados de crema en Colombia, utilizan como ingrediente leche entera pasteurizada. El tiempo que puede permanecer almacenada la leche sin modificación de algunas de sus características es de máximo 24 horas y de la misma manera, el tiempo de maduración de la mezcla es de 24 horas. A partir de ese tiempo, se presentan cambios notables en la acidez de la mezcla lo que hace que el helado obtenido presente defectos de calidad principalmente sensoriales.

Adicionalmente, cuando se elaboran los helados, se consume energía en algunas de las etapas del proceso (almacenamiento refrigerado de ingredientes, mezcla de ingredientes, pasteurización de la mezcla, maduración y congelación), siendo la correspondiente a la congelación la que representa un mayor consumo.

La combinación de US (Cardús y Vega, 2006) con calor (pasteurización) es una tecnología alternativa a los tratamientos térmicos convencionales aplicados en helados, ya que reduce el tiempo total de procesamiento con un mayor rendimiento. En el proceso de congelación, particularmente la nucleación es más rápida (alrededor del 35%) acelerando el proceso de transferencia de calor y masa, lo que supone un menor consumo de energía (Mortazavi y Tabatabaie, 2008). También el US afecta significativamente el tamaño de los glóbulos de grasa, pH, densidad, proteínas. Aumenta la estabilidad y consistencia de la emulsión obtenida al modificar la viscosidad; como consecuencia de la fricción interna entre las moléculas (Demirdoven y Baysal, 2008) (D. McClements, 2004).

Con la evaluación de la calidad del helado que se somete a US cuando se utilizan mayores tiempos de maduración de la mezcla, se pueden mejorar algunos parámetros funcionales, que han adquirido una mayor relevancia en la última década. Se espera igualmente relacionar las expectativas o la percepción del consumidor, con dichos parámetros funcionales.

2.4 Objetivos

2.4.1 General

Evaluar el efecto del pretratamiento con ultrasonido y los tiempos de maduración sobre las propiedades fisicoquímicas, parámetros de calidad y características sensoriales de helados.

2.4.2 Específicos

- Establecer la influencia del ultrasonido y tiempos de maduración sobre la curva de derretimiento y tiempo de caída de primera gota en helados.
- Determinar las propiedades fisicoquímicas y reológicas bajo diferentes niveles de pretratamiento con ultrasonido y tiempos de maduración.
- Determinar sensorialmente la aceptación o preferencia de los helados con tratamiento ultrasónico.

3 MARCO TEÓRICO

3.1 Helado

Según la Norma Técnica Colombiana NTC-1239 (2002) para helados y mezclas para helados, el helado se define como un producto alimenticio, higienizado, obtenido a partir de una emulsión de grasas y proteínas, con adición de otros ingredientes, azúcares y aditivos permitidos sometidos a congelamiento con o sin batido, y en condiciones que garanticen su conservación del producto en estado congelado o parcialmente congelado durante su almacenamiento, transporte y consumo final.

3.1.1 Clasificación

Su clasificación es muy amplia, pero de acuerdo a la Norma Técnica Colombiana (NTC-1239, 2002), los clasifica de acuerdo a su composición e ingredientes, algunos son:

- Helado de crema de leche: Producto preparado a base de leche y grasa procedentes de la leche (grasa butírica) y cuya fuente de grasa y proteína es láctea.
- Helado de leche: Preparado a base de leche y cuya única fuente de grasa y proteína es la láctea.
- Helado de leche con grasa vegetal: Producto cuyas proteínas provienen en forma exclusiva de la leche o sus derivados y parte de su grasa puede ser de origen vegetal.
- Helado de grasa vegetal: Producto cuya única fuente de proteína es la láctea y la fuente de grasa es grasa vegetal o aceites comestibles vegetales.
- Sorbete: Producto preparado con agua potable, leche, productos lácteos, frutas, productos a base de frutas u otras materias primas alimenticias; tiene bajo contenido de grasa y proteínas las cuales pueden ser total o parcialmente de origen lácteo y bajo contenido calórico; en el caso de mezclas para helado se clasifican en mezclas líquidas, concentradas y en polvo.

Teniendo en cuenta la dureza del helado, se puede clasificar de la siguiente manera:

- Helado duro: Son aquellos fabricados y posteriormente congelados hasta el estado sólido a temperaturas menores a -18°C , manteniendo esta dureza durante el almacenamiento y transporte, incluso hasta cuando el consumidor adquiere el producto.
- Helado blando: Son aquellos que poseen una consistencia suave, que no son congelados hasta su estado sólido, sino más bien, hasta un estado característico que genera una máquina procesadora con la que se puede dosificar sobre alguna superficie tal como una galleta, un cono o recipiente, manteniendo la consistencia suave a una temperatura menor a -18°C .

3.1.2 Requisitos fisicoquímicos para el helado

En la Tabla 1, se presentan los requerimientos fisicoquímicos para mezclas de helado que reglamenta la (NTC-1239, 2002).

Tabla 1. Requisitos fisicoquímicos para mezclas de helado.

Clase de helado	De crema de leche	De leche	De leche con grasa vegetal	De yogurt	Con grasa vegetal	No lácteo, de imitación	Sorbete o "Sherbet"	De fruta	De agua o nieve
Requisito									
Grasa total, %m/m, mín	10	4	8	2	6	4	0,5	...	...
Grasa láctea, %m/m, mín	10	4	2	2	...	0	...	...	...
Grasa vegetal %m/m, mín	...	...	*	0	6	4	*	...	...
Sólidos totales, %m/m, mín	36	27	33	25	30	26	20	20	15
Proteína láctea, %m/m, mín (Nx6,38)	3	2,5	2,5	2,5	2,5	0	0,5	0	0
Ensayo de fosfatasa alcalina	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	...	Negativo	...	...
Peso/volumen, g/l, mín	475	475	475	475	475	475	475	475	475
Acidez como ácido láctico, %m/m, mín	...	...	...	0,25	...	...	...	...	...
Si se declara huevo: sólidos de yema de huevo, %m/m, mín	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	...	...

Fuente: NTC 1239, (2002)

Los sólidos no grasos lácteos (SNG) provienen de ingredientes como la leche en polvo o el suero lácteo, que dependiendo de su composición y contenido, confieren al producto cremosidad, resistencia al derretimiento y disminución a la sensación de frío (Gutiérrez, 2011).

La grasa láctea mantiene un perfil de derretimiento adecuado, para darle al helado una textura cremosa y suave, y proporciona el sabor y aroma característico de los lácteos, distinguiéndose como un helado de buena calidad, (Clarke, 2004). El análisis de numerosas muestras de helado mantecado con sabor a vainilla realizado por Timm (1985) sugieren una receta teórica dividida en: Grasa láctea 10,2%, extracto seco desengrasado de leche 11,0%, sacarosa 14,0%, emulsionante 0,3%, Espesante estabilizador 0,3%, Agua 62,6%.

Entre los aditivos que más se emplean en la industria se encuentra el estabilizante emulsionante “*Helacream*” el cual está compuesto de monoestearato de glicerilo (emulsionantes), carragenina, carboximetilcelulosa de sodio (estabilizantes), goma guar, locust bean gum y maltodextrina (espesante). Los emulsionantes son compuestos químicos con una parte de su molécula hidrófoba y

otra hidrófila, y son capaces de repartirse en la superficie de separación de dos fases y disminuyen la tensión superficial, entre la fase grasa - agua (Timm, 1985). También proporcionan incrementos significativos en la viscosidad de la mezcla, por ejemplo: la carboximetil celulosa de sodio y la goma guar se hidratan bien en la maduración; pero componentes como la carragenina, el cual es usado para evitar la separación del suero en el almacenamiento tienen una hidratación lenta. (Goff y Hartel, 2013)

3.2 Proceso de elaboración de helados

El proceso de elaboración de helados, inicia con la mezcla de las materias primas, seguido del pasteurizado o US, homogeneizado, maduración y congelación, como se observa en el diagrama de bloques (Figura 1).

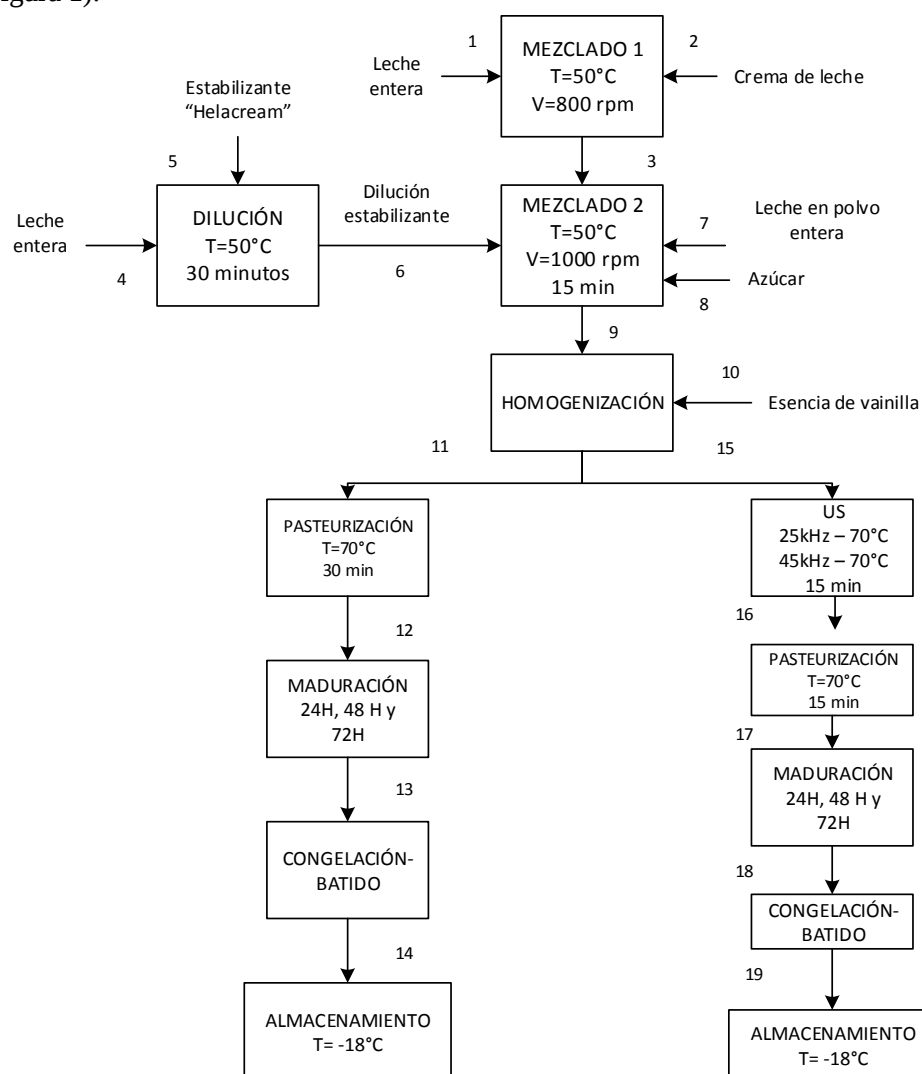


Figura 1. Diagrama de bloques de elaboración de mezclas de helados

Mezclado: Se inicia con las fases líquidas (leche, crema de leche), ya que los componentes sólidos convienen disolverlos o dispersarlos, a continuación (azúcar y leche en polvo). La disolución del estabilizante se realiza en 100mL de leche a temperatura ambiente, y se calienta hasta 50°C agitando constantemente por 30 minutos, y se incorpora a la mezcla 2, la cual es agitada en un rango de (800-1000 rpm) a 50°C para mantener una temperatura por encima de la zona de fusión de la grasa por 15 minutos aproximadamente y finalmente se adiciona la esencia.

Homogenización: Se realiza para fragmentar las partículas grasas, logrando una emulsión estable donde las fuerzas de separación de la grasa, se ven superadas por la fuerza de viscosidad de la mezcla, manteniendo las partículas grasas en suspensión, además de mejorar el sabor de la mezcla. (Timm, 1985)

Pasteurización: Con este proceso térmico se elimina la carga bacteriana hasta niveles inferiores a los legislados, así como fusionar todos los ingredientes componentes de la fórmula (Vicente y Castillo, 2003). Para la mezcla control se realiza un calentamiento en baño maría hasta alcanzar 70°C, agitando a una velocidad de 1000 rpm durante 30 minutos.

US: El baño ultrasónico (Figura 2) se prepara aproximadamente con 6 litros de agua, se regula la calefacción a 70°C, luego se lleva la mezcla homogenizada en vasos de precipitado de vidrio al baño ultrasónico, este proceso se realiza aplicando frecuencias de (25kHz a 70°C) y (45kHz a 70°C) por un tiempo de 15 minutos.



Figura 2. Baño ultrasónico

Choque térmico y maduración: la primera fase consiste en disminuir la temperatura de la mezcla hasta 4°C con ayuda de un agitador y hielo, como se observa en la Figura 3. La segunda fase se realiza entre 4°C y 6°C en refrigeración, esta tiene por objetivo cristalizar la grasa de la mezcla, mejorar la absorción de proteínas y estabilizantes; este procedimiento se realiza para mezclas de 24h, 48h y 72h de maduración, tanto para el control como las mezclas tratadas con US.



Figura 3. Choque térmico mezcla

Congelación: cada mezcla después de cumplido el tiempo de maduración, se lleva al equipo para preparación de helados Princess 282601 (Figura 4), en este proceso se realizan dos operaciones, enfriado y batido, aproximadamente por 50 minutos hasta alcanzar -27°C ; el aire se incorpora en la mezcla mediante el batido.



Figura 4. Equipo de congelación y batido

Congelación profunda o endurecimiento: se disminuye la temperatura del helado a -20°C así el agua forma los cristales de hielo, de dos maneras: mediante propagación y recrystalización, tomando consistencia y dureza. La propagación consiste en el aumento en el tamaño de los cristales de hielo mientras el agua se congela y forma más hielo. La recrystalización es el proceso en que grandes cristales de hielo crecen a expensas de las pequeñas (Clarke, 2004).

Post- endurecimiento: es ideal que las temperaturas de almacenamiento estén entre -28°C y 32°C , con esto el helado adquiere su estado final, incluso a estas temperaturas permanece el 10-15% de agua sin congelar (Timm, 1985).

3.3 Parámetros fisicoquímicos, reológicos y funcionales

En la determinación de las diferentes características cuantitativas, se determinó a la mezcla el color, pH, viscosidad, %acidez, densidad, y al helado el punto de congelación, el tiempo de caída de primera gota, el porcentaje de derretimiento, y el %*Overrun*.

3.3.1 Porcentaje de derretimiento

El porcentaje de derretimiento se realiza con una malla de 56 orificios/cm², con una muestra de 70g (MI) de helado almacenado a -18°C durante un día. Cada 2 minutos se registra el peso de helado derretido (MD). El porcentaje se calcula por medio de la Ecuación 1. (Posada, Sepúlveda, y Restrepo, 2012).

$$\%Derretimiento = \frac{MD}{MI} * 100\%$$

Ecuación 1. Porcentaje de derretimiento

3.3.2 Porcentaje de Overrun

Según Pelan, Watts, Campbell, y Lips (1997) es la estabilidad de las burbujas de aire, las que permiten disminuir la tasa de derretimiento en los helados, y también depende de la adición de mono glicéridos saturados a la mezcla. La incorporación de aire se mide a una mezcla de 10 ml antes y después de ser batida a -20°C, y se emplea la Ecuación 2, para su cálculo.

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

Ecuación 2. %Overrun

La incorporación de aire en los helados depende de su formulación, y su rango presenta el margen de ganancia del producto, si es alto, la ganancia es mayor pero existe el riesgo de que su conservación no sea buena, en cambio si el margen es bajo, el helado será duro y demasiado compacto (Ramírez Navas, Rengifo, y Rubiano, 2015). La cantidad de aire incorporado durante la congelación también afecta la calidad del helado, debido al tamaño de los cristales de hielo, a márgenes inferiores de *overrun* los cristales de hielo crecen más grandes (Arbuckle, 1977).

3.3.3 Influencia del tiempo de maduración en la calidad del helado

Otro factor a estudiar, es el tiempo de maduración y su influencia en la calidad del helado, durante la maduración se observan dos procesos importantes: en primer lugar, los emulsionantes se adsorben a la superficie de las gotas de grasa, remplazando parte de las proteínas de la leche, estabilizando la emulsión bajo condiciones estáticas, pero haciéndola inestable bajo cizallamiento. En segundo lugar, la grasa dentro de las gotitas comienza a cristalizar lentamente permitiendo la nucleación dentro de cada gota; sin este proceso es difícil incorporar y estabilizar las burbujas de aire en la congelación y batido (Clarke, 2004).

En el proceso de batido y congelación, parte de la grasa se extiende por las burbujas de aire y se forman gránulos de glóbulos grasos formando una estructura de cristales de hielo, burbujas de aire, glóbulos grasos y cristales de lactosa, las cuales tienen un tamaño aproximadamente de: Burbujas de aire 60-150 µm, Cristales de hielo ~50 µm, Cristales de Lactosa ~20 µm, Glóbulos grasos <2

μm , Gránulos grasos 5-10 μm . El tamaño de los glóbulos grasos y su cantidad determinan el tamaño de las burbujas de aire y su unión confiere al helado una firmeza residual después de que se han derretido los cristales de hielo (Walstra y Jenness, 1984).

3.4 Características del baño ultrasónico

En el equipo de ultrasonido industrial con conmutación de frecuencia Elmasonic TI-H-15 (ver Figura 5), se pueden ajustar manualmente dos frecuencias (25/45 kHz). El fenómeno de cavitación ocurre a través del tanque, el efecto de sonicación es de baja intensidad y de regular propagación. El equipo posee una capacidad de 12,2 litros, una potencia nominal de 1200 y un peso de 16,0 kg.



Figura 5. Equipo baño ultrasónico

3.4.1 US como pretratamiento en mezcla de helado

El uso de pre tratamiento con US en las mezclas de helado, es un método que puede mejorar las características sensoriales del producto final, con base a la utilización de frecuencias de alta intensidad que son disparadas a la matriz alimentaria. El US se genera por una corriente eléctrica que se transforma mediante transductores, los más usados en líquidos son de magneto rígido y piezoeléctricos (Mason et al., 1996) y su aplicación en alimentos puede darse de tres maneras: 1) aplicación directa al producto, 2) acoplada a un dispositivo, o 3) sumergido en un baño ultrasónico (Chemat, Zill, y Khan, 2011).

El US consiste en emplear frecuencias desde 20kHz a 10MHz, las cuales rompen la pared celular y destruyen las células, por tanto, es ampliamente usado para eliminar patógenos en los alimentos, pero según Mason et al., (1996) “desafortunadamente se requieren frecuencias muy altas de US para alcanzar la completa esterilización, por esto debe emplearse en combinación con otras técnicas para la destrucción total de los microorganismos.”

En un estudio llevado a cabo por Mortazavi y Tabatabaie (2008) se encontró que, usando un tiempo de US de 20 minutos a 20 kHz, incrementó el *overrun* de la mezcla al 84% y se disminuyó cuando se aumentó el tiempo del pulso, la reducción de este a los 60 minutos fue más rápida que a 40 y 20

min de intensidad, esto puede deberse a la acumulación térmica en el helado, la cual es proporcional a la duración acústica. En la evaluación de las características sensoriales, la muestra a 20 minutos tenía el mejor sabor, textura y sensación.

3.5 Pruebas sensoriales afectivas de aceptación

El propósito principal de las pruebas afectivas es evaluar la respuesta personal (de preferencia o aceptación) por parte de consumidores potenciales o actuales de un producto, prototipo de producto o de las características específicas de un producto. Los métodos afectivos pueden ser cualitativos o cuantitativos, los primeros son los más adecuados para identificar tendencias en el comportamiento del consumidor o en la utilización del producto, mientras que los últimos son apropiados para determinar la respuesta de un grupo de consumidores a un conjunto de preguntas relacionadas con la preferencia, la aceptación, atributos sensoriales, entre otros (Meilgaard y Civille, 1999).

En las pruebas hedónicas se establece una escala no estructurada (o hedónica) que consta de los descriptores extremos en los que se puntualiza la característica de agrado y un punto medio que indique indiferencia a la muestra (Carpenter, Lyon, y Hasdell, 2002). Un planteamiento alternativo que puede facilitar el análisis y evitar confusiones es utilizar un único intervalo y transformar la puntuación a un valor numérico midiendo el punto de respuesta indicado por el panelista (Pedrero y Pangborn, 1996). Entre otras escalas comúnmente utilizadas se encuentran la escala “*just about right*” (JAR) y la escala LAM (*labelled affective magnitude*), esta última puede ser una alternativa a la escala hedónica (que es categórica) ya que permite corregir el error de tendencia central (Kemp, Hollowood, y Hort, 2009).

Las muestras se disponen en contenedores idénticos con un código de tres dígitos aleatorios y se pueden presentar todas de una vez o una por una, permitiendo al panelista reevaluar las muestras si es necesario y hacer comparación entre muestras (Carpenter et al., 2002). El tipo de juez requerido es preferiblemente un consumidor habitual del producto, y la conformación del panel se realiza con personas que no conozcan la problemática del estudio y se limiten a entender la metodología de la prueba y responderla. El análisis de los datos es relativamente sencillo cuando se trata de analizar un solo producto ya que las puntuaciones se tabulan y analizan mediante un ANOVA y se puede complementar con la prueba de diferencias mínimas (LSD, por sus siglas en inglés). Por lo general, este tipo de prueba es sencilla de aplicar y permite detectar fácilmente el nivel de agrado de una muestra representativa de la población objetivo (Pedrero y Pangborn, 1996).

4 METODOLOGÍA

Mediante pruebas preliminares, se determinaron los niveles para estudiar las condiciones del proceso y la formulación del helado. Los experimentos se realizaron en el laboratorio de propiedades físicas y fenómenos de transporte de la Escuela de Ingeniería de Alimentos, en la Universidad del Valle (Cali, Colombia).

4.1 Materias primas

La materia prima se adquirió en un supermercado de la localidad (Almacenes Éxito): leche entera (Alquería), leche en polvo (El rodeo), crema de leche (Alquería), azúcar (Manuelita), esencia de vainilla blanca (Levapan), emulsionante y estabilizante (Helacream Frutaroma Ltda.).

4.2 Formulación de mezclas para helados

En la Tabla 2, se presenta la formulación empleada para los diferentes tratamientos térmicos (ver Figura 1).

Tabla 2. Formulación de helados

Ingredientes		Composición mezcla (g)		
		T ₁ = Blanco	T ₂ = US a 25 KHz	T ₃ = US a 45 KHz
Leche líquida	50,5%	505	505	505
Leche en polvo	12%	120	120	120
Crema de leche	23%	235	235	235
Emulsificante	0,5%	5	5	5
Sacarosa	14%	140	140	140
Vainilla	0,5%	5	5	5
Sumatoria	100%	1010	1010	1010

Se elaboraron dos lotes de igual composición, a partir de los cuales se tomaron muestras representativas al azar para determinar el efecto del US y los tiempos de maduración sobre la calidad en las mezclas para helados. La numeración de las unidades que constituyeron la muestra se obtuvo de un listado de números aleatorios de tres cifras. La 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 y fisicoquímico. Una vez se realizó el muestreo, se tomaron muestras por duplicado. También es conveniente tomar grupos de muestras adicionales y guardarlas para fines de arbitraje o para la realización de contra muestras (Curren y King, 2002).

4.3 Diseño experimental

Se realizó un diseño experimental factorial (Tabla 3), para evaluar la interacción entre los niveles de los tratamientos térmicos y los niveles de los tiempos de maduración en algunas propiedades fisicoquímicas de mezclas para helado de vainilla. La combinación de tiempos maduración y US

usando altas frecuencias, en la mezcla de helado influirá en la mejora de los parámetros de calidad. El US disminuye el tiempo de maduración de las mezclas de helado, acortando tiempos de proceso. Las burbujas creadas por la cavitación en el US de alta potencia (kHz) son las responsables del proceso de nucleación en la congelación del helado.

Tabla 3. Diseño experimental factorial

Unidad Experimental	Mezcla para helado de crema con sabor a vainilla	
Variable de respuesta	Para la Mezcla: Acidez, pH, color, viscosidad, densidad.	
	Para el Helado: % <i>overrun</i> , %derretimiento, tiempo de caída de primera gota, y punto de congelación.	
Factores	Frecuencia de US (kHz)	Tiempo de maduración (h)
Niveles	3	3
Total tratamientos	9	
T. Tratamientos por duplicado + muestra control	20	

Hipótesis del modelo:

H_0 : todos los efectos del tratamiento son iguales a cero

H_1 : no todos los efectos del tratamiento son iguales a cero

Modelo matemático

$$\gamma_{ijk} = \mu + \tau_i + \alpha_j + \tau\alpha_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Ecuación 3. Fórmula para el diseño experimental

Donde:

γ_{ijk} : pH, color, viscosidad, densidad, %*overrun*, tiempo de derretimiento, caída de la primera gota y punto de congelación debida al i-ésima frecuencia de US y el i-ésimo tiempo de maduración en la k-ésima mezcla para helados.

μ : Media general

τ_i : Efecto debido a la i-ésima frecuencia de US sobre el pH, color, viscosidad, densidad, %*overrun*, tiempo de derretimiento, caída de la primera gota y punto de congelación.

α_j : Efecto debido al j-ésimo tiempo de maduración sobre pH, color, viscosidad, densidad, %*overrun*, tiempo de derretimiento, caída de la primera gota y punto de congelación.

$\tau\alpha_{ij}$: Efecto debido a la interacción del i-ésimo nivel de frecuencia de US y el j-ésimo nivel de tiempo de maduración sobre la mezcla para helados.

ε_{ijk} : Error experimental.

Supuestos:

- Correcta especificación
- Homogeneidad de varianza
- Independencia
- Normalidad

4.3.1 Determinación de las propiedades fisicoquímicas en la mezcla para helado

4.3.1.1 Densidad

Se registró en una bitácora el valor del volumen del picnómetro que estaba impreso en la pared del frasco (Pv1). Se pesó el picnómetro vacío (Pv2), después se llenó el picnómetro completamente con la mezcla de helado utilizando una probeta y enseguida se colocó 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 pesó el picnómetro lleno de la mezcla (Pv3) como se muestra en la Figura 6, y se registró el dato obtenido. Este procedimiento (Ramírez et al., 2010) se efectuó por duplicado.



Figura 6. Determinación densidad

$$\text{Densidad} = \frac{Pv3(g) - Pv2(g)}{Pv1(ml)}$$

Ecuación 4. Densidad

4.3.1.2 Acidez

Se realizó según la (NTC-4078, 2001). La muestra se llevó hasta una temperatura entre 20°C o 25°C, se pesó 10 g de mezcla un Erlenmeyer de 25 ml., los cuales fueron titulados con una solución de hidróxido de sodio NaOH~0,01N, en presencia del indicador de fenolftaleína como se observa en la Figura 7. La acidez de la leche se expresa como porcentaje de acidez expresada como ácido Láctico:

$$\% \text{ácido láctico} / 100 = \frac{\left(\text{Vol NaOH gastado (ml)} * N \text{ NaOH} \left(\frac{\text{meq}}{\text{mL}} \right) * 90 \right) * 100}{(1000 \text{ meq} * \text{Peso muestra (g)})}$$

Ecuación 5. % Ácido Láctico /100g de muestra

Donde, N NaOH: es la normalidad del hidróxido de sodio.

Para expresar el % de acidez en °D, se divide entre 0.01, así:

$$^{\circ}D = \frac{\% \text{Acido Láctico} / 100g}{0,01}$$

Ecuación 6. Conversión de % Ácido Láctico a °D



Figura 7. Determinación experimental acidez

4.3.1.3 pH

El pH se midió con un potenciómetro, haciendo uso del método oficial de análisis 981,12 (AOAC, 2000). Para esta medición se tomó 10mL de la mezcla después de 24h de maduración, este mismo procedimiento se efectuó para las mezclas a 48 y 72 horas de maduración, las mediciones se registraron en una bitácora de laboratorio. Todas las mediciones se realizaron por duplicado. El equipo de pH, registra 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-4078, 2001).

4.3.1.4 Color

Se empleó el espectrofotómetro marca Hunter Lab ColorFlex (ver Figura 8), con el cual se tomaron medidas por duplicado para todas las muestras con 24, 48 y 72 horas de maduración. Se obtuvo las coordenadas L^* a^* b^* , de las cuales se calcularon los índices que se emplean en la industria láctea para determinar la variación en el color como: variación de luminosidad, de saturación y diferencia de color (ΔE), mediante las ecuaciones (NTC-4078) y (NTC-1239):



Figura 8. Colorímetro ColorFlex de HunterLab

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

Ecuación 7. Diferencia de color

$$\Delta C (\%) = \frac{C_f - C_i}{C_i} * 100$$

Ecuación 8. Variación de la saturación

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

Ecuación 9. Variación de Luminosidad

4.3.1.5 Viscosidad

Para determinar el tipo de flujo, se utilizó un viscosímetro Brookfield RVDV III ultra (ver Figura 9), equipado con un cilindro porta muestra y una aguja # 21, este tipo de aguja permitió evaluar el comportamiento a diferentes velocidades, desde (5-140 rpm). Se empleó el modelo de la ley de potencia (Ecuación 10), ya que este modelo, es el citado en los diferentes estudios para caracterizar reológicamente fluidos pseudoplásticos (Rodríguez, 2006). Esto con el fin de obtener el índice de consistencia (K) y el índice de comportamiento de flujo (n). Los datos se obtuvieron de mezclas con 24, 48 y 72 horas de maduración con sus respectivos duplicados.



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

Ecuación 10. Modelo de Ley de Potencia

Figura 9. Reómetro ultra programable BrookField DV-III

4.3.2 Determinación de las propiedades fisicoquímicas en el helado de vainilla

4.3.2.1 Porcentaje de Overrun

Para determinar la capacidad de retención de aire, se le midió el volumen a la mezcla (madurada por 24h, 48h y 72h) antes y después de ser batida a -20°C, luego se empleó la ecuación 11. Para realizar el respectivo cálculo (existen variantes de esta ecuación en función del volumen o de la densidad). (Ramírez Navas et al., 2015)

$$\% \text{Overrun} = \frac{V_{\text{después del batido}} - V_{\text{antes del batido}}}{V_{\text{antes del batido}}} * 100$$

Ecuación 11. Porcentaje de Overrun

4.3.2.2 Caída de la primera gota y Porcentaje de derretimiento

Se realizó colocando sobre una malla de 56 orificios/cm² una muestra de 70g aproximadamente (MI) de helado de almacenado en temperatura de congelación 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 cada dos minutos el peso de la masa de helado derretida (Lopez y Sepulveda, 2012). Los datos se obtuvieron de helados con 24, 48 y 72

horas de maduración con sus respectivos duplicados. El porcentaje de derretimiento se calcula con la Ecuación 12:

$$\%Derretimiento = \frac{MD}{MI} * 100$$

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.

4.3.2.3 Curvas de congelación

Cada una de las muestras de helado obtenidas luego de 24, 48 y 72 horas de maduración, se sometieron a ultracongelación (Figura 10) hasta alcanzar la temperatura de equilibrio térmico. Las lecturas registradas en el ultracongelador Revco utilizado, se emplearon para obtener el punto de congelación de las muestras a partir de la curva de congelación.



Figura 10. Ultracongelador con equipo de adquisición de datos (Datalogger)

4.4 Pruebas de aceptabilidad sensorial

Para el análisis sensorial se realizaron pruebas orientadas al consumidor de acuerdo a la metodología de la (GTC-165, 2007), para lo cual se utilizó un panel de 70 personas con una edad no mayor a los 30 años, quienes calificaron en una escala hedónica de 1 a 5 los parámetros olor, color, sabor y textura.

Cada evaluador recibió las muestras en vasos plásticos de color blanco, degustando dos tipos de muestra, las cuales se codificaron con números aleatorios de tres dígitos, de forma que la mitad de las veces se presentaron las mezclas sometidas a US 25 kHz y la otra mitad correspondió al tratamiento con US 45 kHz. Las muestras se presentaron a los panelistas de forma aleatoria, quienes diligenciaron el formato de evaluación presentado en el anexo No. 2.

4.5 Análisis estadístico

Para el análisis estadístico de los datos obtenidos de las pruebas fisicoquímicas, se empleó software especializado MINITAB (versión 17.3) y el programa Microsoft Excel® (versión 2016). El efecto en las propiedades fisicoquímicas del helado se analizó por medio de análisis de varianza (ANOVA) con pruebas comparativas (DSH) como la de Tukey ($\alpha= 0,05$).

5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Propiedades fisicoquímicas de la mezcla para helado sometida a US

5.1.1 Densidad

En la Tabla 4 se presentan los resultados de densidad (promedio y desviación estándar) para mezclas de helado. Se observa que el incremento de la densidad de las muestras tratadas con US no es significativo ($p < 0,05$) al compararlo con la muestra control, manteniendo un valor entre 1,1395 g/mL – 1,1459 g/mL para el control, 1,1370 g/mL-1,1401g/mL con el tratamiento a 25kHz y 1,1395g/mL-1,1425 g/mL.

Tabla 4. Resultados parámetro densidad para mezclas de helado

Densidad	24 horas (X±DE)	48 horas (X±DE)	72 horas (X±DE)
Blanco	1,1395 ± 8E-4	1,1459 ± 1E-4	1,1402 ± 4E-3
25 Hertz US	1,1370 ± 4E-3	1,1400 ± 1E-3	1,1401 ± 8E-4
45 Hertz US	1,1403 ± 7E-5	1,1425 ± 7E-3	1,1393 ± 2E-3

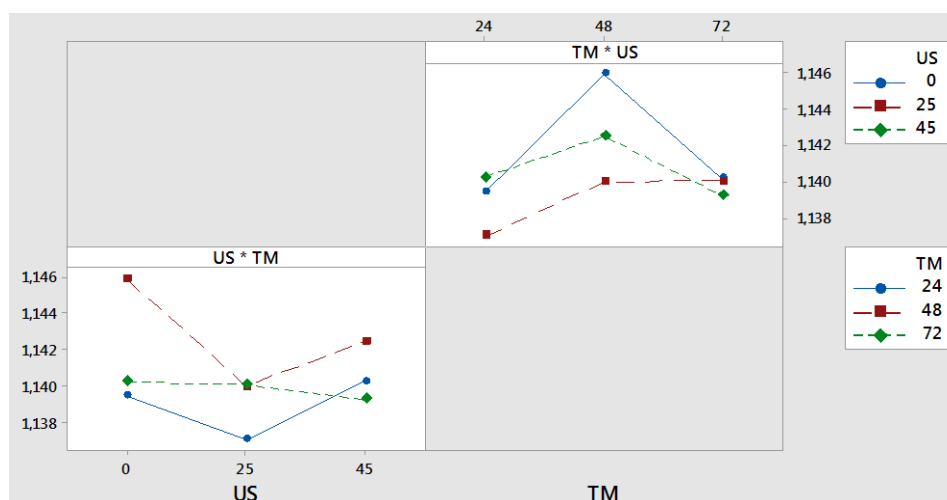


Figura 11. Interacción para densidad media

Al aplicar la prueba de Tukey no se encontraron diferencias significativas en las medias para la densidad ($P < 0,05$) entre los tratamientos con US a 0, 25 y 45kHz, ni para tiempos de maduración 24, 48 y 72h. Obteniendo un valor F de interacción igual a 0,63. Se verificó en la tabla F de Snedecor el valor para F teórico igual a 3,63; lo cual indica que no hay interacción entre los factores, como se observa en la Figura 11.

Según Goff y Hartel (2013) este parámetro aumenta su valor con elevados niveles de sólidos de leche no grasos, azúcares y estabilizantes; y disminuye con altas cantidades de grasa, debido a la baja densidad de esta ($\sim 0,9\text{g/mL}$). Este efecto se puede deber a las ondas de US que generan gradientes de presión y temperatura instantáneos en el interior de la célula debido a la cavitación. El

gradiente de temperatura, que puede llegar hasta los 5500°C, forma una microevaporación del agua contenida en la leche debido a la liberación de los iones de hidrógeno o sonólisis (Porras, González, Castellanos, Ballesteros, y Pacheco, 2011; Povey y Mason, 1998) la propagación de las ondas se ven afectadas, entre otros, por la densidad, la temperatura y la composición del fluido; debido al coeficiente de atenuación con que la onda penetra el material.

5.1.2 pH

El pH de la mezcla aumentó hacia la alcalinidad como se observa en la Tabla 5. En los tiempos de maduración, sin sobrepasar los rangos que normalmente tienen las mezclas para helados de vainilla (pH 6-7)(Chacón Villalobos, Pineda Castro, y Jiménez Goebel, 2016).

Tabla 5. Resultados del parámetro de pH en mezclas de helado

pH	24 h (X±DE)	48 h (X±DE)	72 h (X±DE)
Blanco	6,34 ± 0,01 ^b	6,35 ± 0,00 ^a	6,38 ± 0,00 ^a
25kHz	6,27 ± 0,00 ^c	6,29 ± 0,01 ^c	6,32 ± 0,00 ^c
45kHz	6,30 ± 0,00 ^a	6,34 ± 0,00 ^b	6,35 ± 0,00 ^b

^{a, b, c} Promedios con similar superíndice en columna no difieren significativamente (P < 0,05)

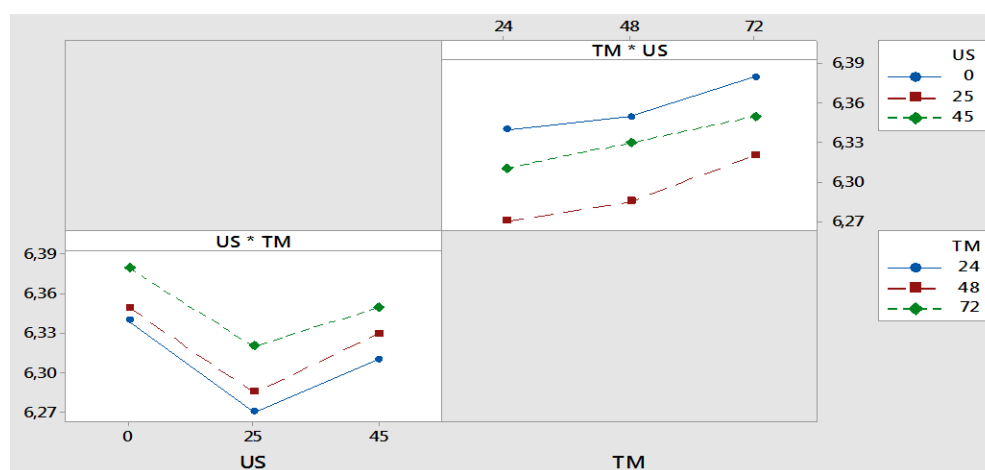


Figura 12. Interacción para pH medio

Se observa el aumento del pH en las nueve muestras, tanto en los tiempos de maduración como en el US. Obteniendo un valor para el control a TM 24h de 6,34, a 25kHz un pH de 6,27 y a 45kHz un pH de 6,3. A las 48h de refrigeración a 4°C se observan incrementos en el pH a valores de 6,35 para muestra control, 6,29 para US 25kHz y 6,34 para US 45kHz, a las 72h se incrementa la muestra control a 6,38 mientras que a 48h, US 25kHz alcanza un pH de 6,32 y de 6,35 para el tratamiento a 45kHz.

Como se observa en la Figura 12, no existe interacción entre los tratamientos y los tiempos de maduración, con un valor F de interacción de 1,40. Se verificó en las tablas F de Snedecor el valor F teórico (3,3); lo cual evidencia que no hay interacción entre los factores. Aplicando la prueba de

Tukey (DSH), se encontraron diferencia entre los tratamientos de US y no se encontró diferencias significativas entre los tiempos de maduración.

Teniendo en cuenta, que la cavitación genera el crecimiento y colapso de burbujas en el interior de los líquidos (Mason et al., 1996), dicho fenómeno genera un proceso de microevaporación en los líquidos tratados, con lo cual se libera el ión hidrógeno del agua del mismo, lo que conllevaría al incremento del pH; efecto más visible a mayor tiempo y temperatura de exposición (D. J. McClements, 1995; Porras et al., 2011). El aumento de los valores del pH, podría deberse a la liberación de sustancias volátiles aromáticas durante la cavitación. (Gélvez, Fuentes, y Acevedo, 2016).

5.1.3 Determinación de la Acidez titulable

En la Tabla 6, se resume la acidez titulable para las mezclas de helado. El % de acidez aumentó en los tres tiempos de maduración. Estos altos niveles de acidez (escala Dornic) se deben a que la acidez titulable es proporcional a la cantidad de sólidos no grasos de la leche SNG, y es causada por proteínas, sales minerales (fosfatos y citratos) y CO₂ disuelto. (Goff y Hartel, 2013)

Tabla 6. Acidez promedio en grados Dornic para mezclas de helado tratadas con US y TM

Acidez z	24 h (X±DE)		48 h (X±DE)		72 h (X±DE)	
Blanco	28,75 ± 0,68	^b ‡	30,28 ± 0,53	^{a, b} †	28,57 ± 0,01	^a ‡
25kHz	30,65 ± 1,03	^a ‡	30,67 ± 0,55	^b ‡	33,31 ± 0,53	^b †
45kHz	30,00 ± 0,60	^{a, b} ‡	31,51 ± 0,54	^a †	29,47 ± 0,46	^c ‡

^{a, b, c} Promedios con similar superíndice en columna no difieren significativamente (P < 0,05)

‡, † Promedios con similar superíndice en fila no difieren significativamente (P < 0,05)

Se puede evidenciar las constantes variaciones en los grados Dornic en los tratamientos para las mezclas de helado sabor vainilla, con un valor para la muestra control de 28,75 ± 0,68 °D a las 24h de maduración, 30,65±1,03°D en la mezcla tratada con US a 25kHz y 30,00±0,60°D a 45kHz. Pasadas las 48h de maduración, estos valores cambiaron a 30,28±0,53°D en la muestra control, 30,67±0,55°D a 25kHz y 31,51±0,54°D a 45kHz. Finalmente, la mezcla madurada a 72h aumentó para US 25kHz a 33,31±0,53°D y 45kHz con un valor de 29,47±0,46°D y el control 28,57±0,01°D.

Como se observa en la Figura 13, se observa interacción entre los tiempos de maduración y los tratamientos US, con un valor F de interacción de 9,76; se verificó en las tablas F de Snedecor el valor F_{teórico} (3,63); lo cual comprueba que hay interacción entre los factores. Aplicando la prueba de Tukey (DSH), se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos con US y no se encontró diferencias entre los tiempos de maduración.

En la mezcla para helado sin tratamiento, en las primeras 48 horas aumentó sus °Dornic, produciendo una variación de la acidez y el pH de la misma, lo cual se atribuye a las variaciones presentadas en la temperatura y tiempo de almacenamiento (McCarthy O.J., 2009). En las mezclas

con tratamiento ultrasónico de alta intensidad, el aumento de la acidez, pudo estar asociado al fenómeno de cavitación, al tiempo requerido para formar la burbuja y a la degradación del oxígeno disuelto (Vega Fidalgo y Zorita Téllez, 2005)

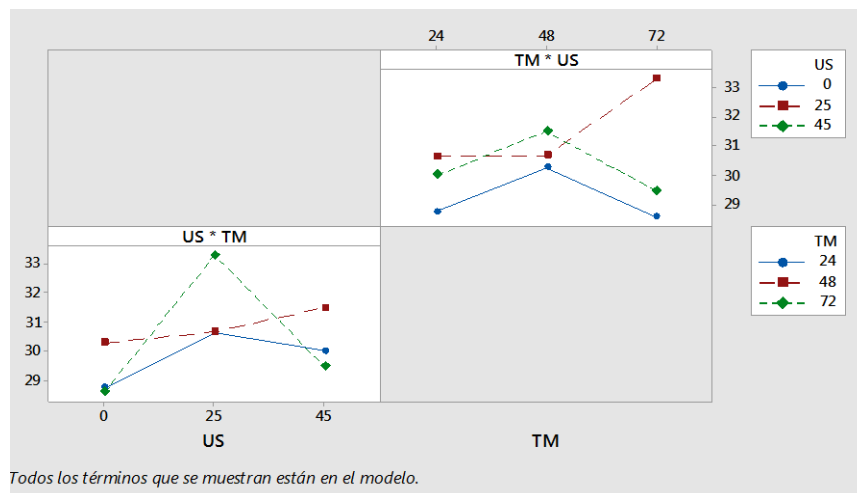


Figura 13. Interacción acidez media

Un incremento en la acidez puede ser debido a que en la maduración debe mantenerse la temperatura monitoreada durante el proceso, para evitar contaminación microbiana; ya que las bacterias utilizan como fuente de energía la lactosa o azúcar de la leche, y liberan ácido láctico como producto de desecho (Campo y Villada, 2014)

5.1.4 Viscosidad

Graficando los resultados obtenidos del esfuerzo cortante σ (dinas/cm²) contra la velocidad de corte dv/dy (s⁻¹), y aplicando las ecuaciones 13 y 14, se determinó los valores de k y n para cada una de las mezclas para helado, que indican un comportamiento pseudoplástico ($n < 1$).

$$\log \sigma = \left(\frac{dv}{dy} \right) + \log k$$

Ecuación 13. Esfuerzo cortante

Donde la pendiente es n y el intercepto (b) es $\log k$, por tanto:

$$k = 10^b$$

Ecuación 14. Índice de consistencia

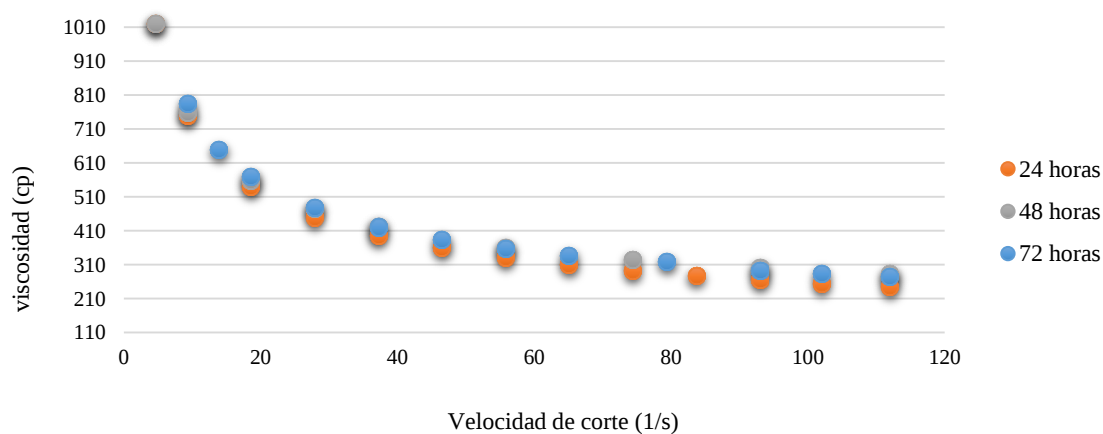
En la Tabla 7 se reportan los resultados del índice de comportamiento (n) e índice de consistencia (k) utilizando el modelo de la ley de potencias para cada tratamiento.

Tabla 7. Índices de comportamiento y consistencia para mezclas de helado

Tratamiento	n	k
Blanco 24h	0,550	2,028
Blanco 48h	0,591	1,885
Blanco 72h	0,569	2,033
US 25kHz 24h	0,527	6,369
US 25kHz 48h	0,536	6,524
US 25kHz 72h	0,409	11,254
US 45kHz 24h	0,602	1,693
US 45kHz 48h	0,587	1,808
US 45kHz 72h	0,521	2,014

De acuerdo a las Figuras 14-16, Las mezclas para helados analizadas con y sin tratamiento térmico alternativo muestran un comportamiento pseudoplástico, debido a que la viscosidad aparente decrece a medida que incrementa la velocidad de cizalla. Hay adelgazamiento en la mezcla a mayores velocidades de corte (Clarke, 2004). Además, se observa que al aumentar el tiempo de maduración de las mezclas existe un incremento en el índice de consistencia (K), por consiguiente, se refleja en el aumento de la viscosidad. Un poco más constante en la muestra control, mientras que en los tratamientos con US por su efecto homogenizador, se aumentó el valor (K), por lo cual, se incrementa la viscosidad factores que influyen en la consistencia del helado.

En la Figura 15, se evidencia que el tratamiento que presentó mayores valores en el parámetro de viscosidad fue US a 25 KHz a 72 horas. La viscosidad aumentó a medida que se incrementó el tiempo de maduración en los tratamientos blanco y US a 25 KHz; debido a que durante el proceso de maduración, la mezcla se enfría y los mono-diglicéridos comienzan a cristalizarse, lo que los hace más hidrofóbicos, absorbiéndose más fuertemente sobre las gotas de grasa (Clarke, 2004).

**Figura 14. Viscosidad de la mezcla sin US (Blanco) a una velocidad de corte 18,6 Hertz**

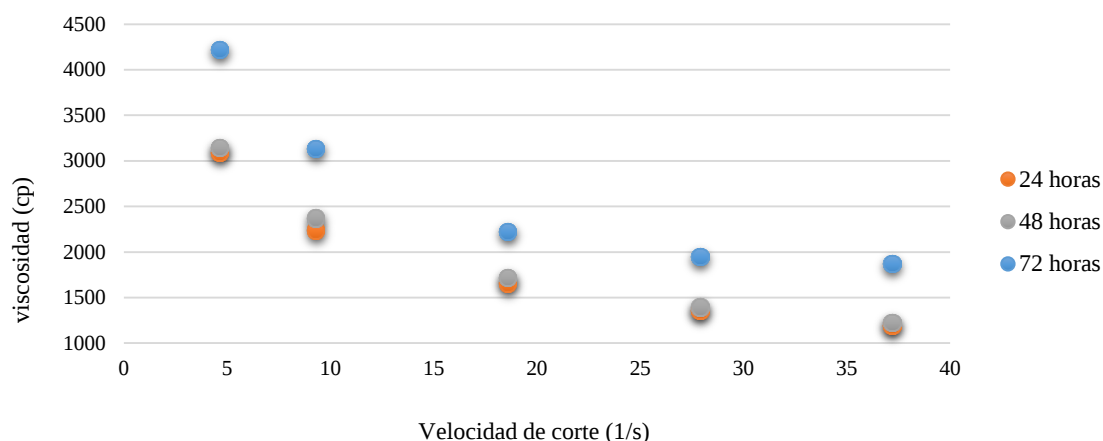


Figura 15. Viscosidad de la mezcla US a 25 KHz a una velocidad de corte 18,6 Hertz

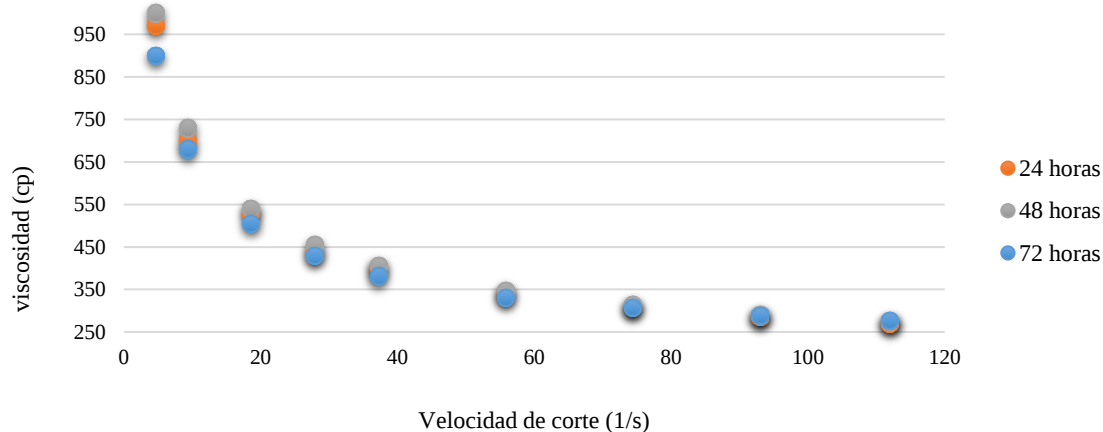


Figura 16. Viscosidad de la mezcla US a 45 KHz a una velocidad de corte 18,6 Hertz

El US actúa como tratamiento homogenizador causando que la leche aumente su viscosidad; probablemente por la disminución de atracción de los glóbulos grasos, como resultado de la destrucción de las aglutininas. Además, las altas temperaturas que provoca el US causan un incremento en la viscosidad de la leche debido a la desnaturalización de las β -lactoglobulinas y a su posterior asociación con las micelas de caseína; la cavitación produce ruptura de los glóbulos de grasa logrando una distribución de tamaño más fina mejorando la textura del producto (Campo y Villada, 2014).

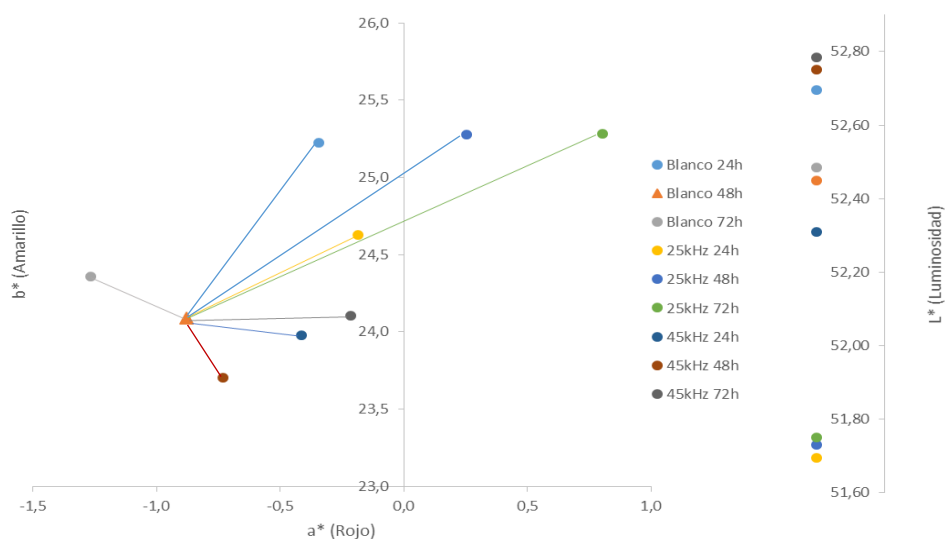
5.1.5 Color

En la Tabla 8, se presentan los valores de la variación de la luminosidad, la variación de verde a rojo, la variación de amarillo a azul, la saturación del amarillo, la variación de la saturación, y la diferencia de color.

Tabla 8. Porcentaje de variación de la luminosidad (ΔL), saturación (ΔC), y color (ΔE) en mezclas para helados

Color	Tiempo maduración (h)	Promedio ΔL (%)	Promedio ΔC (%)	Diferencia de color ΔE
Blanco	48	$-0,46 \pm 0,12$	$-4,44 \pm 0,31$	$1,28 \pm 0,1$
	72	$-0,41 \pm 0,26$	$-3,29 \pm 2,19$	$1,30 \pm 0,57$
US 25kHz	48	$0,07 \pm 0,45$	$2,64 \pm 0,23$	$0,81 \pm 0,01$
	72	$0,13 \pm 0,10$	$2,71 \pm 1,12$	$1,19 \pm 0,33$
US 45kHz	48	$0,84 \pm 0,46$	$-0,72 \pm 0,37$	$0,49 \pm 0,19$
	72	$0,91 \pm 0,64$	$1,91 \pm 1,73$	$0,71 \pm 0,48$

La mezcla control tuvo una diferencia de color del 1,30% durante las 72 horas de maduración, mientras que la mezcla US a 25 KHz obtuvo un 1,19%, y con aplicación US a 45 KHz resulto más efectiva en la retención del color original de la mezcla, con una diferencia de color del 0,71% en el mismo tiempo de maduración.

**Figura 17. Parámetros de color en mezclas para helado tratadas con US y TM**

En la Figura 17, la luminosidad es indicada por L^* ; el cual clasifica la serie de grises que va del negro al blanco en una escala de 0 a 100. Las coordenadas a^* y b^* ; $+a^*$ (rojo), $-a^*$ (verde), $+b^*$ (amarillo), $-b^*$ (azul) y se relacionan con la cromaticidad y tonalidad. (Konica Minolta, 2007)

En la Figura 17, se observa que el parámetro L^* para la mezcla control, la mezcla US a 25 kHz y la mezcla US a 45 kHz, no presenta diferencias significativas ($F_{cal} > F$), indicando que la luminosidad del helado de las tres mezclas tiende a ser clara (blanco). El parámetro a^* en la mezcla control tiende a un color poco amarillo (-1.27, 24.36), lo que sucede también en el resto de muestras. La mezcla US a 25 kHz, tiende a un color rojizo y la mezcla US a 45 kHz, tiende a un color poco amarillo (-0.22, 24.11) a medida que transcurre el tiempo de maduración. El parámetro b^* , es el que más evidencia cambio en las tres mezclas de helado, con tendencia al amarillo.

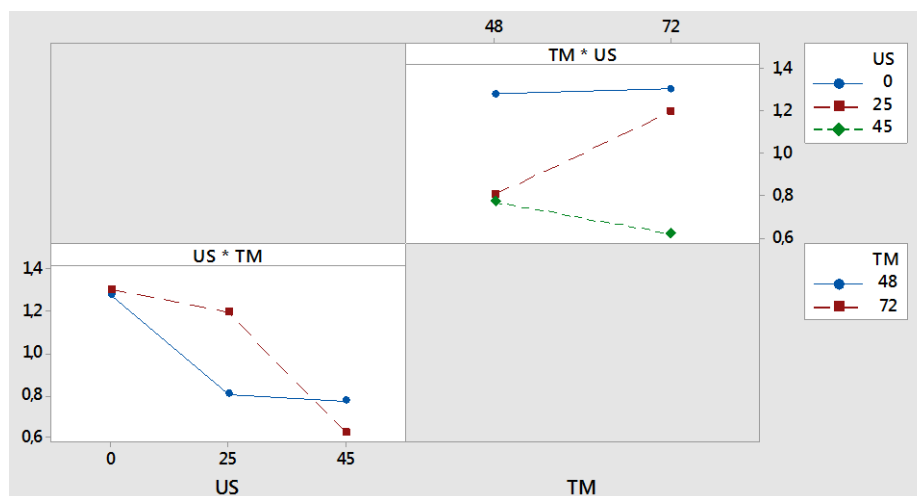


Figura 18. Interacción del color en las mezclas

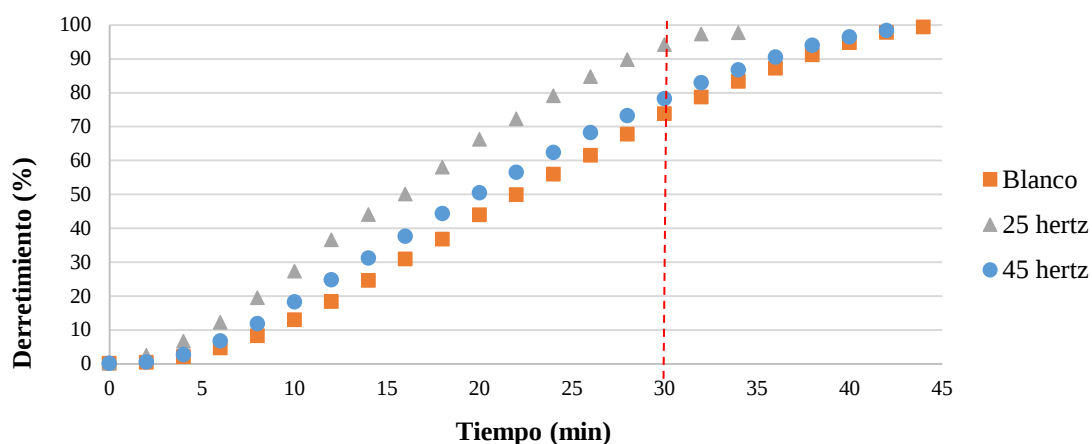
Se obtuvo un valor F de 0,67 para la variación del color, el cual es menor al f teórico, por tanto, no existe interacción entre los tratamientos (ver Figura 18). Con la prueba (DSH) de Tukey se obtuvo diferencias entre las medias de los tratamientos; entre los tiempos de maduración no son significativamente diferentes las variaciones del color.

5.2 Propiedades físicas del helado

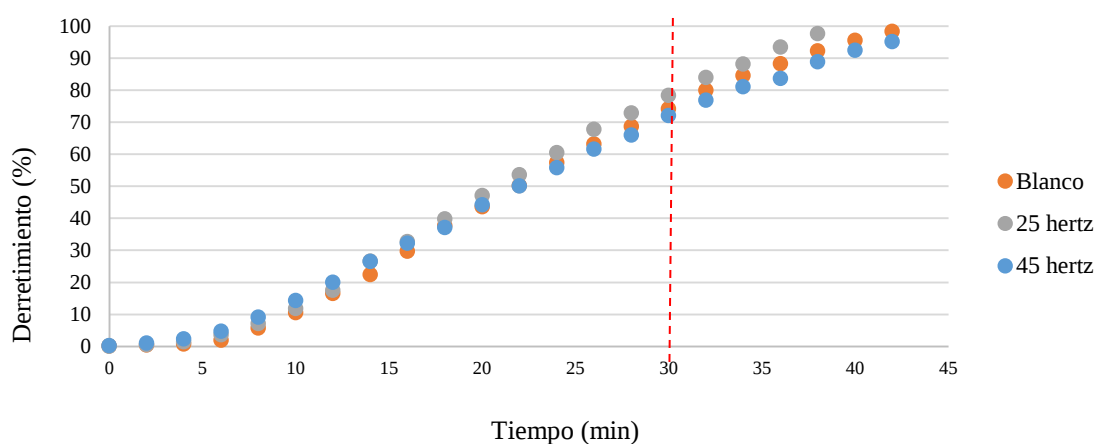
5.2.1 Caída de primera gota y %derretimiento

En la Figura 19, se presentan los porcentajes de derretimiento de las tres mezclas de helado para cada tiempo de maduración (literales a, b y c). Se observa una tendencia a medida que transcurre el tiempo de maduración, disminuyéndose el porcentaje de derretimiento en las mezclas con US y aumentándose en el blanco.

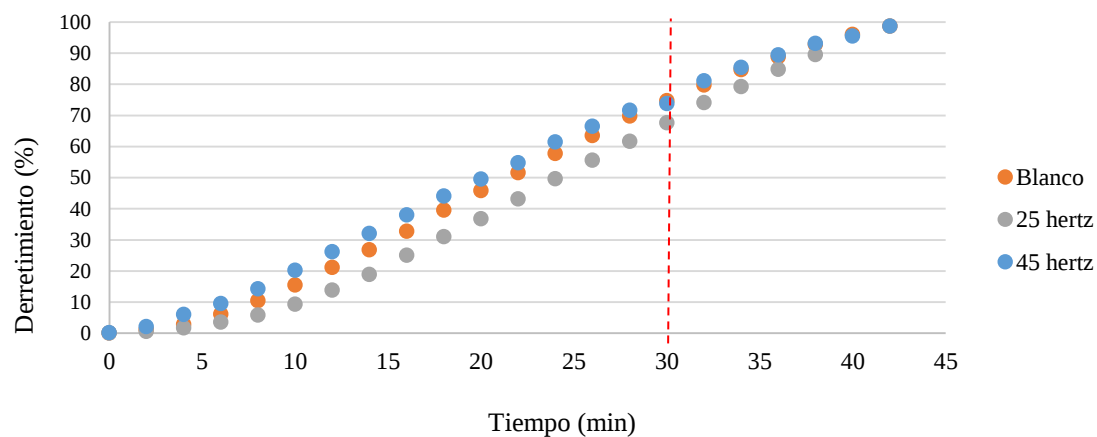
De acuerdo a la Figura 19, subíndice (a) con 24 horas de maduración, con un parámetro de tiempo establecido de 30 min (tiempo que se considera el adecuado para consumo del helado), el helado Blanco (sin US), presentó un menor porcentaje de derretimiento con el 73,33%; que corresponde al mayor tiempo de caída de la primera gota (9 min), seguido del helado US a 45 KHz; con un tiempo de 8 min 26 s y finalmente el helado US a 25 KHz. Respecto al subíndice (b), con maduración de 48 horas, el helado US a 45 KHz, tuvo el menor porcentaje de derretimiento con el 72%; de igual manera tuvo el mayor tiempo de caída de la primera gota (4 min 26 s), seguido del Blanco con 4 min y, por último, el helado US a 25 KHz. Finalmente, en el subíndice (c), con 48 horas de maduración, el helado US a 25 KHz tuvo el menor porcentaje de derretimiento con el 67,60%; con un tiempo de caída de la primera gota de 6 min, seguido por el helado US a 45 KHz; con 5 min 57s, y por último el Blanco.



a. Porcentaje de derretimiento con tiempo de maduración de 24 horas



b. Porcentaje de derretimiento con tiempo de maduración de 48 horas



c. Porcentaje de derretimiento con tiempo de maduración de 72 horas

Figura 19. Resultados del % de derretimiento para mezclas de helados

Teniendo en cuenta el concepto de la maduración, con ella se logra dar estabilidad a las burbujas de aire que junto con el US que actúa como homogenizador, provocando la disminución de la tasa de derretimiento; dicha estabilidad la gana con el tiempo de maduración, estabilizando la emulsión bajo condiciones estáticas, por lo anterior, las mezclas con US son las más efectivas en retención del porcentaje de derretimiento, siendo la mezcla US a 45 KHz la mejor opción para un tiempo de maduración de 48 horas y la mezcla US a 25KHz para un tiempo de maduración de 72 horas. No obstante, el resultado del derretimiento del Blanco en las primeras 24h de maduración está relacionado con la incorporación de aire en la mezcla, ya que el aire actúa como un aislante térmico.

5.2.2 Punto de congelación

En la Figura 20, se presentan las curvas experimentales de congelación de las nueve muestras de helado (30 min, -50°C), en ellas se observa el efecto del tratamiento con ultrasonido (0, 25kHz y 45kHz) y tiempos de maduración (24h, 48h y 72h) sobre el punto de congelación.

Se evidencia que la maduración es otro factor que afecta el punto de congelación. Para las curvas de congelación de mezclas con 24 h de maduración, la temperatura de congelación para la muestra control fue de $-6,72^{\circ}\text{C}$, para US a 25kHz ($-6,33^{\circ}\text{C}$) y 45 kHz ($-5,67^{\circ}\text{C}$). La temperatura de congelación a las 48 h de maduración para la muestra control a $-5,04^{\circ}\text{C}$, a 25kHz ($-6,05^{\circ}\text{C}$) y 45kHz ($-5,88^{\circ}\text{C}$), y para las muestras maduras a 72 h, se obtuvo una temperatura para la muestra control de $-5,14^{\circ}\text{C}$, 25kHz ($-5,99^{\circ}\text{C}$) y 45kHz ($-6,52^{\circ}\text{C}$).

Para las mezclas maduras de 24 h con tratamiento de US a 25kHz y 45kHz, se observa un incremento en la velocidad de congelación y una disminución en el punto de congelación, esto es debido al aumento en la nucleación de los cristales de hielo que son mejorados gracias al US; porque este incrementa el coeficiente convectivo de transferencia de calor (Lima y Sastry, 1990) promoviendo el proceso de transferencia de masa reduciendo el tiempo de congelación. (Mortazavi y Tabatabaie, 2008).

Los resultados indican que las burbujas de cavitación producidas por la onda ultrasónica son responsables del proceso de nucleación, formando cristales más pequeños y estas burbujas benefician al proceso de congelación reduciendo la resistencia a la transferencia de calor en la interfase hielo/líquido (Zheng y Sun, 2005).

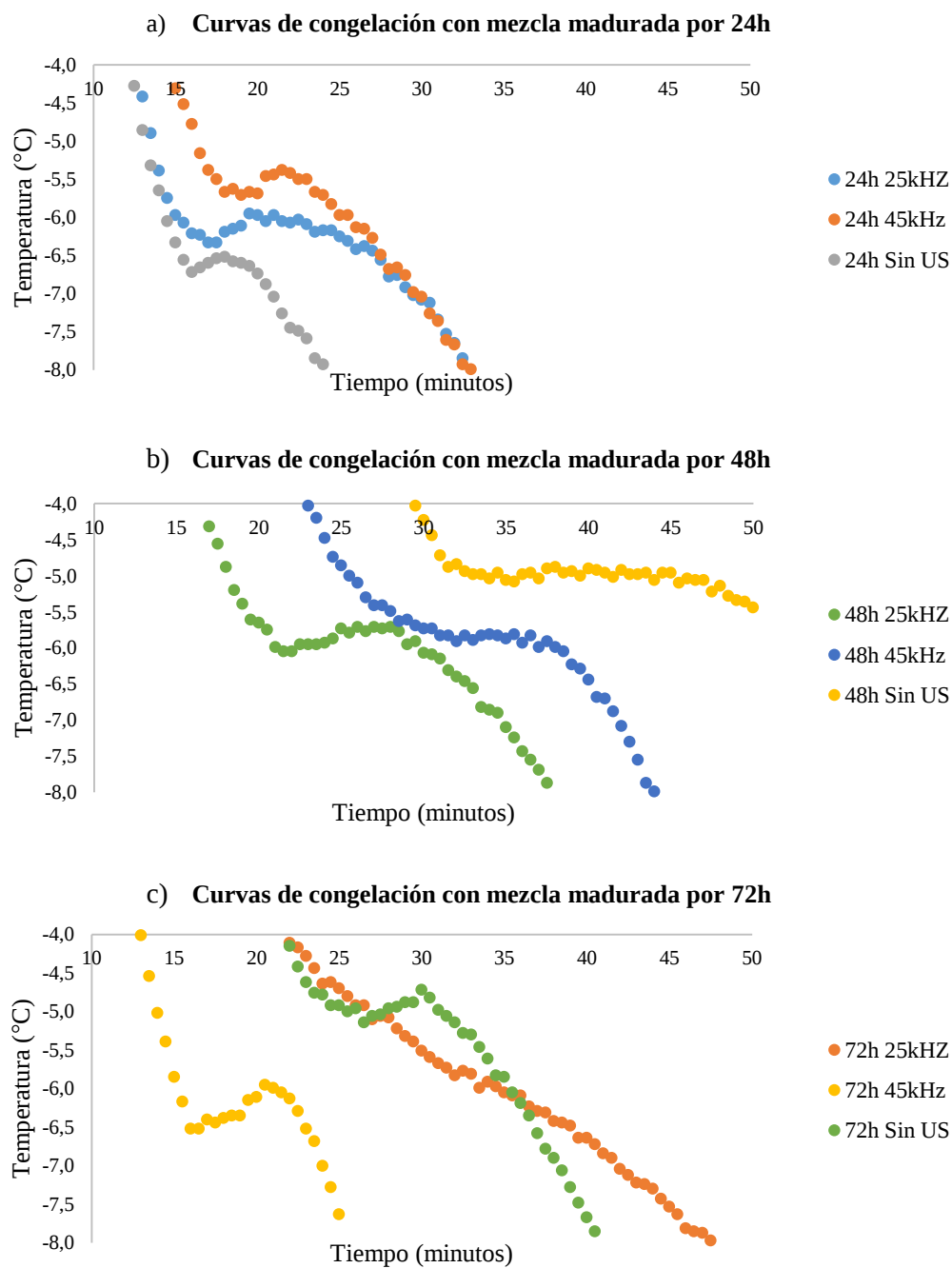


Figura 20. Curvas experimentales de congelación

5.2.3 Capacidad de retención de aire (*overrun*)

En la Figura 21, se muestran los % de Overrun respecto al tiempo de maduración.

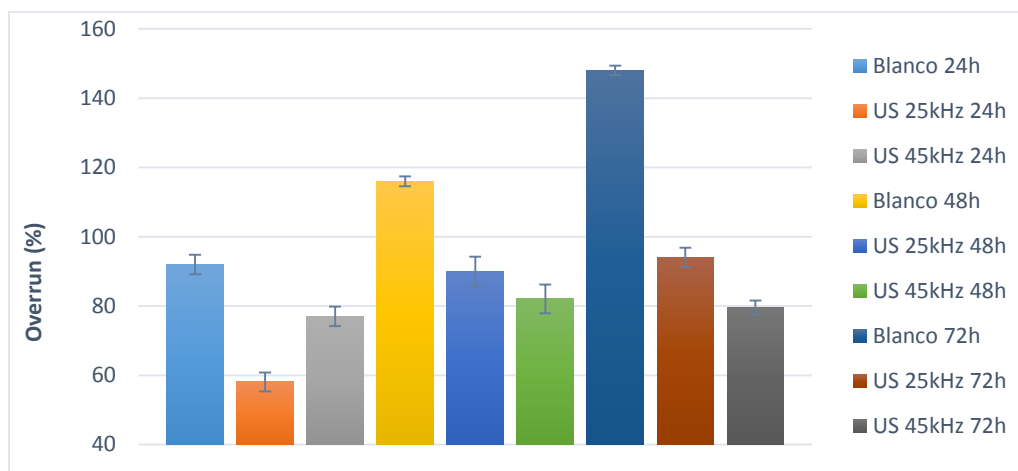


Figura 21. Porcentaje de overrun en helado tratado con ultrasonido y tiempo de maduración

Se mejoró la capacidad de retención de aire con los tiempos de maduración en la muestra control, obteniendo un valor de *overrun* del 92% para las 24 h, 116% para 48 h y 148% para 72 h de maduración. No obstante, la muestra con US de 25kHz incorporó para el TM de 24 h un valor del 58%, para 48 h 90%, y a 72 h 94% de aire. En los tiempos de maduración el US a 45kHz tuvo poca variación del *overrun*; en 24 h de maduración el US a 45kHz obtuvo 77%, a 48 h un 82% y a 72 h un 79% de *Overrun*.

El aumento del %*overrun* en las mezclas con US puede estar asociado a mayor solubilidad de k-caseínas al aplicar US tal como lo han explicado (Shanmugam , Chandrapala, y Ashokkumar, 2012). El efecto del US en la operación de *overrun* para una matriz de helado puede generar incrementos hasta del 1,22 % con respecto a su base líquida, infiriendo así que la aplicación de US en este tipo de matrices proporciona una mayor coalescencia de las fases mejorando la transferencia de materia (aire a la base líquida) en el proceso de aireado en la fabricación de helados. Así mismo, es importante el control de temperatura en la matriz, ya que esta se ve afectada directamente en la misma al aumentar la amplitud de onda del tratamiento lo cual puede afectar las propiedades físicas y organolépticas del producto final (Lombana, Ramos, Serna, y Sotelo, 2014) por lo que se evidencia el menor % de *overrun* en la mezcla US a 45 kHz .

5.3 Evaluación sensorial

Con los datos obtenidos de las pruebas realizadas en el análisis sensorial de seis lotes de helado, se determinaron los porcentajes de preferencia, y se aplicó la prueba de Friedman y la prueba de los rangos con signo de Wilcoxon. En las tablas que se presentan a continuación se resume la información obtenida.

5.3.1 Análisis de preferencia

En la Figura 22 se presenta el porcentaje de panelistas que prefirieron cada una de las muestras. En ella se observa que la muestra US a 45 kHz (con 24h de maduración) tuvo mayor grado de preferencia (82,1%).

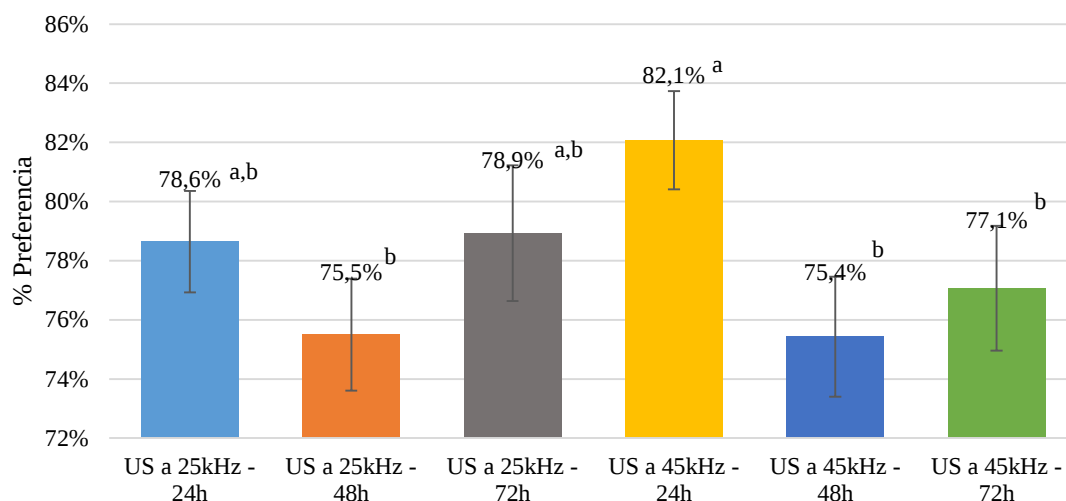


Figura 22. Diferencias de preferencias entre muestras de helado tratado con ultrasonido y tiempo de maduración

Diferentes letras superíndices (a-c) muestran diferencias significativas ($P < 0,05$)

5.4 Análisis de aceptación

El grado de aceptación de los seis tipos de helados evaluadas sensorialmente en cuanto a olor, color, sabor y textura, se sintetizan en los rangos promedios determinados a través de la prueba de Friedman, los cuales se muestran en la Tabla 9.

Tabla 9. Prueba de Friedman para los atributos sensoriales olor, color, sabor y textura de seis helados evaluados sensorialmente

Código	Rango promedio			
	Textura	Sabor	Color	Olor
US a 25kHz -24h	3,96	4,04	3,06	3,10
US a 25kHz -48h	3,19	2,96	3,54	3,38
US a 25kHz -72h	3,19	3,95	3,34	4,04
US a 45kHz -24h	4,49	3,29	3,81	3,96
US a 45kHz -48h	3,00	3,51	3,48	2,94
US a 45kHz -72h	3,18	3,24	3,77	3,59
$F_{(3)}$	43,034	26,789	11,025	28,691
p	3,64,E-08	6,27,E-05	5,09,E-02	2,67,E-05

En la Tabla 9 se observa que la muestra US a 45kHz -24h obtuvo los mayores rangos en textura y color, la muestra US a 25kHz -24h en sabor y la muestra US a 25kHz -72h en olor. Los atributos

textura, sabor y olor difieren significativas en los resultados del análisis sensorial. Mientras que los resultados de color no difieren significativamente, esto se aprecia mejor en la Figura 23.

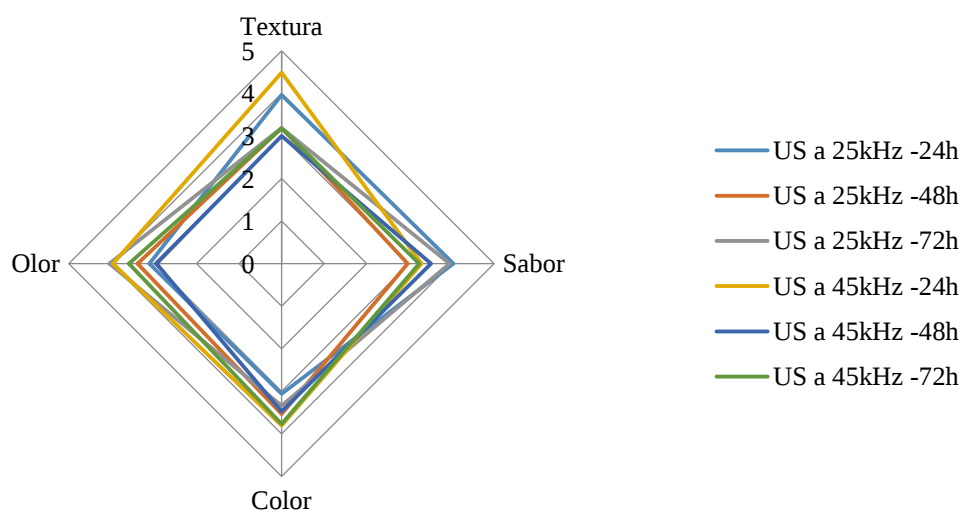


Figura 23. Perfil sensorial de helados tratados con ultrasonido y tiempo de maduración

Un análisis más específico de los atributos analizados que presentan diferencias significativas, esto es textura ($p=3,64, E-08 < 0,05$), sabor ($p=6,27, E-05 < 0,05$) y olor ($p=2,67, E-05 < 0,05$), permite determinar cuál de ellas presenta mejores atributos según la evaluación sensorial de los consumidores. Para este fin se realizó la prueba de Wilcoxon, el resultado de ésta se presenta en la Tabla 10.

Tabla 10. Prueba de Wilcoxon para los atributos sensoriales olor, color, sabor y textura de cuatro helados evaluadas sensorialmente

Código	Textura		Sabor		Color		Olor	
	Z	p	Z	p	Z	p	Z	p
25KHZ_48H - 25KHZ_24H	-2,438 ^b	1,48,E-02	-4,098 ^b	4,16,E-05	-2,085 ^c	3,71,E-02	-,727 ^c	4,67,E-01
25KHZ_72H - 25KHZ_24H	-2,603 ^b	9,23,E-03	-,279 ^b	7,80,E-01	-,843 ^c	3,99,E-01	-3,116 ^c	1,83,E-03
45KHZ_24H - 25KHZ_24H	-2,223 ^c	2,62,E-02	-2,598 ^b	9,37,E-03	-2,181 ^c	2,92,E-02	-2,839 ^c	4,53,E-03
45KHZ_48H - 25KHZ_24H	-3,036 ^b	2,40,E-03	-2,036 ^b	4,18,E-02	-,881 ^c	3,78,E-01	-,397 ^b	6,92,E-01
45KHZ_72H - 25KHZ_24H	-2,412 ^b	1,58,E-02	-2,883 ^b	3,93,E-03	-2,234 ^c	2,55,E-02	-1,438 ^c	1,50,E-01
25KHZ_72H - 25KHZ_48H	-,402 ^c	6,88,E-01	-3,620 ^c	2,95,E-04	-1,313 ^b	1,89,E-01	-2,655 ^c	7,92,E-03
45KHZ_24H - 25KHZ_48H	-4,833 ^c	1,34,E-06	-1,996 ^c	4,60,E-02	-1,077 ^c	2,81,E-01	-2,346 ^c	1,90,E-02
45KHZ_48H - 25KHZ_48H	-,650 ^b	5,16,E-01	-2,072 ^c	3,82,E-02	-,949 ^c	3,43,E-01	-1,234 ^b	2,17,E-01
45KHZ_72H - 25KHZ_48H	-,074 ^c	9,41,E-01	-1,385 ^c	1,66,E-01	-,895 ^c	3,71,E-01	-,732 ^c	4,64,E-01
45KHZ_24H - 25KHZ_72H	-4,585 ^c	4,54,E-06	-2,210 ^b	2,71,E-02	-1,816 ^c	6,93,E-02	-,297 ^b	7,66,E-01
45KHZ_48H - 25KHZ_72H	-,769 ^b	4,42,E-01	-1,949 ^b	5,13,E-02	-,335 ^c	7,38,E-01	-3,519 ^b	4,33,E-04
45KHZ_72H - 25KHZ_72H	-,180 ^b	8,57,E-01	-2,366 ^b	1,80,E-02	-1,877 ^c	6,05,E-02	-2,220 ^b	2,65,E-02
45KHZ_48H - 45KHZ_24H	-5,204 ^b	1,95,E-07	-,403 ^c	6,87,E-01	-1,599 ^b	1,10,E-01	-2,931 ^b	3,38,E-03
45KHZ_72H - 45KHZ_24H	-4,676 ^b	2,92,E-06	-,892 ^b	3,72,E-01	-,188 ^b	8,51,E-01	-1,616 ^b	1,06,E-01
45KHZ_72H - 45KHZ_48H	-,675 ^c	4,99,E-01	-,864 ^b	3,88,E-01	-1,357 ^c	1,75,E-01	-1,540 ^c	1,24,E-01

a. Prueba de rangos con signo de Wilcoxon

b. Se basa en rangos positivos.

c. Se basa en rangos negativos.

Para el caso de la textura, se observa que no difieren significativamente las muestras 25kHz-72h con 25kHz-48h, 45kHz-48h con 25kHz-48h, 45kHz-72h con 25kHz-48h, 45kHz-48h con 25kHz-72h, y 45kHz-72h con 25kHz-72h. La aceptación de la textura disminuyó para muestras con más tiempo de maduración, con comentarios como “*textura muy densa*” “*muy viscoso*” para el helado a 45kHz (con 72h de maduración).

En la Figura 24, se presenta el porcentaje de personas que responden a la pregunta ¿compraría usted este producto? Donde seleccionaron el helado tratado con US a 45kHz (con 24h de maduración).

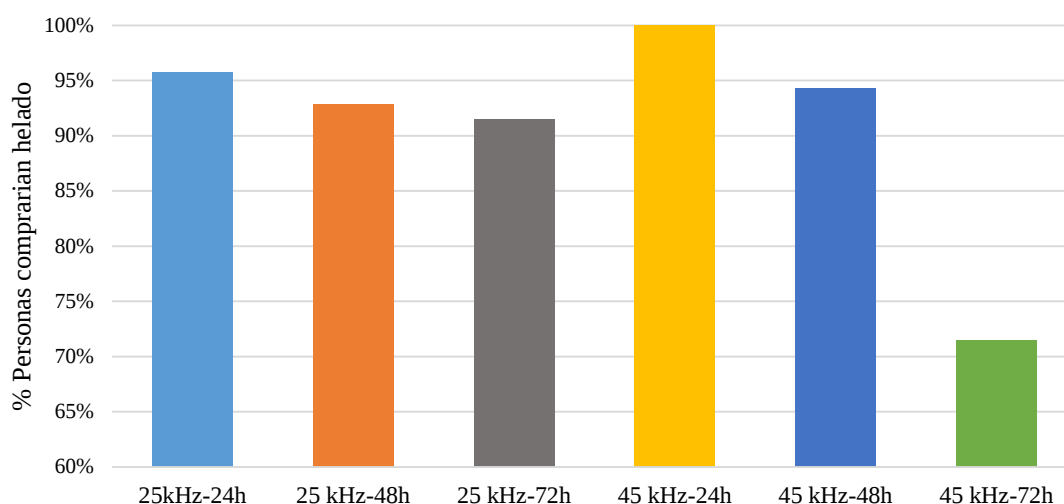


Figura 24. Prueba de preferencia y compra consumidores

Como se observa en la Figura 24, los consumidores prefirieron el helado tratado con US a 45kHz y 24 h de maduración; también obtuvo buenos comentarios por parte de estos, como “*helado muy rico*” “*pueden añadir chips de chocolate*”, “*dulce pero delicioso*” también se confirma por el perfil sensorial de la Figura 23, donde se muestra como el helado más equilibrado de las 6 muestras, tanto en sabor, como textura, olor y color.

5.5 Costos producción lote de 2350 g de mezcla

En la Tabla 9, se presenta el consolidado en pesos del costo global de producción para un lote de 2350 g de mezcla para helado sabor a vainilla. En este, se incluyen los gastos de personal (Tabla 11), materiales, equipos e insumos (Tabla 12). El producto se obtiene en 4 días, que corresponde a una dedicación de 18 horas/semana, para un costo total de col \$ 196.878,06.

Un lote equivale aproximadamente a 2,06L de mezcla, teniendo en cuenta que el %*overrun* promedio con aplicación de US es del 70%, se obtendrá 3,5L de helado de vainilla. El valor comercial del litro de helado (estrato 4) está alrededor de \$23500 pesos, por lo cual se obtendría un reembolso de col\$82.250 pesos/lote.

Tabla 11. Costo global de la producción /3.5 L helado

Rubros	Total (pesos col.)
Personal	\$144.000
Costo de insumos y equipos	\$52878,06
Total	\$196.878,06

Tabla 12. Descripción de los gastos de personal

Nombre de los Investigadores	Formación académica	Función dentro del proyecto	Dedicación h/semana	Recursos			TOTAL
				UA (Especie)	Contrapartida		
					RP	Otras fuentes*	
Liseth Rodríguez E.	Estudiante	Tesista	18		\$72.000		\$72.000
Branees Campo M.	Tec. Alimentos	Tesista	18		\$72.000		\$72.000
TOTAL						\$144.000	\$144.000

Tabla 13. Costo de Insumos y equipos

Equipos	Justificación	KW/h	Horas/Equipo	Total
Estufa	Consumo energía	1	3	\$1005
Baño Ultrasónico	Consumo energía	1,2	1	\$402
Maquina Helados	Consumo energía	0,15	2,25	\$113,06
Homogenizador	Consumo energía	0,3	6	\$603
Refrigerador	Consumo energía	0,22	72	\$5306,4
Congelador	Consumo energía	0,25	72	\$6030
Balanza analítica	Consumo energía	0,003	2	\$2
Insumos	Leche líquida, Crema de leche, azúcar, leche en polvo, esencia de vainilla, Helacream			\$24000
Vidriería	Depreciación			\$14416,6
Papelería	Bitácora			\$1000
Total		3,123	158,25	52878,06

6 CONCLUSIONES

Con la aplicación de las ondas de ultrasonido a mezclas para helados previa la maduración, se mejoraron los parámetros de pH, acidez y viscosidad de la mezcla durante el almacenamiento, a excepción de la densidad que no presentó cambios significativos.

La aplicación de mayores tiempos de maduración en helados muestra un prometedor resultado en parámetros importantes como el porcentaje de retención de aire (*%Overrun*), no así la aplicación de US lo que no mejoró el % de *Overrun*.

El US demostró una disminución del punto de congelación, evidenciando una correlación entre el fenómeno de cavitación y la velocidad de nucleación del helado. Se obtuvo mejores resultados el US aplicado a 25kHz en propiedades fisicoquímicas como: densidad, acidez, pH, viscosidad y propiedades de calidad en el helado como *%Overrun* comparado con el tratamiento a 45kHz

No se aprecia mejora alguna en el rendimiento del proceso con la aplicación de US, ya que el aumento del porcentaje de retención de aire se alcanza con sólo aumentar el tiempo de maduración, el cual está relacionado estrechamente con el porcentaje de derretimiento.

La mezcla con tratamiento US a 45 KHz obtuvo la mejor retención del color durante la maduración.

Fue mayor la aceptabilidad de los consumidores en el helado de vainilla tratado con US a 45kHz a 24 h de maduración.

7 RECOMENDACIONES

Se recomienda evaluar el efecto del tiempo de maduración y ultrasonido a 25 kHz a 70°C durante 15 minutos empleando otros estabilizantes y emulsionantes.

BIBLIOGRAFÍA

- AOAC. (2000). *Official methods of analysis* Association of official analytical chemist.
- Arbuckle, W. S. (1977). *Ice Cream* (3ra ed.). Connecticut: Avi Publisher Company.
- Campo, Y., y Villada, D. (2014). Evaluación de las propiedades fisicoquímicas del yogurt utilizando leche termosonicada. *Facultad nacional de agronomía*, 62, 271-277.
- Cardús, E., y Vega, R. (2006). *Los nutrientes: Alimentación equilibrada y organismo saludable* Editorial Alaúde.
- Carpenter, R. P., Lyon, D. H., y Hasdell, T. A. (2002). *Análisis sensorial en el desarrollo y control de calidad de alimentos*. Zaragoza, España.
- Clarke, C. (2004). *The science of ice cream* (2 ed.): The Royal Society of Chemistry.
- Chacón Villalobos, A., Pineda Castro, M. L., y Jiménez Goebel, C. (2016). Características fisicoquímicas y sensoriales de helados de leche caprina y bovina con grasa vegetal. *Mesoamerican agronomy*, 27(1), 19-36. doi: <http://dx.doi.org/10.15517/am.v27i1.21875>
- Demirdoven, A., y Baysal, T. (2008). The use of ultrasound and combined technologies in food preservation. *Food reviews international*, 25(1), 1-11. doi: <http://dx.doi.org/10.1080/87559120802306157>
- Gélvez, V., Fuentes, L., y Acevedo, D. (2016). Efecto del ultrasonido y campos magnéticos en la carne de lomo atún *Información tecnológica* 27(2), 21-30. doi: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642016000200004>
- Goff, H. D., y Hartel, R. W. (2013). *Ice Cream Structure* *Ice Cream* (pp. 313-352). Boston, MA: Springer US.
- Gómez Diaz, J., y Lopez, A. (2009). Aplicaciones de ultrasonido en el tratamiento de alimentos. *Temas selectos de ingeniería de alimentos*, 3(1), 59-73.
- GTC-165. (2007). *Análisis sensorial. Metodología. Guía general*. Bogotá D.C: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación ICONTEC.
- Gutiérrez, J. (2011). Tecnología de la aplicación de ingredientes para helados. *Heladería Panadería Latinoamericana* 211, 20-23.
- Hoover, D. G. (2000). Kinetics of microbial inactivation for alternative food processing technologies. *Ultrasound. Journal of Food Science Supplement*, 65(8), 93-95
- Kemp, S. E., Hollowood, T., y Hort, J. (2009). *Sensory Evaluation - A Practical Handbook*. United Kingdom.
- Konica Minolta. (2007). *Precise color communication. color control perception to instrumentation. Konica minolta sensing inc.*
- Lima, M., y Sastry, S. K. (1990). Influence of fluid rheological properties and particle location on ultrasound-assisted heat transfer between liquid and particles. *Journal of food science*, 55(5), 1112-1115.
- Lombana, M., Ramos, S., Serna, J., y Sotelo, L. (2014). Efecto del ultrasonido de sonda en el overrun de helado de crema *Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín*, 67(2).
- Lopez, F. N., y Sepulveda, J. U. (2012). Evaluation of non fat solids substitutes in hard dairy ice cream mix with vegetable falt. *VITAE*, 19(2), 197-206
- Mason, T. J., Paniwnyk, L., y Lorimer, J. P. (1996). The uses of ultrasound in food technology. *Ultrasonics Sonochemistry*, 3(3), S253-S260. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S1350-4177\(96\)00034-X](http://dx.doi.org/10.1016/S1350-4177(96)00034-X)
- McCarthy O.J., S. H. (2009). Physico-chemical properties of milk. *Advanced Dairy Chemistry*, 3, 78-85.
- McClements, D. (2004). *Food emulsions: principles, practices and techniques* (Segunda ed.).

- McClements, D. J. (1995). Advances in the application of ultrasound in food analysis and processing. *Trends in Food Science and Technology*, 6(9), 293-299.
- Meilgaard, M., y Civille, G. V. (1999). Affective tests: consumers tests and in-house panel acceptance tests. *Sensory evaluation techniques*, 3(CRC Press).
- Mortazavi, A., y Tabatabaie, F. (2008). Study of ice cream process after treatment with ultrasound. *World applied sciences journal*, 4(2), 188-190.
- NTC-666. (1996). *Leche y Productos Lácteos. Guía para muestreo. (ISO 707:1996)*. Bogotá D.C.: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación ICONTEC.
- NTC-1239. (2002). *Helados y mezclas para helados* Bogotá, D.C.: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y certificación ICONTEC.
- NTC-4078. (2001). *Leche y productos lácteos. Determinación de la acidez titulable (método de referencia)* Bogotá D.C.: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación ICONTEC.
- Pedrero, D. F., y Pangborn, R. M. (1996). *Evaluación sensorial de los alimentos: Métodos analíticos*. México D.F.: Editorial Alhambra.
- Pelan, B. M. C., Watts, K. M., Campbell, I. J., y Lips, A. (1997). The Stability of Aerated Milk Protein Emulsions in the Presence of Small Molecule Surfactants. *Journal of Dairy Science*, 80(10), 2631-2638. doi: [http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(97\)76220-9](http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(97)76220-9)
- Porras, O., González, G., Castellanos, A., Ballesteros, J., y Pacheco, M. (2011). Efecto de la aplicación de ondas de ultrasonido sobre las propiedades fisicoquímicas, reológicas y microbiológicas de pulpa de mango (*mangifera indica* L.) variedad común. [J]. *Alimentos hoy*, 20(23).
- Posada, D., Sepúlveda, J., y Restrepo, D. (2012). Selección y evaluación de un estabilizante integrado de gomas sobre las propiedades de calidad en mezclas para helado duro. *Vitae*, 19(2), 166-177.
- Povey, M. J. W., y Mason, T. J. (1998). *Ultrasound in Food Processing*: Blackie academic and professional.
- Ramírez Navas, J. S., Rengifo, C., y Rubiano, A. (2015). Parámetros de calidad en helados *Revista ReCiTeIA*, 15(1), 80-94.
- Rodríguez, N. (2006). *Estudio comparativo de las propiedades reológicas que presenta la levadura cervecera empleada en tanques cilindro-cónicos versus tanques convencionales en Bavaria S.A.* Universidad de la salle Bogotá, Colombia.
- Shanmugam, A., Chandrapala, J., y Ashokkumar, M. (2012). The effect of Ultrasound on the physical and functional properties of skim milk. *Innovative food science and emerging technologies*, 251-258.
- Timm, F. (1985). *Fabricación de helados* Zaragoza, España: Editorial Acribia, S.A.
- Vega Fidalgo, L. M., y Zorita Téllez, D. (2005). Infrasonidos y ultrasonidos: Proyecto de Ingeniería de las Ondas I. *En línea. Valladolid*, 26-39.
- Vercet, A., Burgos, J., y López-Buesa, P. (1999). Inactivation of heat-resistant pectinmethylesterase from orange by manothermosonication. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47(2), 432-437.
- Vicente, A.M., y Castillo, I.C.D. (2003). *Helados: Elaboración, análisis y control de calidad*. Madrid, España: AMV.
- Walstra, P., y Jenness, R. (1984). *Química y física lactológica*. Zaragoza, España: Editorial Acribia S.A.
- Zheng, L. Y., y Sun, D. W. (2005). Ultrasonic acceleration of food freezing. *Emerging technologies for food processing*.

8 ANEXOS

8.1 Anexo 1: Cursograma analítico

Cursograma analítico								Operario	Material	Equipo
Diagrama Num. 1				Resumen						
Objeto: Analizar la eficiencia del proceso				Actividad				Actual	Propuesta	Economía
				Operación ○				9	9	
				Transporte ➡				1	1	
Actividad: Elaboracion de helado ultrasonico de vainilla con tiempos de maduracion				Espera D				2	1	1
				Almacenamiento ▽				1	1	
				Distancia (m)				500	500	
Metodo :		Actual / Propuesto		Tiempo (hora-hombre)						
Lugar: Laboratorio fisicoquimico Univalle				Costos:						
Elaborado por: Liseth Rodriguez		Fecha: 30/05/2017								
Branees Campo				Símbolo						
Descripcion		Cantidad	Distancia	Tiempo (min)	○	➡	D	▽	Observaciones	
Comprar las metrias primas			500	40		x				
Recepcion y pesaje de la materias primas				20	x					
Preparacion del estabilizante				30	x					
Calentamiento del agua				15				x	Calentar agua a 50°C en un recipiente metalico para facilitar la transferencia de calor en el mezclado	
Mezclado inicial				2	x				Disolver inicialmente las fases líquidas (leche, crema de leche)	
Mezclado #2				15	x				mezcla inicial, azúcar y leche en polvo	
Homogenizado final				1	x				Se adiciona la esencia de vainilla	
Pasteurizado de la mezcla				30	x				A 70°C agitando a una velocidad de 1000 rpm, solo para la muestra control	
Aplicación de ultrasonido				15	x				Aplicando frecuencias de (25kHz a 70°C), (45kHz a 70°C) ò (0kHz)	
Choque termico				15	x				Descenso de la temperatura de las mezclas a 4°C	
Maduracion de la mezcla				24				x	este procedimiento se realiza para mezclas de 48h y 72h de maduración, tanto para el control como las mezclas tratadas con US.	
Congelacion y batido				50	x				Mediante el batido se le incorpora aire a la mezcla	
Almacenamiento				24				x	Se almacena el helado en la nevera del laboratorio a -15°C, este procedimiento se realiza para mezclas de 48h y 72h de maduración, tanto para el control como las mezclas tratadas con US.	
Total			500	281	9	1	2	1		
Eficiencia (%)		69,2								

8.2 Anexo 2: Formato de prueba orientada al consumidor



Esta prueba está diseñada para un trabajo de grado, de estudiantes de Ingeniería de Alimentos de la Universidad del Valle.

Género	M ☐ F ☐	Fecha	Edad
---------------	---	--------------	-------------

¿Consume regularmente helado? **Si** ☐ **No** ☐

Prueba pareada de preferencia

Frente a usted se presentan tres muestras de helados, por favor pruebe cada una de ellas, empezando con la muestra de la izquierda. Escriba el número de la muestra que prefiere. Usted debe escoger una muestra, aunque no esté seguro.

NOTA: Recuerde tomar agua y comer galletas entre muestras

Código

¡Gracias por su colaboración!

Prueba hedónica de aceptación

INSTRUCCIONES

Frente a usted se presentan tres muestras de helado. Por favor, observe y pruebe cada una de ellas, yendo de izquierda a derecha. Indique el grado en que le gusta o le disgusta cada atributo de cada muestra, de acuerdo al puntaje/categoría, escribiendo el número correspondiente en la línea del código de la muestra.

NOTA: Recuerde tomar agua y comer galletas entre muestras

Puntaje	Categoría	Puntaje	Categoría
1	me disgusta extremadamente	4	me gusta moderadamente
2	me disgusta moderadamente	5	me gusta extremadamente
3	no me gusta ni me disgusta		

CÓDIGO	Calificación para cada atributo			
	OLOR	COLOR	SABOR	TEXTURA

¡Gracias por su colaboración!

¿Compraría usted este producto? **Si** ☐ **No** ☐

Observaciones adicionales: _____