

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

En la actualidad, la industria alimentaria busca desarrollar productos innovadores que no solo satisfagan las necesidades nutricionales de los consumidores, sino que también aporten beneficios funcionales para la salud. Dentro de este contexto, los helados elaborados a base de leche representan uno de los productos lácteos de mayor aceptación debido a sus características sensoriales, valor energético y versatilidad en la incorporación de nuevos ingredientes (Marshall, Goff y Hartel, 2003).

El helado es definido como un producto alimenticio obtenido mediante la congelación de una mezcla pasteurizada compuesta principalmente por leche, grasa láctea, azúcar, estabilizantes y saborizantes. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, la incorporación de frutas en productos lácteos permite incrementar el contenido de vitaminas, minerales y antioxidantes, mejorando el valor nutricional y funcional del alimento (FAO, 2018).

En los últimos años, el arándano ha adquirido gran relevancia en la industria alimentaria debido a su alto contenido de compuestos fenólicos, antocianinas y antioxidantes naturales. Estudios realizados por investigadores de la Universidad de Maine señalan que el consumo de arándanos contribuye a reducir el estrés oxidativo y favorece la prevención de enfermedades cardiovasculares y degenerativas (Kalt et al., 2020). Estas propiedades han impulsado su utilización en productos funcionales como yogures, bebidas, postres y helados.

Diversas investigaciones demuestran que la incorporación de frutas en helados mejora significativamente las características organolépticas del producto. En una investigación desarrollada por Soukoulis y Tzia (2008), se evidenció que el uso de pulpas frutales en helados incrementa la aceptación del consumidor debido a la mejora del sabor, aroma y color natural. Asimismo, el uso de rellenos frutales representa una estrategia tecnológica que permite diferenciar el producto en el mercado y aumentar su valor agregado.

En América Latina, diferentes estudios han abordado la elaboración de helados enriquecidos con frutas nativas y funcionales. Investigaciones realizadas en Perú y Colombia destacan que la incorporación de frutas ricas en antioxidantes permite desarrollar productos innovadores con mayor aceptación comercial y mejores propiedades nutricionales (Ramírez-Navas, 2015). Sin embargo, en Bolivia aún son limitados los estudios enfocados en la utilización del arándano como ingrediente en productos lácteos congelados.

Por otra parte, el desarrollo de productos innovadores dentro de la Ingeniería de Alimentos constituye una alternativa importante para fomentar el aprovechamiento de materias primas naturales y promover el crecimiento de la industria alimentaria nacional. En este sentido, la elaboración de un helado de leche con relleno de pulpa de arándano representa una propuesta innovadora que combina las propiedades nutritivas de la leche con los beneficios funcionales del arándano, ofreciendo un alimento atractivo desde el punto de vista nutricional y sensorial.

Por lo tanto, el presente trabajo de investigación busca contribuir al desarrollo de nuevos productos lácteos funcionales, aprovechando las propiedades antioxidantes y nutricionales del arándano, así como generar una alternativa alimenticia de calidad y aceptación para el consumidor.

1.2 Justificación

- El presente trabajo de investigación busca contribuir a la diversificación de la oferta de helados en la ciudad de Tarija, debido a la ausencia de helados de leche con relleno de pulpa de arándano en el mercado local, lo que evidencia la necesidad de desarrollar este tipo de producto, ya que permite ampliar las alternativas de consumo disponibles y responder a la demanda de productos innovadores por parte de los consumidores.
- La incorporación de pulpa de arándano como relleno en el helado de leche representa el desarrollo de un producto con características diferenciadas respecto

a los disponibles comercialmente, ofreciendo una alternativa basada en la combinación de ingredientes lácteos y frutales.

- El helado de leche con relleno de pulpa de arándano no solo aporta proteínas de alto valor biológico provenientes de la leche, así como minerales como calcio y potasio presentes en ambos ingredientes, sino que además representa una propuesta novedosa dentro del mercado de helados, generando un mayor atractivo para el consumidor. Asimismo, incorpora un valor agregado nutricional al integrar un relleno frutal de arándanos, rico en compuestos bioactivos como polifenoles y antocianinas.
- El helado está dirigido a la población de Tarija, incluyendo niños y adultos que buscan opciones de consumo más atractivas debido a la creciente preferencia por productos novedosos, con combinaciones de sabores y texturas diferenciadas respecto a los helados tradicionales.

1.3 Objetivos

Los objetivos planteados para el presente trabajo se describen a continuación:

1.3.1 Objetivo general

Desarrollar helado de leche con relleno de pulpa de arándano, mediante el proceso de congelación, con el fin de obtener un producto de calidad nutricional para diversificar la oferta de helados en la provincia Cercado del departamento de Tarija.

1.3.2 Objetivos específicos

- Determinar los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del arándano y de la leche entera con el fin de establecer sus características.

- Determinar el punto de congelación inicial y el tiempo de congelación de las pruebas subjetivas, para evaluar su influencia en la textura del helado.
- Realizar una evaluación sensorial preliminar de diferentes formulaciones de helado de leche con relleno de pulpa de arándano, con el fin de seleccionar la muestra más aceptada para su posterior análisis dentro del diseño factorial del proceso.
- Aplicar el diseño factorial 2^3 en la etapa de dosificación de la mezcla láctea del helado con el fin de evaluar la influencia de las variables del proceso.
- Determinar los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del helado de leche con relleno de pulpa de arándano con el fin de asegurar su calidad y seguridad.
- Realizar un balance de materia y energía con el fin de evaluar la eficiencia del proceso de elaboración del helado.

1.4 Planteamiento del problema

En la ciudad de Tarija, aunque existe variedad de helados de leche y helados con diferentes tipos de relleno, actualmente no se comercializa helados de leche que incorpore pulpa de arándano como relleno. Esta ausencia se relaciona con la limitada utilización y procesamiento del arándano para conservar sus propiedades, así como con aspectos propios de su elaboración que inciden en la calidad del producto final, lo que restringe la diversificación de la oferta y el desarrollo de productos con valor agregado. Por ello, surge la necesidad de elaborar helado de leche con relleno de pulpa de arándano que represente una alternativa novedosa y nutritiva para los consumidores.

1.5 Formulación del problema

¿Cuál será la metodología experimental de congelación que permita obtener helado de leche con relleno de pulpa de arándano de calidad nutricional en la provincia de Cercado del departamento de Tarija?

1.6 Objeto de estudio

Elaboración de helado de leche con relleno de pulpa de arándano aplicando la metodología experimental de congelación.

1.7 Campo de acción

El campo de acción de la investigación se delimita de la siguiente manera:

- **Espacial:** El trabajo de investigación se desarrolló en la provincia de Cercado del departamento de Tarija.
- **Temporal:** El presente trabajo se realizó durante la gestión, 2025 - 2026.
- **Institución:** El presente trabajo se realizó en los laboratorios de la Carrera de Ingeniería de Alimentos de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

1.8 Planteamiento de hipótesis

La aplicación de la metodología experimental de congelación permitirá elaborar helado de leche con relleno de pulpa de arándano de calidad nutricional en el departamento de Tarija.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Origen del helado

Según Isique (2014), el origen del helado se remonta a la antigua China, durante la dinastía Tang (618–907) d.C., etapa en la que se elaboraban preparaciones a base de hielo mezclado con leche y frutas. Estas formulaciones constituyen antecedentes del helado actual, ya que incorporaban ingredientes lácteos y técnicas de enfriamiento que permitían obtener productos de consistencia cremosa. Dichas prácticas representan uno de los primeros registros del desarrollo de alimentos congelados similares al helado moderno.

2.2 Definición de helado

El helado es 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 leche y derivados, agua, azúcares 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 (IBNORCA, 2008).

2.3 Tipos de helado

Los helados pueden encontrarse en distintas presentaciones, las cuales dependen de la manera en que el producto es ofrecido al consumidor. En la Figura 2.1 se presenta el esquema correspondiente a los tipos de helado según su forma de presentación.

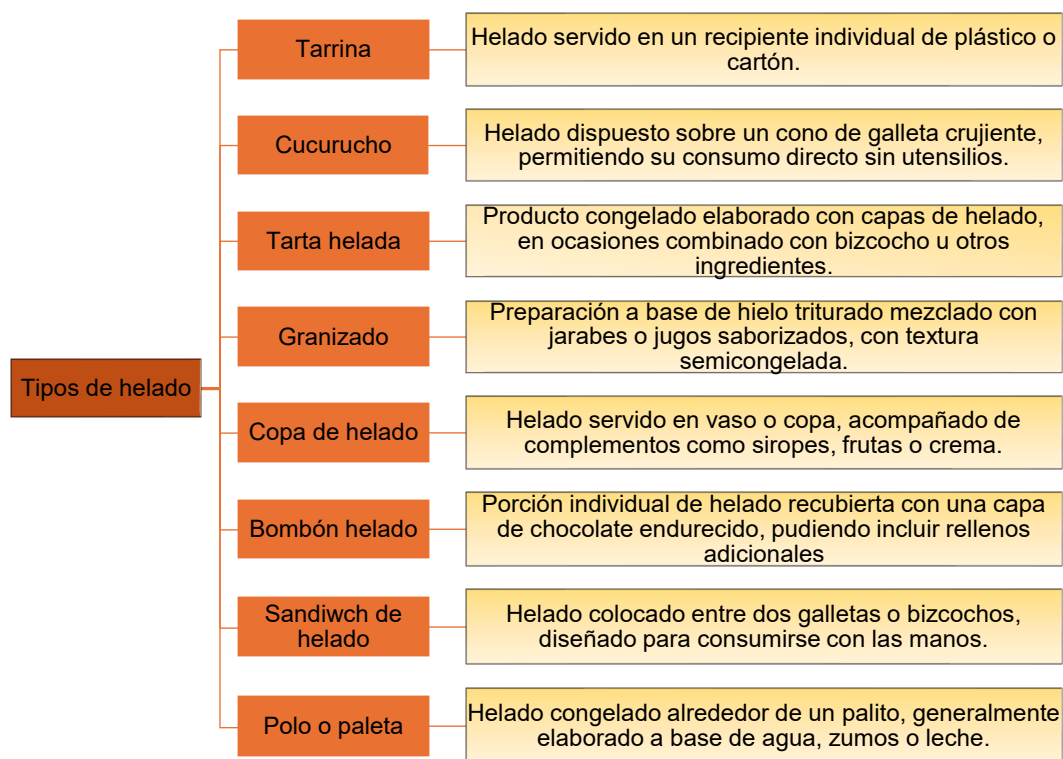


Figura 2.1: *Tipos de helado*

Fuente: (Chili, 2020)

2.3.1 Helado tipo paleta

Las paletas de helado, comúnmente denominadas helados en palito, polos o paletas, son productos congelados elaborados principalmente a partir de agua y azúcar, a los que se pueden incorporar frutas, sabores, colorantes y estabilizantes. También pueden enriquecerse con derivados lácteos como leche en polvo o leche condensada, lo que permite obtener diferentes sabores y texturas. Estos productos congelados se presentan en una variedad de formas, siendo las más comunes las rectangulares y las cilíndricas, y se caracterizan por estar sostenidas mediante un palito de madera para facilitar su consumo (Ramírez et al, 2024).

2.4 Clasificación general de los helados

En la Figura 2.2 se observa la clasificación de helados de acuerdo a su composición e ingredientes básicos.

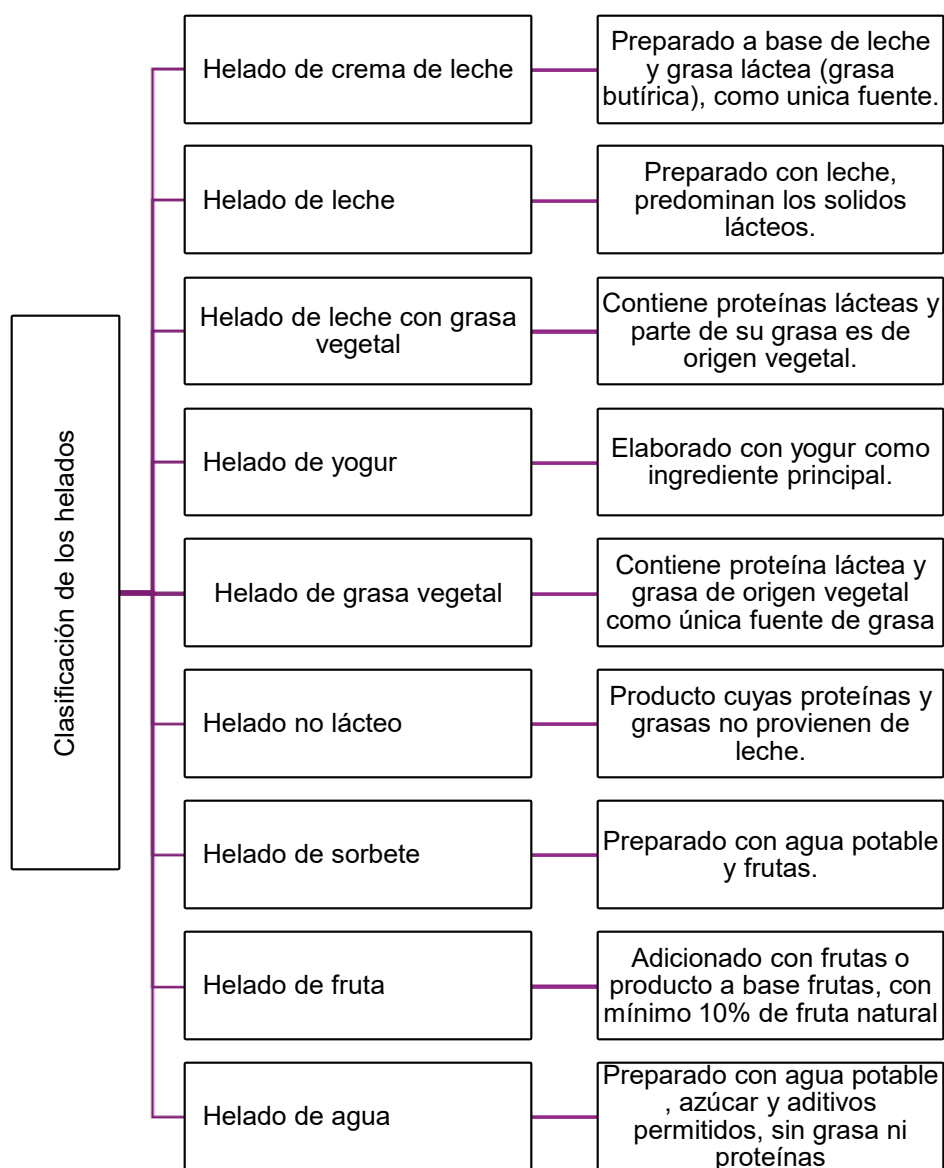


Figura 2.2: Clasificación de los helados de acuerdo a su composición
Fuente: (IBNORCA, 2008)

2.4.1 Helado de leche

El helado a base de leche se elabora con leche, crema, azúcar y otros ingredientes como huevo, vainilla, frutas o chocolate. Presenta un contenido de grasa superior al 2%, debido a que se produce a partir de leche y crema, lo que le proporciona una textura cremosa, densa y suave. Es un alimento que aporta principalmente calcio y proteínas (Ramírez et al, 2024).

2.4.2 Helado de fruta

El helado de fruta se elabora con agua, azúcar y otros ingredientes, como frutas o extractos frutales. Tienen un contenido de grasa de menos del 2%. Proporcionan sabores naturales y aportan vitaminas y antioxidantes. Su textura varía desde suaves hasta trozos de fruta perceptibles (Ramírez et al, 2024).

2.5 Caracterización del helado de leche

Los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos así como el valor nutricional del helado de leche permiten determinar su composición y características. A continuación, se detallan estos aspectos:

2.5.1 Parámetros fisicoquímicos del helado de leche

En la Tabla 2.1 se muestran los parámetros fisicoquímicos del helado de leche.

Tabla 2.1

Parámetros fisicoquímicos del helado de leche

Parámetros	Valores (mínimo)	Unidad
Grasa total	1,50	%
Grasa láctea	1,50	%
Grasa vegetal	0,00	%
Sólidos totales	27,00	%
Proteína láctea	1,80	%
Ensayo de fosfatasa alcalina	Negativo	--
Peso/volumen	475,00	g/l

Fuente: (IBNORCA, 2008)

2.5.2 Parámetros microbiológicos del helado de leche

De acuerdo con la Norma Boliviana 33020:2008 los helados deben cumplir ciertos requisitos microbiológicos y los cuales se presentan en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2

Parámetros microbiológicos del helado de leche

Microorganismos	Índice máximo permisible
Bacterias aeróbicas mesófilas	10000
Coliformes totales, UFC/g	100
<i>Escherichia coli</i> , UFC/g	<1
<i>Staphylococcus aureus</i> , UFC/g	Ausencia
<i>Salmonella spp</i> , en 25g	0

Fuente: (IBNORCA, 2008)

2.5.3 Valor nutricional del helado de leche

El valor nutricional de los helados de leche puede variar según Di Bartolo (2005), debido a las diferencias en las materias primas, formulaciones y procesos de elaboración utilizados. En la Tabla 2.3 se presenta los valores de referencia en 100g de muestra.

Tabla 2.3

Valor nutricional del helado de leche

Componentes	Cantidad	Unidad
Energía	187,00	kcal
Carbohidratos	13,00 – 22,00	g
Lípidos	2,00 – 7,00	g
Proteínas	1,00 – 6,00	g
Agua	50,00 – 78,00	g
Calcio	80,00 – 138,00	mg
Fósforo	45,00 – 150,00	mg
Vitamina A	0,02 – 0,13	mg
Vitamina C	0,90 – 18,00	mg

Fuente: (Di Bartolo, 2005)

2.6 Aplicación del helado de leche en la dieta equilibrada

El helado ha sido objeto de diversos mitos relacionados con su valor nutricional, sin embargo, su composición depende directamente de la calidad y cantidad de los

ingredientes utilizados en su elaboración. El aporte energético del helado oscila entre (150 y 250) kcal, considerándose un alimento de contenido energético medio, siendo la grasa el componente que mayor influencia ejerce en la variabilidad calórica. Asimismo, constituye una fuente importante de calcio, aportando entre (10 y 20) % de la ingesta diaria recomendada por porción, con adecuada biodisponibilidad, y su contenido proteico es comparable al de otros derivados lácteos, presentando un valor similar al de la leche. Considerando que la merienda debe aportar aproximadamente el 15 % de la energía diaria recomendada, una porción de 100 g de helado puede representar cerca del 50 % del aporte energético correspondiente a dicho tiempo de comida; en este sentido, puede formar parte de la merienda dejando un margen calórico que puede complementarse con la ingesta de frutas u otros alimentos compatibles, permitiendo su inclusión dentro de una dieta equilibrada cuando se consume de manera moderada (Suca, 2011).

2.7 Caracterización de la leche entera y arándano para la elaboración de helado

Las materias primas que se utilizaron en la elaboración de helado de leche con relleno de arándano son las siguientes:

- Leche entera
- Arándano

2.7.1 Caracterización de la leche entera

La leche entera es el producto íntegro del ordeño, sin extracción ni adición de ningún componente y es sometida a tratamientos térmicos controlados para garantizar su inocuidad y mantener su composición natural (Metaxas, 2017). A continuación, se describen los parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y el valor nutricional de la leche entera.

2.7.1.1 Parámetros fisicoquímicos de la leche entera

En la Tabla 2.4 se muestran los parámetros fisicoquímicos establecidos para la leche entera en 100g.

Tabla 2.4

Parámetros fisicoquímicos de la leche entera

Parámetros	Cantidad	Unidad
Materia grasa	3,000	%
Densidad relativa	1,028	-
Descenso crioscópico	-0,512	°C
Extracto seco	8,200	%
Proteína	3,000	%
Acidez	18,000	%
Lactosa	4,500	%

Fuente: (ALADI, 2019)**2.7.1.2 Parámetros microbiológicos de la leche entera**

En la Tabla 2.5 se detallan los límites microbiológicos recomendados para la leche entera.

Tabla 2.5

Parámetros microbiológicos de la leche entera

Microorganismos	Valor permitido	Unidad
Bacterias aerobias mesófilas	1×10^5	UFC/ml
Coliformes totales	10	NMP/ml
<i>Staphylococcus aureus</i>	$< 1 \times 10$	UFC/ml

Fuente: (ALADI, 2019)**2.7.1.3 Valor nutricional de la leche entera**

En la Tabla 2.6 se muestran las propiedades nutricionales de la leche entera.

Tabla 2.6

Valor nutricional de la leche entera

Componentes	Cantidad	Unidad
Energía	65,00	kcal
Carbohidratos	5,00	g
Lípidos	3,70	g
Proteínas	3,30	g
Agua	88,00	g
Calcio	121,00	mg
Potasio	150,00	mg
Fósforo	92,00	mg
Vitamina A	38,70	mg
Vitamina C	1,80	mg

Fuente: (Moreiras et al, 2013)

2.7.2 Caracterización del arándano

El arándano (*Vaccinium myrtillus L.*), es considerado como el fruto más antiguo de la tierra, forma parte del grupo conocido como frutos del bosque, frutilla, los cuales han sido utilizados desde tiempos ancestrales para el tratamiento de distintas enfermedades (Sellapan et al, 2002).

El arándano es un fruto de bajo valor calórico y constituye una buena fuente de potasio, hierro y calcio. Además, es rico en diversos compuestos fenólicos con propiedades bioactivas, como taninos con efecto antidiarreico, antiinflamatorio y astringente; fibra que contribuye al tránsito intestinal; glucósidos que mejoran la sensibilidad de la retina y la visión; y antocianinas que aumentan la resistencia de los vasos sanguíneos. Asimismo, su contenido de vitamina C y su acción antioxidante ayudan a reducir el riesgo de enfermedades degenerativas, cardiovasculares e incluso el cáncer (Kuskoski et al., 2005). En la Figura 2.3 se observa el fruto de arándano azul.



Figura 2.3: *Fruto de arándano*
Fuente: (Rojas, 2015)

A continuación, se describen los parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y el valor nutricional del arándano.

2.7.2.1 Parámetros fisicoquímicos del arándano

En la Tabla 2.7, se muestran los parámetros fisicoquímicos del arándano.

Tabla 2.7

Parámetros fisicoquímicos del arándano

Parámetros	Cantidad	Unidad
Peso	1,00 -2,46	g
Diámetro	7,34 – 18,14	mm
Sólidos solubles	10,00 – 14,00	°Brix
pH	2,38 -3,26	-
Humedad	74,00 – 85,00	%
Materia seca	16,00 – 26,00	%

Fuente: (Pinedo, 2019)

2.7.2.2 Valor nutricional del arándano

En la Tabla 2.8 se muestran las propiedades nutricionales del arándano en 100g.

Tabla 2.8

<i>Valor nutricional del arándano</i>		
Componentes	Cantidad	Unidad
Energía	57,000	kcal
Proteína	0,740	g
Lípidos	0,330	g
Carbohidratos	14,490	g
Fibra dietética	2,400	g
Calcio	6,000	mg
Hierro	0,280	mg
Magnesio	5,000	mg
Fósforo	10,000	mg
Potasio	77,000	mg
Sodio	1,000	mg
Vitamina C	9,700	mg
Tiamina	0,037	mg
Riboflavina	0,041	mg
Niacina	0,418	mg
Vitamina E	1,000	mg

Fuente:(Del Real, 2021)

2.8 Caracterización de los insumos para la elaboración de helado

A continuación, se caracterizan los insumos utilizados en la elaboración del helado de leche con relleno de pulpa de arándano:

2.8.1 Sacarosa

La sacarosa es un disacárido formado por glucosa y fructosa, y es el endulzante más utilizado en los helados. Actúa como anticongelante, evitando que la mezcla se congele demasiado dura. Posee un alto poder edulcorante, aportando el dulzor característico del helado. Además, tiene gran capacidad de unirse al agua y modificar las propiedades de la fase líquida, lo que mejora la textura, el cuerpo y la estabilidad de la mezcla (Di Bartolo, 2005).

2.8.2 Dextrosa

La dextrosa, conocida como D-Glucosa, es el azúcar blanco obtenido de la hidrólisis completa del almidón. Produce un efecto refrescante muy pronunciado en la boca, realza el sabor del helado, pero no produce sed al consumirlo. Desciende la temperatura de congelación debido a su más bajo peso molecular que la sacarosa, mejorando su consistencia y permite mayor estabilidad contra la formación de cristales de hielo que la sacarosa (Madrid y Cenzano, 2003).

2.8.3 Crema de leche (origen animal)

La crema de leche es un producto lácteo derivado de la leche, rico en grasa. En el helado la crema de leche aporta cremosidad, cuerpo y suavidad, mejora la viscosidad y favorece la incorporación de aire durante el mezclado, contribuyendo a una estructura estable y resistente al derretimiento. La grasa también da una textura agradable al paladar y ayuda a mantener la consistencia durante el almacenamiento (Artica, 2005).

2.8.4 Leche en polvo entera

La leche entera en polvo es leche a la que se le ha eliminado el agua mediante secado y que conserva la grasa láctea, además de proteínas, lactosa y minerales. En helados, aporta grasa y sólidos no grasos, contribuyendo a la cremosidad, cuerpo y textura del producto, y ayuda a la emulsificación de la grasa, mejorando la distribución de los glóbulos grasos. También influye en la fusión y resistencia al derretimiento gracias a la combinación de grasa y proteínas (Goff & Hartel, 2013).

2.8.5 Estabilizante (Liga neutra)

Los estabilizantes son un conjunto de hidrocoloides, principalmente polisacáridos, que se incorporan en la formulación del helado con el fin de mejorar sus propiedades físicas y sensoriales. Estos compuestos incrementan la viscosidad de la fase no congelada, lo que contribuye a la estabilidad del sistema, reduce la movilidad del agua

y limita la formación y crecimiento de cristales de hielo durante el almacenamiento. Asimismo, favorecen una textura más suave y cremosa, mejoran la resistencia al derretimiento y ayudan a mantener la uniformidad del producto (Douglas Goff, 2013).

La liga neutra, es un estabilizante compuesto por mezclas de hidrocoloides como goma locusta, goma guar, goma xantana, goma tara y carboximetilcelulosa, los cuales actúan en conjunto, es decir, su combinación potencia sus efectos funcionales en la estabilidad y textura del helado (Doremus, 2012).

2.9 Congelación de alimentos

La congelación es el proceso de preservación originado por la reducción de la temperatura de los productos alimenticios por debajo del punto de solidificación mediante un cambio de estado. Debe su poder conservador a la casi total eliminación del agua líquida por transformación en hielo (reducción de la actividad de agua), obstaculizando la actividad microbiológica y enzimática, y la reducción de la actividad biológica por el descenso de temperatura la que generalmente se lleva hasta un valor entre (-10 y -20) °C (Orrego, 2003).

El proceso de congelación en los alimentos es más complejo que la congelación del agua pura. Los alimentos al contener otros solutos disueltos además de agua, presentan un comportamiento ante la congelación similar al de las soluciones. La evolución de la temperatura con el tiempo durante el proceso de congelación es denominada curva de congelación (Umaña, 2007). La curva de congelación del agua pura y de un alimento se muestra en la Figura 2.4.

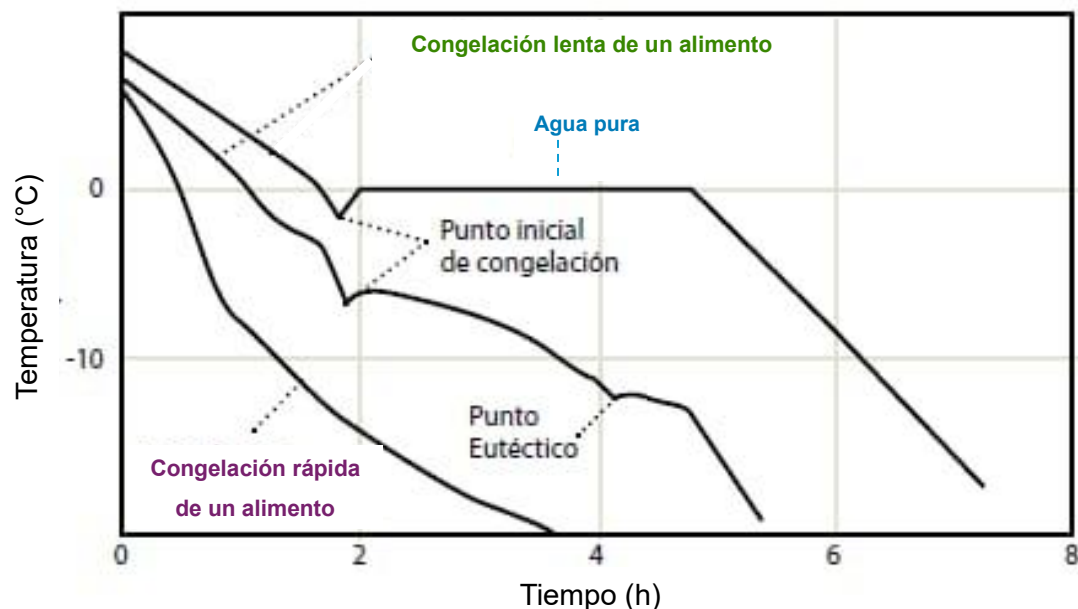


Figura 2.4: *Proceso de congelación de una sustancia pura (agua) y de un alimento (a dos velocidades de congelación)*

Fuente: (Orrego, 2003).

En el caso del agua pura, como se observa en la Figura 2.4, el proceso de congelación ocurre a temperatura definida y con un único calor latente de congelación. Inicialmente se elimina el calor sensible mediante el enfriamiento del líquido hasta alcanzar el punto de congelación. Posteriormente, se retira el calor latente durante el cambio de fase, presentándose una meseta horizontal donde la temperatura permanece constante mientras se forma el hielo. Una vez que la sustancia se congela completamente, continúa un descenso de temperatura aproximadamente lineal debido a la eliminación del calor sensible del sólido hasta alcanzar la temperatura del medio refrigerante (Orrego, 2003).

Para el caso de un alimento, que como una aproximación puede considerarse como una solución acuosa, la congelación no se verifica a una temperatura precisa. Los primeros cristales de hielo aparecen en el punto de congelación, a una temperatura inferior al punto de fusión del agua, pudiendo presentarse un fenómeno de subenfriamiento. El cambio de fase ocurre con temperatura variable, cristalizando inicialmente agua pura y concentrándose progresivamente los solutos hasta alcanzar el punto eutéctico, donde se produce un pequeño salto térmico. A diferencia del agua

pura, la congelación se desarrolla en un rango de temperaturas, observándose una meseta generalmente curva que finaliza en un punto difícil de determinar, momento en el cual se considera que el producto está completamente congelado; posteriormente continúa el descenso de temperatura por eliminación del calor sensible del sólido (Orrego, 2003).

2.9.1 Etapas del proceso congelación de alimentos

El proceso de congelación de alimentos se divide en tres etapas, las cuales se muestra a continuación en la Figura 2.5.

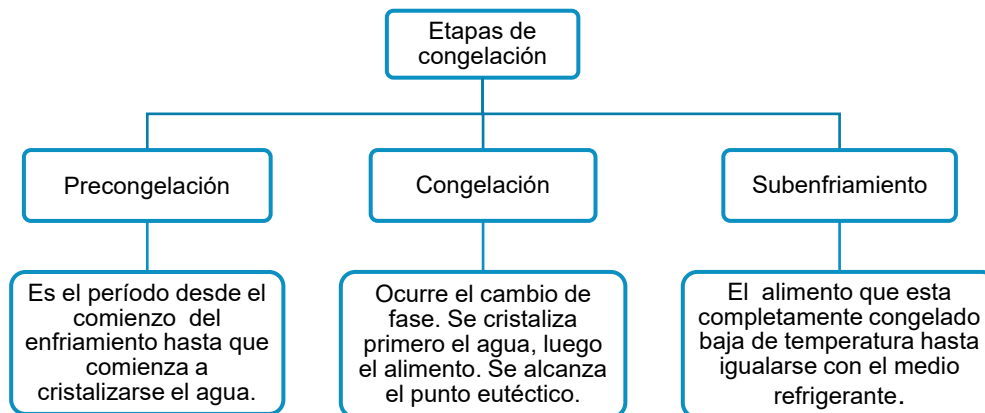


Figura 2.5: *Etapas del proceso de congelación*

Fuente: (Orrego, 2003).

2.9.2 Tipos de congelación de alimentos

Según Fellows (2017), los tipos de congelación de alimentos se clasifican de acuerdo con el sistema o método de enfriamiento empleado y con la velocidad de congelación, factores que influyen en la formación de cristales de hielo y en la calidad final del alimento. En la Figura 2.6 se observa esta clasificación:

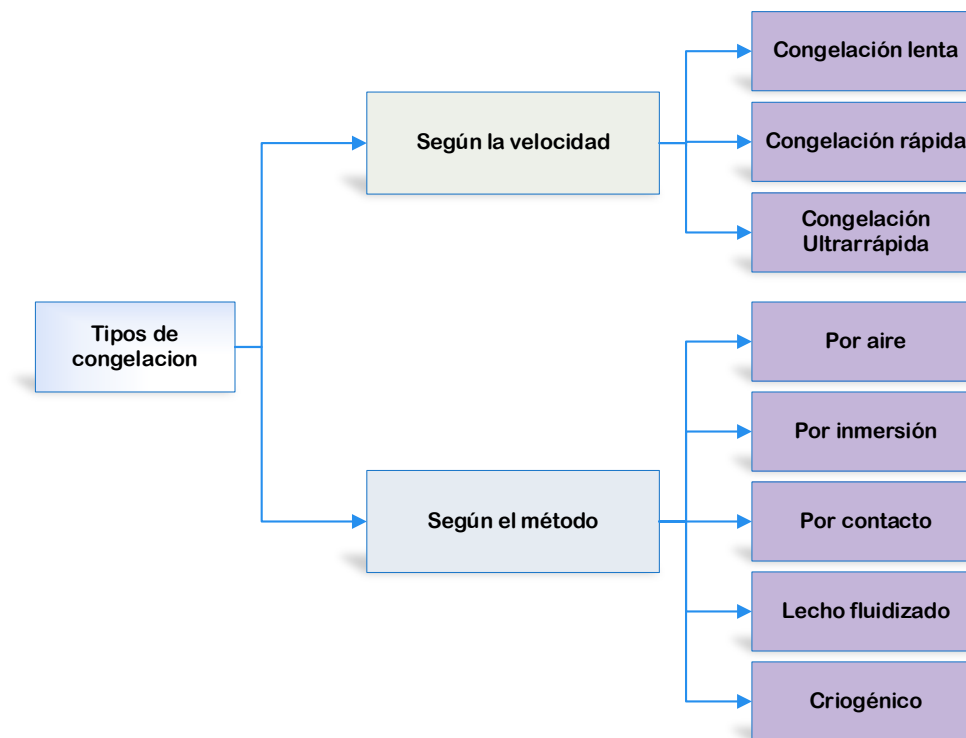


Figura 2.6: *Tipos de congelación de alimentos*
Fuente: (Rapin & Jacquard, 2010)

2.9.2.1 Congelación rápida

La congelación del helado debe realizarse de forma rápida para evitar la formación de cristales de hielo grandes, los cuales afectan negativamente la textura del producto. La congelación rápida implica someter la mezcla a temperaturas de entre $(-18 \text{ y } -20)^\circ\text{C}$, permitiendo una nucleación intensa y la formación de cristales pequeños y uniformes. Este tipo de enfriamiento no solo mejora la calidad sensorial del helado, proporcionándole una textura más suave y cremosa, sino que también contribuye a conservar sus propiedades nutricionales y su estabilidad durante el almacenamiento (Rapin & Jacquard, 2010).

2.9.2.2 Congelación por aire

La congelación por aire es un método en el que el medio de enfriamiento es el aire frío que rodea al alimento dentro del equipo. En este sistema se emplean

temperaturas entre $(-18 \text{ y } -40) ^\circ\text{C}$, el frío se genera mediante un sistema de refrigeración mecánica por compresión de vapor, en el cual el refrigerante absorbe el calor del interior del congelador, provocando la disminución de la temperatura del aire y permitiendo extraer calor del alimento hasta lograr su congelación. Dentro de este sistema se distinguen dos formas de operación: aire forzado y aire estático. Cuando el aire no se hace circular se produce aire estático, lo que genera velocidades de enfriamiento bajas, pudiendo tardar entre 3 y 72 horas dependiendo del tamaño del alimento (Orrego, 2003).

Por su parte (Potter y Hotchkiss, 2000), indican que la congelación por aire estático es uno de los métodos más antiguos y económicos. En este método, el alimento se coloca en una cámara fría aislada donde el aire se mueve ligeramente por convección natural.

2.9.3 Caracterización de las variables del proceso de congelación

Las variables del proceso de congelación influyen en la eficiencia del enfriamiento y en la calidad final del alimento congelado. Entre las más importantes se encuentran la velocidad de congelación, la composición del alimento, el tiempo de congelación y la temperatura del proceso.

2.9.3.1 Velocidad de congelación

La velocidad de congelación de un alimento depende de factores como la velocidad del aire, el espesor del producto, la geometría del sistema, la composición del alimento y la resistencia del envase a la transmisión de calor, además de la temperatura de congelación aplicada, condiciones que determinan si el proceso se realiza de manera lenta o rápida (Potter y Hotchkiss, 2000).

▪ Congelación lenta

En la congelación lenta, la cristalización se produce principalmente en los espacios extracelulares, generando cristales grandes. Esto incrementa la concentración de

solutos fuera de las células y provoca la salida de agua por ósmosis, lo que ocasiona una deshidratación progresiva. Como resultado, las paredes celulares se dañan y la textura del producto se ve afectada, produciendo pérdida de líquidos durante la descongelación. Aunque este método permite una congelación más uniforme en productos grandes, la calidad final suele ser menor debido al daño estructural (Umaña, 2007).

▪ **Congelación rápida**

En la congelación rápida, la cristalización ocurre casi simultáneamente en los espacios intra y extracelulares, formándose numerosos cristales pequeños. Esto reduce el desplazamiento del agua y minimiza el daño celular, conservando mejor la textura, el sabor y las propiedades nutritivas del alimento. En general, este tipo de congelación permite obtener productos de mejor calidad, ya que limita la formación de cristales grandes que puedan deteriorar la estructura del alimento (Umaña, 2007).

2.9.3.2 Tiempo de congelación

El tiempo de congelación se define como el tiempo necesario para reducir la temperatura inicial del producto hasta una temperatura final establecida, considerando el punto del alimento que se enfría más lentamente, denominado centro térmico, donde el intercambio de calor es más limitado (Heldman & Singh, 2009). El tiempo de congelación depende de factores como la temperatura del medio de congelación, la forma y espesor del producto y las propiedades térmicas y composición del alimento. Su control permite una adecuada formación de cristales de hielo y conservación de la calidad del producto (Pham, 2014).

2.9.3.3 Temperatura de congelación

La temperatura de congelación corresponde a la temperatura a la cual el agua presente en el alimento comienza a cristalizar y formar hielo. Esta temperatura puede variar dependiendo de la composición del alimento y de la presencia de solutos disueltos. Mantener un control adecuado de la temperatura durante el proceso de

congelación es fundamental para garantizar la estabilidad del producto y evitar alteraciones en su textura y calidad (Umaña, 2007).

2.9.3.4 Composición del alimento

La composición del alimento influye en el comportamiento durante la congelación debido a las diferentes propiedades térmicas de sus constituyentes. Componentes como el agua, la grasa, los azúcares y las proteínas presentan distinta conductividad térmica, lo que afecta la transferencia de calor durante el enfriamiento. A medida que aumenta la concentración de sólidos disueltos, como azúcares, sales y minerales, el punto de congelación disminuye, por lo que el alimento requiere temperaturas más bajas para iniciar la formación de cristales de hielo (Potter y Hotchkiss, 2000).

Según (Berdugo, 2010), el descenso crioscópico es una propiedad coligativa que consiste en la disminución de la temperatura de congelación de un disolvente al añadir un soluto. Este fenómeno depende del número de partículas disueltas y no de su naturaleza. Como se observa en la Figura 2.7, a medida que aumenta la concentración de glucosa, el punto de congelación disminuye progresivamente.

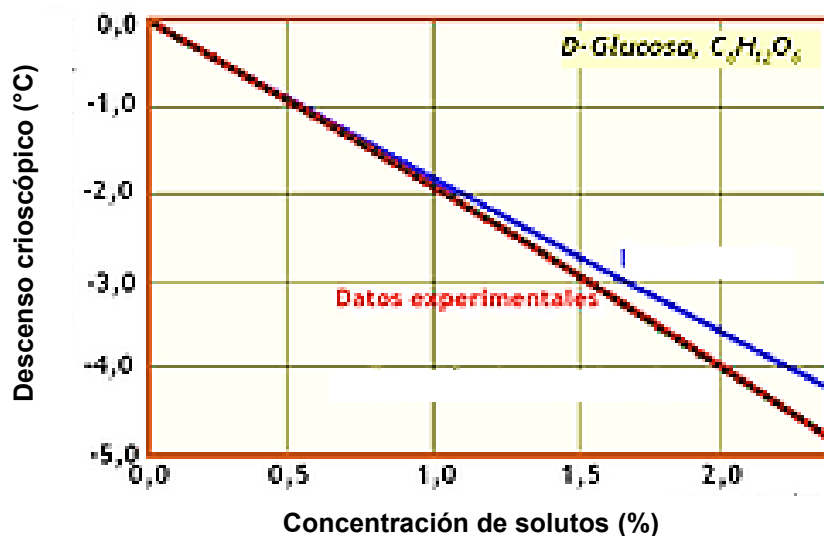


Figura 2.7: Descenso crioscópico de una solución acuosa de D-glucosa
Fuente: (Berdugo, 2010)

En la Figura 2.8 se presentan las curvas experimentales de congelación de muestras de helado con diferentes concentraciones de sólidos (0%, 0,3% y 1%), observándose el efecto de la composición del alimento sobre el comportamiento de congelación.

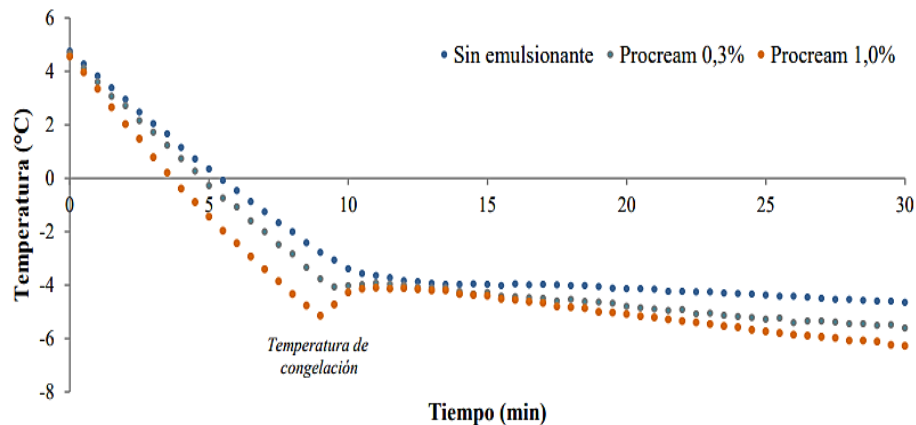


Figura 2.8: Curva experimental de congelación de helado con diferentes concentraciones

Fuente: (Ramírez-Navas et al, 2015).

Se observa que las muestras presentan un descenso en el punto de congelación a medida que aumenta la concentración de solutos, debido a la reducción del agua libre en el sistema. Durante este proceso, se generan cambios en la organización molecular que se reflejan como variaciones en la pendiente de la curva de congelación. Asimismo, el tamaño de los cristales de hielo influye en el punto de congelación, presentándose una ligera depresión en cristales más pequeños en comparación con los de mayor tamaño, fenómeno asociado a la composición del sistema (Ramírez-Navas et al, 2015).

2.10 Marco legal

El presente trabajo de investigación se sustenta en la normativa técnica vigente del Instituto Boliviano de Normalización y Calidad (IBNORCA), específicamente en la NB 33020:2008 “Productos lácteos – Helados y mezclas para helados – Requisitos”, la cual establece los criterios técnicos que deben cumplir los helados en cuanto a su composición, elaboración, higiene, almacenamiento y condiciones generales de calidad e inocuidad.

De acuerdo con esta normativa, el helado es un producto alimenticio obtenido a partir de una mezcla de leche y derivados, agua, azúcares y otros ingredientes permitidos, sometidos a un proceso de congelación con o sin batido, garantizando su conservación en estado congelado hasta el momento de su consumo.

2.10.1 Requisitos generales de fabricación

La normativa establece que en la fabricación de helados se permite el uso de ingredientes como leche y derivados lácteos, grasas vegetales o animales comestibles, proteínas no lácteas, edulcorantes permitidos, agua potable, huevos y productos derivados, frutas y productos a base de fruta, así como agregados alimenticios destinados a conferir sabor, aroma o textura.

Asimismo, se establece que los ingredientes utilizados deben cumplir con normas técnicas específicas de calidad e inocuidad, garantizando la seguridad del producto final. El helado debe constituir el componente principal cuando se presenta en combinación con otros alimentos.

2.10.2 Condiciones de elaboración y almacenamiento

La normativa establece que durante la elaboración del helado no se permite la adición de hielo a la mezcla, ni la recongelación del producto una vez descongelado. Asimismo, en los casos donde se requiera incorporación de aire, este debe ser de tipo sanitario. Las condiciones de almacenamiento y transporte del producto deben mantenerse a una temperatura máxima de -18 °C, con el fin de asegurar su conservación y estabilidad durante toda la cadena de distribución.

2.10.3 Condiciones de higiene

El proceso de elaboración de helados debe realizarse bajo condiciones higiénicas adecuadas, aplicando buenas prácticas de manufactura, desde la obtención de la materia prima hasta el producto final.

Asimismo, se establece la aplicación de medidas de control que pueden incluir sistemas de inocuidad como el HACCP, con el objetivo de garantizar un nivel adecuado de protección de la salud pública.

Los ingredientes lácteos utilizados deben ser higienizados previamente, asegurando su calidad sanitaria antes de su incorporación en la formulación del producto.

2.10.4 Uso de aditivos alimentarios

La normativa permite el uso de aditivos alimentarios autorizados en la elaboración de helados, los cuales deben estar contemplados en la legislación nacional vigente o en las listas positivas del Codex Alimentarius (GSFA – Codex STAN 192-1995), siempre dentro de los límites establecidos para la categoría de alimentos correspondiente.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

EXPERIMENTAL

3.1 Desarrollo de la parte experimental

La parte experimental del presente trabajo, correspondiente a la elaboración de helado de leche con relleno de pulpa de arándano, se llevó a cabo en el Laboratorio Académico de Frío de la Carrera de Ingeniería de Alimentos (L.A.C.I.A), dependiente de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho (U.A.J.M.S)

3.2 Tipo de intervención experimental

La intervención experimental del presente trabajo se llevó a cabo mediante la aplicación de métodos y análisis en las materias primas y en el producto final, así como en el proceso de elaboración, con el fin de desarrollar un producto de calidad, los cuales se presentan a continuación:

- Análisis fisicoquímicos y microbiológicos de la leche entera
- Análisis fisicoquímicos y microbiológicos del arándano
- Análisis sensorial de helado de leche con pulpa de arándano.
- Análisis del diseño factorial 2³ en la dosificación de la mezcla láctea del helado
- Análisis fisicoquímicos y microbiológicos del helado de leche con relleno de pulpa de arándano.
- Operacionalización de las variables en la elaboración de helado de leche con relleno de pulpa de arándano.

3.3 Paradigma de investigación

Según Flores (2004), “un paradigma es una forma de ver el mundo, una perspectiva general, una manera de fragmentar la complejidad del mundo real” (p. 3). Asimismo, Denzin y Lincoln (2000), indican que el paradigma guía al investigador en los supuestos filosóficos sobre la investigación, así como en la selección de herramientas, instrumentos, participantes y métodos utilizados en el estudio. Existen numerosos paradigmas que pueden orientar una investigación, entre ellos se encuentran el paradigma positivista, postpositivista, el realismo crítico y el constructivista.

3.3.1 Paradigma positivista

Según Ricoy (2006), “El paradigma positivista se califica de cuantitativo, empírico-analítico, racionalista, sistemático gerencial y científico tecnológico” (p. 14). El positivismo se basa en el realismo filosófico y utiliza el método hipotético-deductivo. Es un método científico que implica la observación y descripción sistemática de fenómenos categorizando en variables dependientes e independientes, la presentación de hipótesis, la ejecución de un estudio experimental estrictamente controlado, el uso de estadísticas inferenciales para probar, verificar hipótesis y, finalmente, la interpretación de los resultados estadísticos (Cacioppo et al., 2004). El tipo de paradigma que se aplicó en el presente trabajo de investigación es el paradigma positivista.

3.4 Enfoque de la investigación

Un enfoque de investigación es la perspectiva teórica o metodológica que se utiliza para abordar un problema, dependiendo de la naturaleza del estudio y los objetivos del investigador. El enfoque guía todo el proceso de investigación desde la formulación del problema hasta el análisis de datos y están fuertemente asociados a los paradigmas y diseños de investigación (Acosta, 2023). El enfoque puede ser cualitativo, cuantitativo o mixto, cada uno de ellos se adapta a diferentes tipos de fenómenos, para acercarse de manera lógica a la realidad, este proceso debe ser organizado y sistematizado (Palacios et al, 2023, p. 19). El enfoque que se llevó a cabo en el presente trabajo es cuantitativo, basado en la recolección de datos numéricos.

3.5 Métodos, técnicas e instrumentos

Según (Medina et al, 2023), “el método es un proceso sistemático y organizado utilizado para responder o resolver un problema de investigación” (p. 13). Por su parte, (Ramos, 2008) clasifica los métodos en lógicos basados en el pensamiento y empíricos que se basa en la experiencia (p. 2).

Una técnica de investigación, es un procedimiento sistemático, específico utilizado para recopilar y analizar información con el fin de resolver un problema o responder a una pregunta de investigación, dentro de un método de investigación. Hay diferentes técnicas de investigación, tales como encuestas, entrevistas, observación, experimentos, entre otros, y su elección depende del objetivo y alcance de la investigación (Arias, 2020).

Un instrumento de investigación es una herramienta específica utilizada dentro de una técnica de investigación, para recopilar y analizar información en el proceso de investigación. Los instrumentos de investigación ayudan a obtener información precisa y confiable sobre su tema de estudio y a llegar a conclusiones válidas y confiables (Medina et al, 2023).

3.5.1 Análisis fisicoquímicos de la leche entera “Prolac”

En la Tabla 3.1 se presentan los métodos y técnicas aplicados para los análisis fisicoquímicos de la leche entera “Prolac”, realizados en el Laboratorio del Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID), dependiente de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho (U.A.J.M.S).

Tabla 3.1

Análisis fisicoquímicos de la leche entera “Prolac”

Parámetros	Técnicas	Unidades	Métodos
Ceniza	Gravimetría	g/100g	NB 39034:10
Grasa	Gravimetría	g/100g	NB 313019:06
Hidratos de carbono	Cálculo	g/100g	NB 312031:06
Humedad	Gravimétrico	g/100g	NB 313010:05
Proteína total	Volumetría	g/100g	NB/ISO 8968-1:08
Valor energético	Cálculo	Kcal/100g	NB 312032:06

Fuente: CEANID, 2025

3.5.2 Análisis microbiológicos de la leche entera “Prolac”

En la Tabla 3.2, se presentan los métodos y técnicas aplicados para los análisis microbiológicos de la leche entera “Prolac”, realizados en el Laboratorio del Centro de

Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID), dependiente de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho (U.A.J.M.S).

Tabla 3.2

Análisis microbiológicos de la leche entera “Prolac”

Microorganismos	Técnicas	Unidades	Métodos
Bacterias mesófilas	Recuento en placa	UFC/ml	NB 32003:05
<i>Staphylococcus aureus</i>	Recuento en placa	UFC/ml	NB 32004:02

Fuente: CEANID, 2025

3.5.3 Análisis fisicoquímicos del arándano

En la Tabla 3.3, se presentan los métodos y técnicas aplicados para los análisis fisicoquímicos del arándano, realizados en el Laboratorio del Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID), dependiente de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho (U.A.J.M.S).

Tabla 3.3

Análisis fisicoquímicos del arándano

Parámetros	Técnicas	Unidades	Métodos
Calcio	Espectrometría de AA	mg/100g	Instrumental
Cenizas	Gravimetría	g/100g	NB33041:23
Grasa	Gravimetría	g/100g	NB 313019:06 (MOD)
Hidratos de carbono	Cálculo	g/100g	NB 312031:10
Humedad	Gravimetría	g/100g	NB 367:98(MOD)
Potasio	Espectrometría de AA	mg/100g	Instrumental
Proteína total	Volumetría	g/100g	NB/ISO8968-1:22
Valor energético	Cálculo	Kcal/100g	NB 31 2032:06

Fuente: CEANID, 2025

3.5.4 Análisis microbiológicos del arándano

En la Tabla 3.4, se presentan los métodos y técnicas aplicados para los análisis microbiológicos del arándano, realizados en el Laboratorio del Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID), dependiente de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho (U.A.J.M.S).

Tabla 3.4

Análisis microbiológicos del arándano

Microorganismos	Técnicas	Unidades	Métodos
Coliformes totales	Recuento en placa	UFC/g	NB 32005:02
<i>Salmonella</i>	Recuento en placa	P/A/25g	NB/ISO 6579:08

Fuente: CEANID, 2025

3.5.5 Análisis fisicoquímicos del helado de leche con relleno de pulpa de arándano

En la Tabla 3.5, se presentan los métodos y técnicas aplicados para los análisis fisicoquímicos del helado de leche con relleno de pulpa de arándano, realizados en el Laboratorio del Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID), dependiente de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho (U.A.J.M.S).

Tabla 3.5

Análisis fisicoquímicos del helado de leche con relleno de pulpa de arándano

Parámetros	Técnicas	Unidades	Métodos
Acidez	Volumétrico	%	NB 229-1998
Calcio	Espectrometría de AA	mg/kg	Instrumental
Hidratos de carbono	Cálculo	g/100g	NB 312031:10
Materia grasa	Gravimetría	%	NB 313019:2006
Proteínas	Volumétrico	%	NB 466:1997
Potasio	Espectrometría de AA	mg/kg	Instrumental
Valor energético	Cálculo	Kcal/100g	Cálculo

Fuente: CEANID, 2025

3.5.6 Análisis microbiológicos del helado de leche con relleno de pulpa de arándano

En la Tabla 3.6 se presentan los métodos y técnicas detalladas de los análisis microbiológicos del helado de leche con relleno de pulpa de arándano, realizados en el Laboratorio del Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID), dependiente de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho (U.A.J.M.S).

Tabla 3.6

Análisis microbiológicos del helado de leche con relleno de pulpa de arándano

Microorganismos	Técnicas	Unidades	Métodos
Bacterias mesófilas	Recuento en placa	UFC/ml	NB 32003:05
<i>Staphylococcus aureus</i>	Recuento en placa	UFC/ml	NB 32004:02
<i>Coliformes totales</i>	Recuento en placa	UFC/g	NB 32005:02
<i>Salmonella</i>	Recuento en placa	P/A/25g	NB/ISO 6579:08

Fuente: CEANID, 2025

3.6 Equipos, instrumentos, utensilios y materiales de laboratorio

En el presente trabajo se utilizaron equipos, instrumentos, utensilios y materiales de laboratorio, estos se describen a continuación:

3.6.1 Equipos

En la Figura 3.1, se detallan las especificaciones técnicas de los equipos utilizados en el proceso de elaboración del helado de leche con relleno de pulpa de arándano.

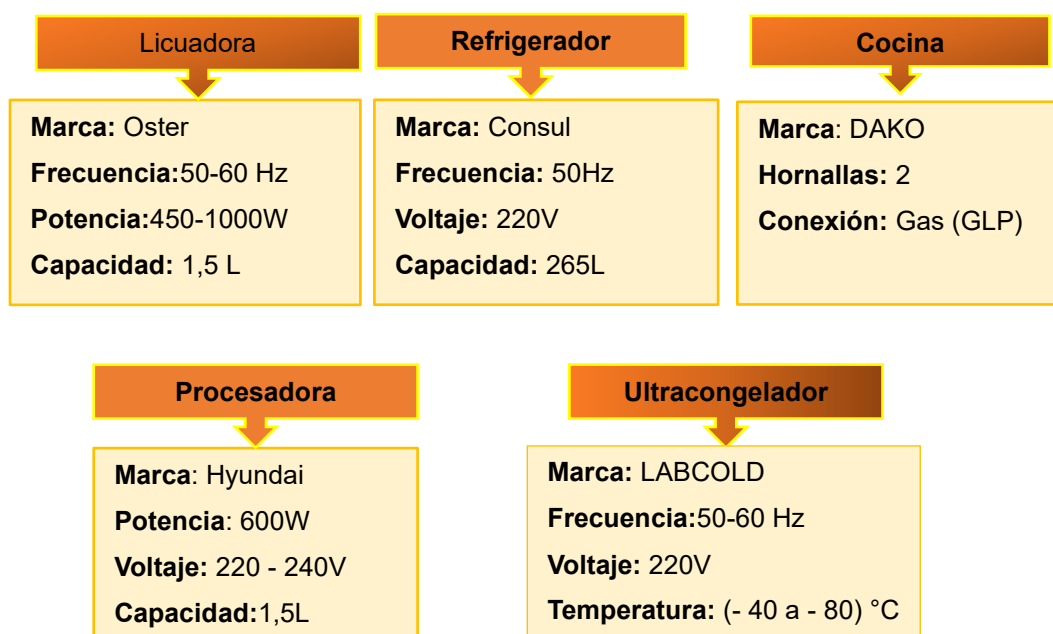


Figura 3.1: Equipos para la elaboración de helado de leche

Fuente: (L.A.C.I.A., 2025)

3.6.2 Instrumentos de laboratorio

Los instrumentos de laboratorio que se utilizaron para el desarrollo de la parte experimental, se detallan en la Figura 3.2.

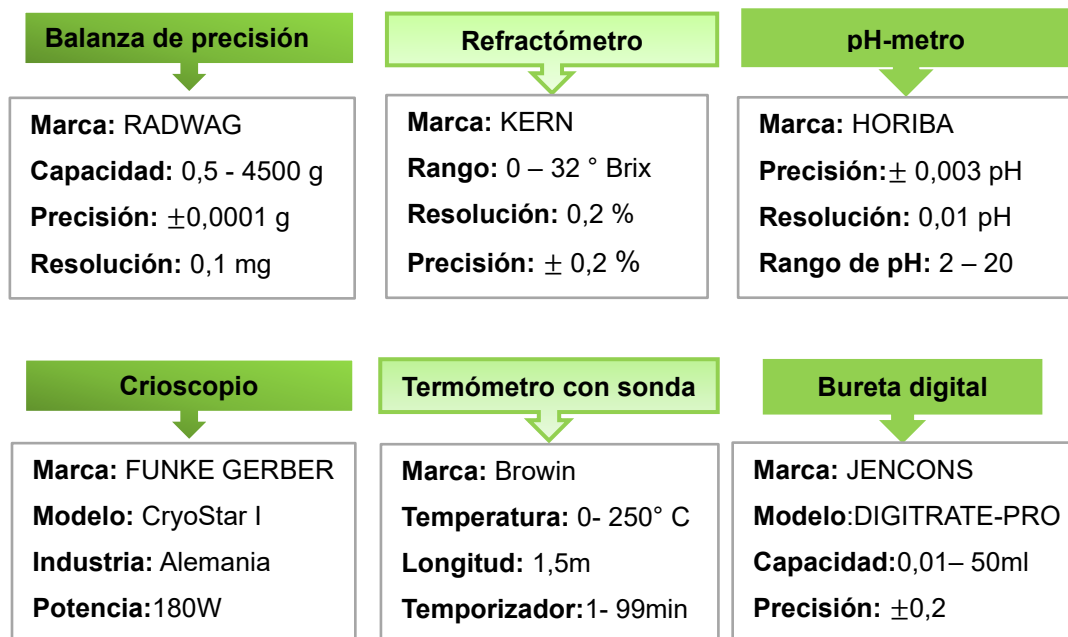


Figura 3.2: Instrumentos de laboratorio

Fuente: (L.A.C.I.A., 2025)

3.6.3 Material de laboratorio

Los materiales de laboratorio que se emplearon en el proceso de elaboración de helado de leche con relleno de pulpa de arándano, se detallan a continuación:

- **Vidrio de reloj:** Material (vidrio), tamaño (pequeño).
- **Vaso de precipitado:** Material (vidrio), capacidad (100 ml).
- **Probeta:** Material (vidrio), capacidad (100 ml).
- **Espátula:** Material (acero inoxidable), tamaño (pequeño).
- **Termómetro de alcohol:** material (vidrio), capacidad (0-100) °C.
- **Matraz Erlenmeyer:** Material (vidrio), capacidad (250 ml).
- **Piseta:** Material (plástico), capacidad (500 ml).

- **Matraz aforado:** Material (vidrio), capacidad (100 ml).

3.6.4 Utensilios de cocina

Los utensilios que se utilizaron para la elaboración de helado de leche con relleno de pulpa de arándano, son los siguientes:

- **Olla:** Material (acero inoxidable), tamaño (mediano)
- **Cuchillo:** Material (acero inoxidable), tamaño (mediano)
- **Jarras graduadas:** Material (plástico), capacidad (1000ml)
- **Moldes de helado:** Material (silicona), capacidad (4 unidades de 70g)
- **Espátula:** Material (silicona), tamaño (pequeño)
- **Cucharas:** Material (acero inoxidable), tamaño (pequeño)
- **Lavador:** Material (plástico), tamaño (mediano)
- **Bol:** Material (acero inoxidable), tamaño (mediano)
- **Frascos:** Material (vidrio), tamaño (pequeño)
- **Envases:** Material (plástico), tamaño (pequeño)

3.6.5 Reactivos químicos

En la Figura 3.3 se detallan los reactivos químicos utilizados durante la realización del diseño experimental del helado de leche con relleno.

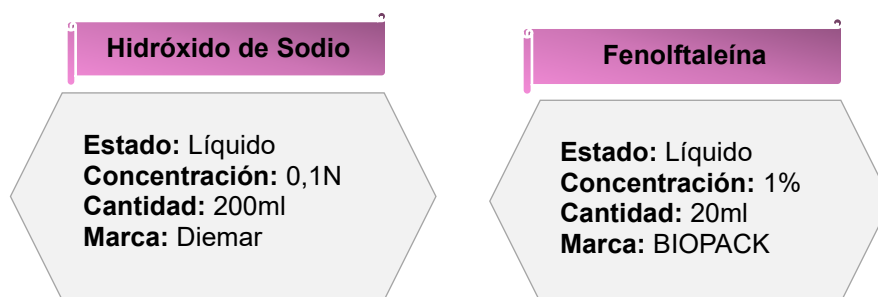


Figura 3.3: Reactivos utilizados en la determinación de acidez

Fuente: Elaboración propia.

3.6.6 Insumos alimentarios

En la Tabla 3.7 se detallan los insumos que se utilizaron en el proceso de elaboración de helados de leche con relleno de pulpa de arándano.

Tabla 3.7

Insumos alimentarios				
Insumos	Estado	Unidad	Cantidad	Procedencia
Dextrosa	Sólido	g	500	Ingretec (Santa Cruz)
Azúcar blanca	Sólido	g	1000	Aguaí, Santa Cruz
Estabilizante (liga neutra)	Sólido	g	80	Doremus, Santa Cruz
Leche en polvo	Sólido	g	1000	Ricáli, Argentina
Crema de leche	Líquido	g	500	Pil Andina, Tarija

Fuente: Elaboración propia

3.7 Proceso de elaboración del helado de leche con relleno de pulpa de arándano

En la Figura 3.4 se presenta el diagrama de flujo del proceso de elaboración de helado de leche con relleno de pulpa de arándano.

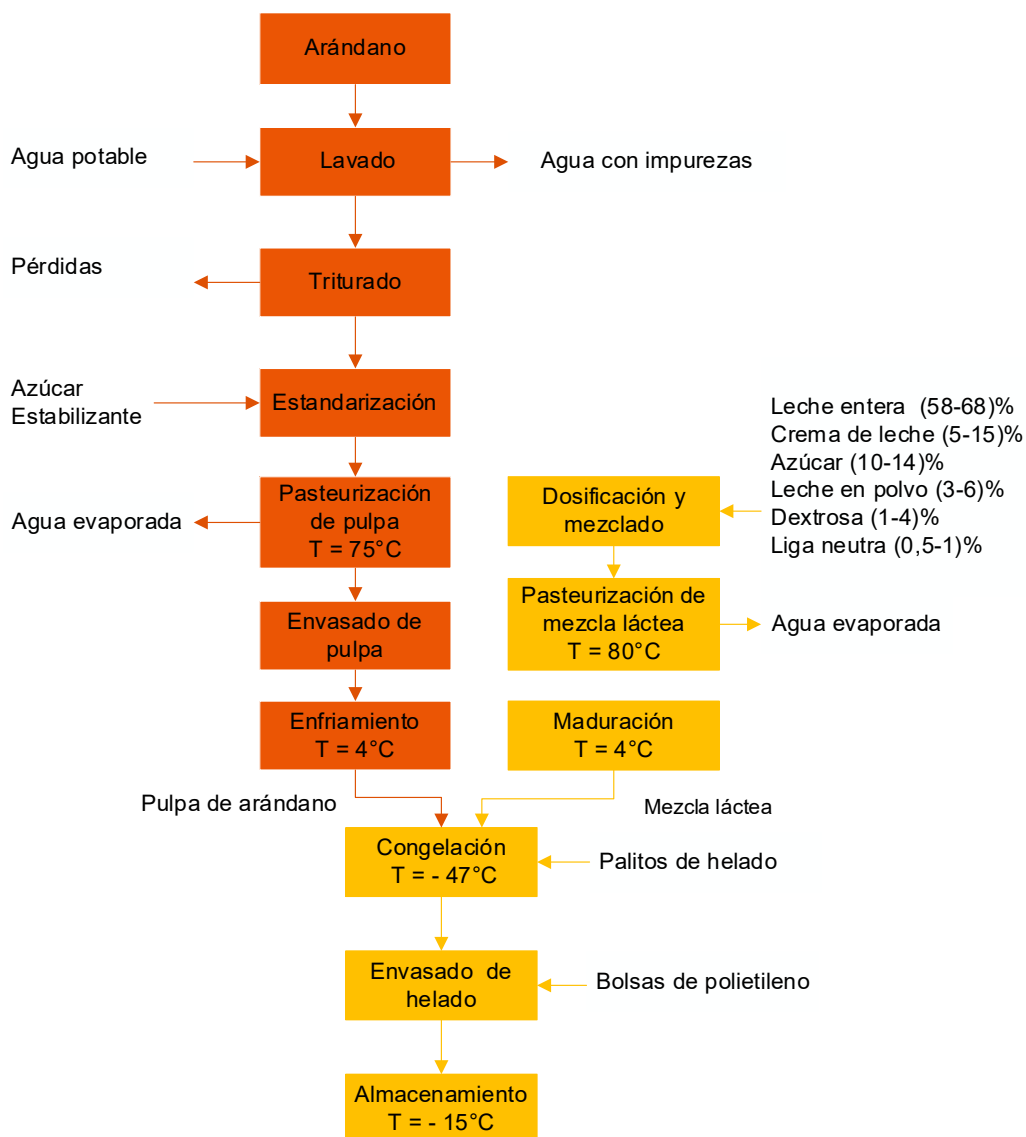


Figura 3.4: Diagrama del proceso de elaboración del helado de leche con relleno de pulpa de arándano

Fuente: Elaboración propia

3.7.1 Descripción del diagrama del proceso de elaboración de helado de leche con relleno de pulpa de arándano

Las etapas del proceso de elaboración de helado de leche con relleno de pulpa de arándano se describen a continuación:

3.7.1.1 Arándano

El arándano utilizado para el desarrollo del presente trabajo de investigación fue obtenido del Valle Central de Tarija.

3.7.1.2 Lavado

Los arándanos son lavados con agua potable con el fin de eliminar, impurezas, tierra y otros residuos adheridos a su superficie. En la Figura 3.5 se observa los arándanos lavados.



Figura 3.5: *Arándanos lavados*
Fuente: Elaboración propia

3.7.1.3 Triturado

La etapa de triturado del arándano se realizó con una procesadora durante 30 minutos, y hasta obtener una pulpa de consistencia fina, sin presencias de restos grandes de piel. En la Figura 3.6 se muestra el proceso de triturado y obtención de la pulpa.



Figura 3.6: *Proceso de triturado y obtención de la pulpa*
Fuente: Elaboración propia

3.7.1.4 Estandarización

La pulpa de arándano se ajustó a 28 °Brix mediante la adición de azúcar blanca (21) % y (0,40) % de estabilizante (liga neutra), con agitación manual continua hasta

lograr una mezcla homogénea. En la Figura 3.7 se observa el proceso de estandarización de la pulpa de arándano.



Figura 3.7: *Proceso de estandarización de la pulpa de arándano*

Fuente: Elaboración propia

3.7.1.5 Pasteurización de la pulpa

La pulpa de arándano se pasteurizó a 75 °C durante 15 min en una olla de acero inoxidable, con control de temperatura mediante termómetro. Durante el proceso se realizó agitación constante para mejorar la transferencia de calor y asegurar un calentamiento uniforme. Esta etapa se realizó con el fin de eliminar microorganismos patógenos y garantizar la inocuidad de la pulpa para su uso como relleno en el helado.

3.7.1.6 Envasado de la pulpa

En la Figura 3.8 se muestra el envasado de la pulpa de arándano, utilizando frascos de vidrio previamente lavados y desinfectados, con el fin de prevenir la contaminación externa y mantener la calidad de la pulpa.



Figura 3.8: *Envasado de la pulpa*

Fuente: Elaboración propia

3.7.1.7 Enfriamiento

Después de la pasteurización, la pulpa de arándano se enfrió inicialmente con agua potable a temperatura ambiente (25°C). Posteriormente, se llevó al refrigerador hasta alcanzar los (4 °C), temperatura a la cual se utilizó como relleno en la elaboración del helado. En la Figura 3.9 se observa la pulpa de arándano refrigerada.



Figura 3.9: *Pulpa refrigerada*

Fuente: Elaboración propia

3.7.1.8 Dosificación y mezclado

Se preparó la materia prima (leche entera Prolac) y los insumos (azúcar, leche en polvo, dextrosa, liga neutra y crema de leche), los cuales fueron pesados de acuerdo a la formulación para elaborar 1,68 kg de mezcla láctea. Inicialmente, se realizó una mezcla en seco de los componentes: leche en polvo (4,50) %, dextrosa (3,30) %, azúcar (12,00) % y estabilizante (1,00) %, mediante agitación manual con espátula de silicona. Posteriormente, se llevó a cabo el mezclado de todos los componentes mediante el uso de una licuadora eléctrica, adicionando en primer lugar la leche entera líquida (67,20) %. Luego, se incorporaron los componentes secos de manera gradual para evitar la formación de grumos. Finalmente, se incorporó la crema de leche, obteniendo una mezcla homogénea. En la Figura 3.10 se observa el proceso de mezclado de la mezcla láctea.



Figura 3.10: *Dosificación y mezclado de la mezcla láctea*
Fuente: Elaboración propia

3.7.1.9 Pasteurización de la mezcla láctea

La mezcla base del helado se pasteurizó a 80 °C durante 10 min en una olla de acero inoxidable. Este tratamiento térmico constituye una etapa clave para el control microbiológico, ya que permite eliminar los posibles microorganismos patógenos que podrían haberse incorporado durante la manipulación. En la Figura 3.11 se muestra el proceso de pasteurización.



Figura 3.11: *Pasteurización de la mezcla láctea*
Fuente: Elaboración propia

3.7.1.10 Maduración

Una vez que la mezcla ha sido homogeneizada y pasteurizada, se almacenó en el refrigerador a temperatura de 4 °C durante un período de 4 horas. En la Figura 3.12 se observa la mezcla láctea durante la etapa de maduración.



Figura 3.12: *Maduración de la mezcla láctea*

Fuente: Elaboración propia

3.7.1.11 Congelación

La congelación del helado se realizó en un ultracongelador de congelación rápida a (-47 °C). Inicialmente, se vertió una fracción de la mezcla láctea en los moldes hasta cubrir la base. Después de 30 min, cuando la mezcla alcanzó un estado semicongelado aproximadamente de (-5 °C), se colocaron los palitos de madera y se incorporó la pulpa de arándano como relleno, en una proporción del 25 % del peso total del helado. Posteriormente, se completó el molde con la mezcla láctea restante y se continuó la congelación durante 70 min, hasta alcanzar la solidificación completa del helado a aproximadamente (-22 °C). En la Figura 3.13 se observa el proceso de congelación.



Figura 3.13: *Proceso de congelación*

Fuente: Elaboración propia

3.7.1.12 Envasado de helado

Una vez alcanzada la firmeza final del helado, se realizó el desmoldeado cuidadoso del producto para preservar su forma y presentación. Posteriormente, los helados son envasados en bolsas de polietileno. En la Figura 3.14 se observa la etapa de envasado.



Figura 3.14: *Envasado de helado*
Fuente: Elaboración propia

3.7.1.13 Almacenamiento

Finalmente, los helados se almacenaron en el congelador a (-15 °C), con el fin de garantizar su estabilidad física, microbiológica y conservar sus propiedades sensoriales hasta el momento del consumo. En la Figura 3.15 se muestra el almacenamiento de helados.



Figura 3.15: *Almacenamiento de helados*
Fuente: Elaboración propia

3.8 Evaluación sensorial

Según Cordero (2017), “La evaluación sensorial es una disciplina científica que utiliza los sentidos humanos para medir, analizar e interpretar las características de los alimentos, con el fin de conocer su aceptación o rechazo” (p. 30).

3.8.1 Evaluación sensorial para el helado de leche con relleno de pulpa de arándano

En el presente trabajo se realizaron evaluaciones sensoriales del helado de leche con relleno de pulpa de arándano, con el fin de determinar la aceptación del producto por parte de los consumidores y seleccionar la muestra final. Para ello, las diferentes muestras elaboradas fueron evaluadas por un grupo de jueces no entrenados mediante una escala hedónica de cinco puntos. En la Figura 3.16 se muestran las evaluaciones realizadas durante el desarrollo del helado.

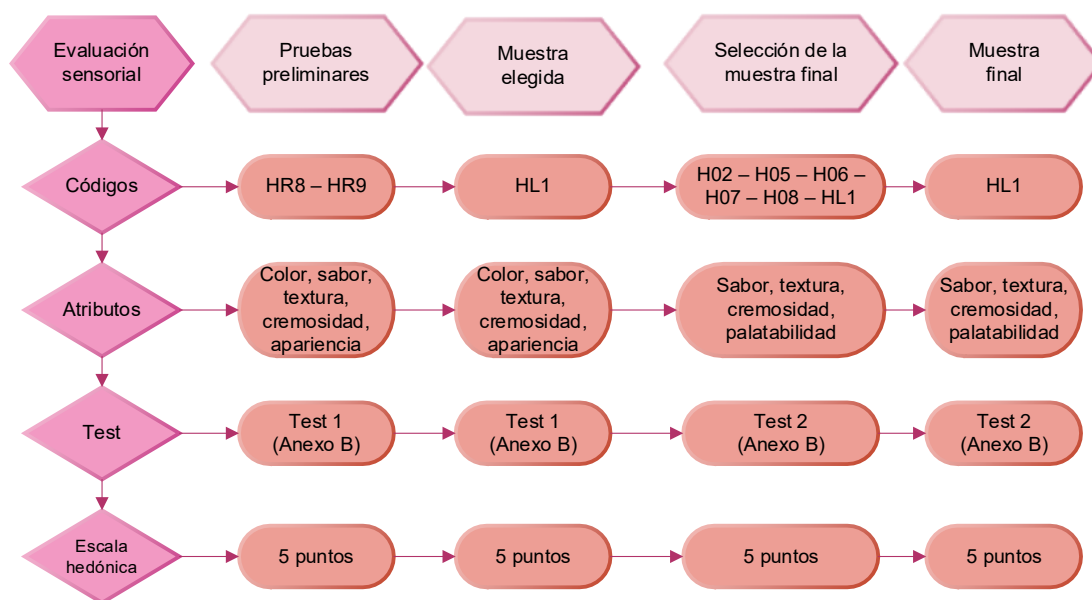


Figura 3.16: *Evaluaciones sensoriales del helado de leche con relleno de pulpa de arándano*

Fuente: Elaboración propia

3.9 Diseño experimental

Según Gutiérrez y de la Vara (2008), “El diseño experimental es la aplicación del método científico que permite estudiar procesos mediante pruebas planificadas, considerando cuidadosamente la unidad experimental y el tipo de diseño según el objetivo del estudio” (p. 6). Por su parte, Walpole et al. (2007) definen el diseño experimental como un enfoque estadístico que permite estudiar procesos mediante

combinaciones de tratamientos asignadas a unidades experimentales, con el fin de analizar sus efectos y tomar decisiones con base en evidencia estadística.

3.9.1 Diseño factorial 2^k

El diseño factorial es un tipo de diseño experimental utilizado para estudiar el efecto sobre una respuesta de k factores, cada uno con dos niveles. Es frecuente que los niveles se denoten por “alto” y “bajo”, aunque esa notación podría ser arbitraria en el caso de variables cualitativas (Gutiérrez y de la Vara, 2008).

Según (Walpole et al, 2007), el diseño factorial completo requiere que cada nivel de cada factor ocurra con cada nivel de cada uno de los demás factores, lo que da un total de 2^k combinaciones de tratamientos (p. 597). Según Gutiérrez y de la Vara (2008), “el diseño factorial 2^3 se usa cuando se quiere investigar la influencia de tres factores como ser A, B y C sobre una o más variables de respuesta, lo que proporciona 8 combinaciones de tratamientos” (p. 183).

3.9.2 Diseño factorial 2^3 en el proceso de dosificación del helado de leche con relleno de pulpa de arándano

Para la elaboración de helado de leche con relleno de pulpa de arándano se aplicó un diseño factorial 2^3 . Los factores tomados en cuenta se muestran en la Tabla 3.8.

Tabla 3.8

Factores en el proceso de dosificación de la mezcla láctea

Factores	Unidad	Símbolo	Número de niveles
Leche en polvo	%	A	2
Crema de leche	%	B	2
Estabilizante (liga neutra)	%	C	2

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 3.9 se muestra la disposición matricial de las variables respuestas que se controlaron en la etapa de dosificación de la mezcla láctea para la obtención del helado de leche con relleno de pulpa de arándano.

Tabla 3.9

Matriz de variables del diseño factorial 2³ en la dosificación de la mezcla láctea del helado

Combinación	Factores			Interacciones				Variables respuesta		
	A	B	C	AB	AC	BC	ABC	Y _{i1}	Y _{i2}	Y _{i3}
(1)	-	-	-	+	+	+	-	Y ₁	Y ₁	Y ₁
a	+	-	-	-	-	+	+	Y ₂	Y ₂	Y ₂
b	-	+	-	-	+	-	+	Y ₃	Y ₃	Y ₃
c	+	+	-	+	-	-	-	Y ₄	Y ₄	Y ₄
ab	-	-	+	+	-	-	+	Y ₅	Y ₅	Y ₅
ac	+	-	+	-	+	-	-	Y ₆	Y ₆	Y ₆
bc	-	+	+	-	-	+	-	Y ₇	Y ₇	Y ₇
abc	+	+	+	+	+	+	+	Y ₈	Y ₈	Y ₈

Fuente: Elaboración propia

Dónde:

Las variables respuestas fueron:

Y_{i1} = Acidez láctica (%)

Y_{i2} = pH

Y_{i3} = Tiempo de congelamiento (min)

3.10 Operacionalización de variables para la elaboración de helado de leche con relleno de pulpa de arándano

En la Tabla 3.10 se presenta la operacionalización de las variables que fueron aplicadas en el trabajo de investigación, donde se define las variables, así como sus respectivos parámetros, indicadores y unidades de medida.

Tabla 3.10

Operacionalización de las variables en la elaboración de helado de leche con relleno de pulpa de arándano

Operacionalización de variables					
Hipótesis	Variables	Definición	Parámetros	Indicadores	Unidades
La aplicación de la metodología experimental de congelación permitirá elaborar helado de leche con relleno de pulpa de arándano de calidad nutricional en el departamento de Tarija.	Independiente	Proceso de congelación	Dosificación	- Leche en polvo - Crema de leche - Estabilizante	% % %
				- Temperatura - Tiempo	°C min
	Dependiente	Helado de leche con relleno de pulpa de arándano	Control Físicoquímico	Calcio Ceniza Grasa Carbohidratos Humedad Proteína total Sólidos totales Valor energético	mg/g % % % % % % Kcal
				<i>Bacterias mesófilas</i> <i>Coliformes totales</i> <i>Staphylococcus</i> <i>Salmonella</i>	UFC/ml
			Evaluación sensorial	Color, sabor, textura, cremosidad, apariencia y palatabilidad	Escala hedónica

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV

CÁLCULOS Y RESULTADOS

4.1 Caracterización del arándano y la leche entera “Prolac”

En la caracterización del arándano y la leche entera se tomaron en cuenta distintos parámetros y los cuales se detallan a continuación:

4.1.1 Caracterización del arándano

En la caracterización del arándano se tomaron en cuenta los análisis físicos, fisicoquímicos y microbiológicos, y los cuales se detallan a continuación:

4.1.1.1 Propiedades físicas del arándano

En la Tabla 4.1 se presentan los parámetros físicos tomados en cuenta en 15 muestras de arándanos, seleccionadas al azar y aleatoriamente, provenientes del Valle Central de Tarija:

Tabla 4.1

Propiedades físicas del arándano

Muestras	Diámetro (mm)	Peso (g)	°Brix
1	14,00	1,83	11,80
2	16,00	1,93	12,00
3	16,00	1,98	11,50
4	15,00	1,65	11,00
5	17,00	1,84	12,00
6	16,00	1,89	11,60
7	18,00	1,93	10,70
8	17,00	1,69	12,10
9	15,00	1,84	11,50
10	15,00	1,44	11,20
11	15,00	1,24	12,00
12	17,00	1,88	11,00
13	12,00	1,92	11,50
14	15,00	1,53	10,90
15	14,00	1,63	11,60
$\bar{X}$	15,47	1,75	11,49
σ	1,51	0,21	0,45

Fuente: Elaboración propia

Donde:

$\bar{X}$ = promedio

σ = Desviación estándar

Los valores promedio del diámetro, peso y °Brix se calcularon según la Ecuación 4.1 citada por (Montgomery & Runger, 2014):

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad \text{(Ecuación 4.1)}$$

La dispersión de los datos se determinó utilizando la desviación estándar, según la Ecuación 4.2 citada por (Montgomery & Runger, 2014), para determinar la variabilidad de los parámetros físicos de las muestras de arándano.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i)^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n x_i)^2}{n}}{n-1}} \quad \text{(Ecuación 4.2)}$$

Según la Tabla 4.1 se puede observar los resultados de las propiedades físicas del arándano. El diámetro promedio es 15,47 mm, con una desviación estándar de 1,51, mientras que el peso promedio es 1,75 g, con desviación estándar de 0,21. En cuanto a los sólidos solubles se obtiene un promedio de 11,49 °Brix, con desviación estándar de 0,45, del total de 15 muestras analizadas. Estos resultados indican una baja variabilidad entre las muestras de arándano.

4.1.1.2 Análisis fisicoquímicos del arándano

En la Tabla 4.2, se detallan los resultados obtenidos del análisis fisicoquímico del arándano de los datos extraídos del (Anexo A).

Tabla 4.2

Análisis fisicoquímicos del arándano

Parámetros	Unidades	Valor
Calcio	mg/100g	13,00
Cenizas	g/100g	0,44
Grasa	g/100g	0,25
Hidratos de carbono	g/100g	14,62
Humedad	g/100g	84,07
Potasio	mg/100g	65,80
Proteína total (Nx6,25)	g/100g	0,62
Valor energético	Kcal/100g	65,00

Fuente: CEANID, 2025.

Según los resultados presentados en la Tabla 4.2, se observa que el arándano contiene: calcio 13 mg/100g, cenizas 0,44 g/100g, grasa 0,25 g/100g, hidratos de carbono 14,62 g/100g, humedad 84,07 g/100g, potasio 65,8 mg/100g, proteína total (Nx6,25) 0,62g/100g y valor energético de 65 Kcal/100g.

4.1.1.3 Análisis microbiológicos del arándano

En la Tabla 4.3, se detallan los resultados obtenidos del análisis microbiológico del arándano de datos extraídos del (Anexo A).

Tabla 4.3

Análisis microbiológicos del arándano

Microorganismos	Unidades	Valor
Coliformes totales	UFC/g	$< 1,0 \times 10^1$ (*)
<i>Salmonella</i>	P/A/25g	Ausencia

(*): No se observa desarrollo de colonias

Fuente: CEANID, 2025

Según los resultados de la Tabla 4.3, obtenidos del análisis microbiológico del arándano se observa que presenta: Coliformes totales $< 1,0 \times 10^1$ (*) UFC/g, en donde (*) no se observa desarrollo de colonias y hay ausencia de *Salmonella* (P/A/25g).

4.1.2 Caracterización de la leche entera “Prolac”

En la caracterización de la leche entera “Prolac” se tomó en cuenta los siguientes aspectos como ser: propiedades fisicoquímicas y microbiológicas.

4.1.2.1 Análisis fisicoquímicos de leche entera “Prolac”

En la Tabla 4.4, se detallan los resultados obtenidos del análisis fisicoquímico de la leche entera “Prolac” de datos extraídos del (Anexo A).

Tabla 4.4

Análisis fisicoquímicos de la leche entera “Prolac”

Parámetros	Unidades	Valor
Cenizas	g/100g	0,75
Grasa	g/100g	2,50
Hidratos de carbono	g/100g	4,94
Humedad	g/100g	88,80
Proteína total (Nx6,38)	g/100g	3,01
Valor energético	Kcal/100g	53,00

Fuente: CEANID, 2025

Según los resultados presentados en la Tabla 4.4, se observa que la leche entera “Prolac” contiene: cenizas 0,75 g/100g, grasa 2,50 g/100g, hidratos de carbono 4,94 g/100g, humedad 88,80 g/100g, proteína total (Nx6,38) 3,01 g/100g y valor energético de 53 Kcal/100g.

4.1.2.2 Análisis microbiológicos de la leche entera “Prolac”

En la Tabla 4.5, se detallan los resultados obtenidos del análisis microbiológico de la leche entera “Prolac” estos datos fueron extraídos del (Anexo A).

Tabla 4.5

Análisis microbiológicos de la leche entera Prolac

Microorganismos	Unidades	Valor
Bacterias aeróbicas mesófilas	UFC/ml	$1,5 \times 10^2$
<i>Staphylococcus aureus</i>	UFC/ml	$< 1,0 \times 10^1$ (*)
(*): No se observa desarrollo de colonias		

Fuente: CEANID, 2025

Según los resultados de la Tabla 4.5, obtenidos del análisis microbiológico de la leche entera Prolac se observa que presenta: Bacterias aerobias mesófilas $2,2 \times 10^5$ UFC/ml y *Staphylococcus aureus* $< 1,0 \times 10^1$ UFC/ml, en donde (*) = No se observa desarrollo de colonias.

4.2 Caracterización de las variables del proceso de elaboración de helado de leche con relleno de pulpa de arándano

Para realizar la caracterización de las variables de proceso del helado de leche con relleno de pulpa de arándano se consideró los siguientes aspectos:

4.2.1 Pruebas experimentales del helado de leche con relleno de pulpa de arándano

Para el desarrollo experimental, se inició con la elaboración de muestras de pulpa de arándano, debido a su limitada disponibilidad comercial en el mercado local. Estas fueron incorporadas y evaluadas dentro del helado con el fin de seleccionar la más adecuada y continuar con las pruebas iniciales del helado de leche con relleno de pulpa de arándano. En las pruebas iniciales se realizó el ensayo 2 y el ensayo 3, donde las muestras de helado fueron evaluadas de manera subjetiva, lo que permitió seleccionar las de mejores características. Posteriormente, se realizó una prueba preliminar que permitió obtener la muestra elegida (HL1). Estas pruebas se presentan en la Figura 4.1.

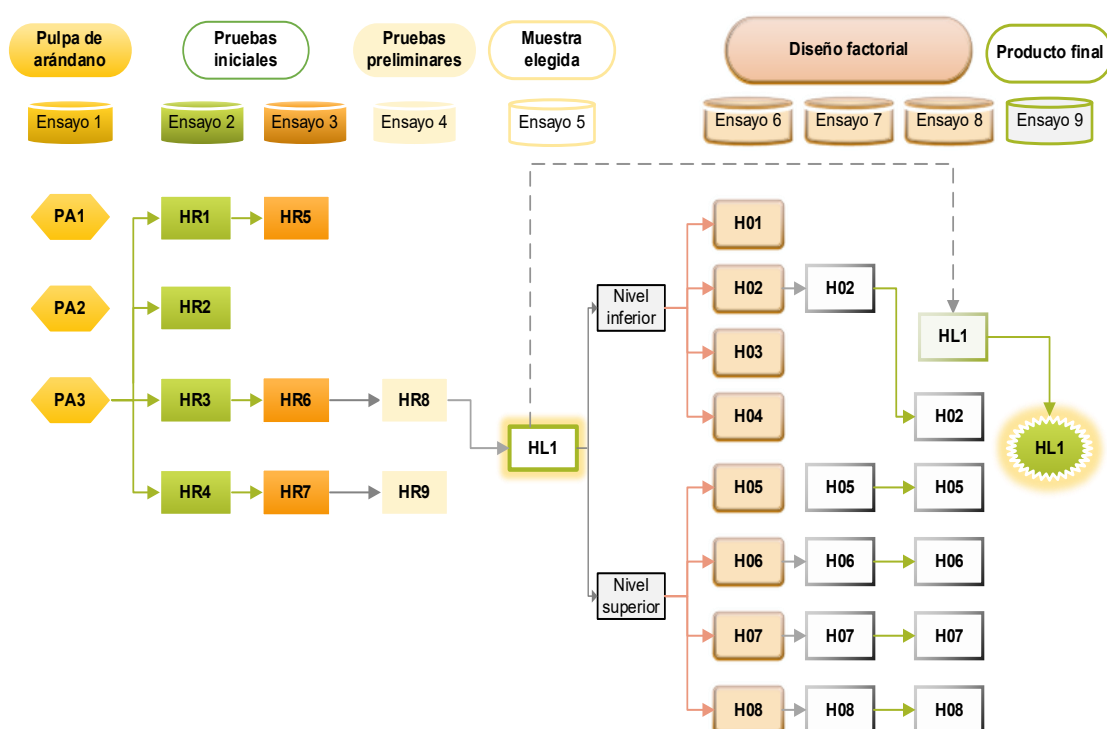


Figura 4.1: Esquema de aplicación para la metodología experimental

Fuente: Elaboración propia

4.2.1.1 Caracterización de la pulpa de arándano ensayo 1

Para la caracterización de la pulpa de arándano, se desarrollaron tres muestras (PA1, PA2 y PA3) mediante la incorporación de diferentes proporciones de azúcar y estabilizante (liga neutra), con el fin de ajustar parámetros como sólidos solubles, pH y acidez. En la Tabla 4.6 se presentan los parámetros de control correspondientes a las muestras evaluadas.

Tabla 4.6

Parámetros de control de la pulpa de arándano

Muestra	Arándano (%)	Azúcar (%)	Liga neutra (%)	Parámetros de control		
				°Brix	pH	Acidez
P1	69,90	30	0,10	40	3,90	0,20
P2	74,90	25	0,10	32	3,40	0,25
P3	78,60	21	0,40	28	3,32	0,38

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con los resultados presentados en la Tabla 4.6, se evidencian diferencias en los valores de °Brix, pH y acidez entre las muestras, atribuibles a las variaciones en la proporción de azúcar y estabilizante. La muestra PA1 presentó el mayor contenido de sólidos solubles (40 °Brix) y menor acidez, mientras que la muestra PA3 presentó un menor valor de °Brix (28), mayor acidez (0,38) y pH más bajo. Las muestras fueron evaluadas de manera subjetiva dentro del helado, considerando la influencia de la mezcla láctea en la percepción del sabor, especialmente en la acidez. Con base en esta evaluación, se seleccionó la muestra PA3 como la más adecuada, debido a su mejor aceptación sensorial.

4.2.2 Pruebas iniciales del helado de leche con relleno de pulpa de arándano ensayo 2

Para el presente trabajo de investigación para el ensayo 2, se realizaron cuatro pruebas iniciales de helado de leche con relleno de pulpa de arándano, correspondientes a las formulaciones (HR1, HR2, HR3 y HR4), en la cual se pidió a los jueces evaluar atributos como: textura, cremosidad, acidez, apariencia y sabor. Las pruebas se realizaron con el fin de seleccionar tres muestras de helado según las preferencias de los jueces. Las valoraciones de las pruebas iniciales se detallan en la Figura 4.2.

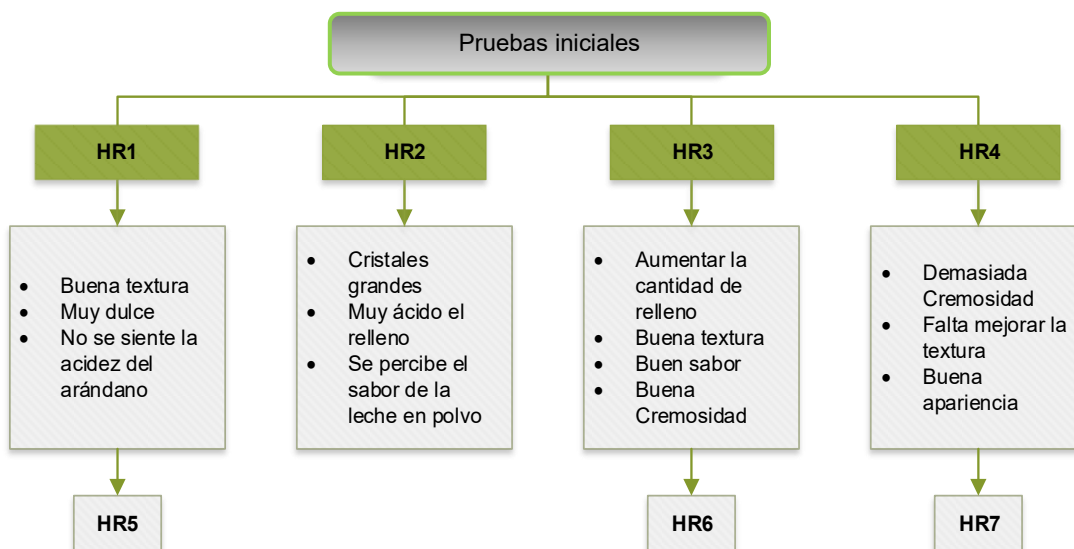


Figura 4.2: Pruebas iniciales de helado de leche con relleno

Fuente: Elaboración propia

Según la Figura 4.2 en base a la evaluación realizada por los evaluadores, se puede observar que las muestras HR1, HR3 Y HR4 son las de mayor preferencia por tener una mejor textura y cristales más pequeños, en comparación con la muestra HR2 que presenta cristales muy grandes en su estructura.

En la Tabla 4.7 se presentan los rangos de dosificación de los componentes de la mezcla láctea del helado correspondientes a las pruebas subjetivas realizadas.

Tabla 4.7

Variación en la dosificación de los componentes de la mezcla láctea del helado

Materia prima e insumos	Rango	Unidad
Leche entera	58 - 68	%
Leche en polvo entera	4 - 12	%
Azúcar	10 - 14	%
Dextrosa	1 - 3	%
Crema de leche	5 - 15	%
Estabilizante	0,5 - 1	%

Fuente: Elaboración propia

4.2.3 Pruebas iniciales de helado de leche con relleno de pulpa de arándano, ensayo 3

Como resultado de las pruebas subjetivas del ensayo 2, las muestras seleccionadas se utilizaron para elaborar tres nuevas formulaciones identificadas como HR5, HR6 y HR7, con el fin de obtener dos muestras con mayor preferencia por parte de los evaluadores. Estas formulaciones fueron desarrolladas reformulando la dosificación de los ingredientes, con el propósito de mejorar las características del helado en función de los atributos evaluados por los jueces, tales como textura, cremosidad, dulzor, acidez, apariencia y sabor. En la Figura 4.3, se presenta la dosificación correspondiente a estas muestras.

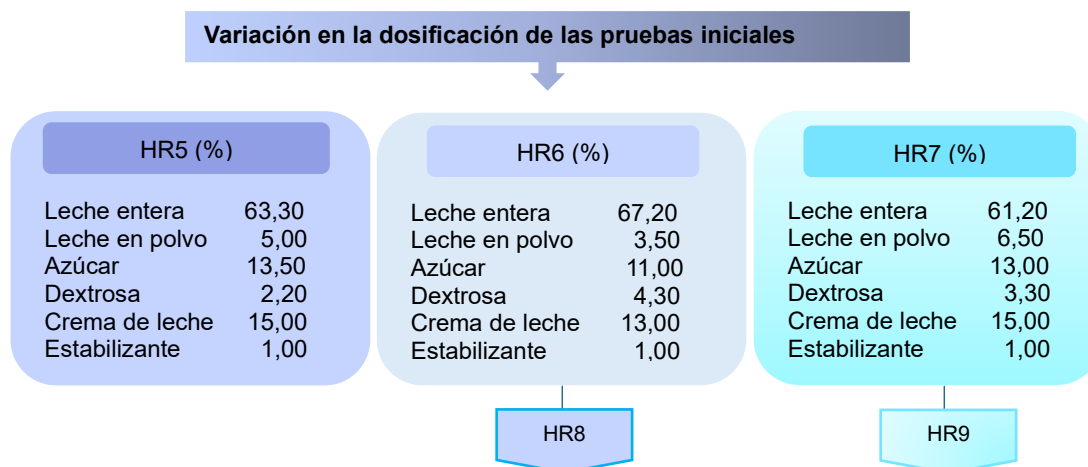


Figura 4.3: Variación en la dosificación de las pruebas iniciales

Fuente: Elaboración propia

4.2.3.1 Análisis fisicoquímico de las pruebas iniciales de helado de leche con relleno de pulpa de arándano, ensayo 3

El análisis fisicoquímico de las muestras (HR5, HR6 y HR7), se realizó con el fin de conocer las diferencias en parámetros como la acidez y el contenido de grasa. Asimismo, esta información sirve como base para el ajuste y mejora de la formulación. A continuación, se detallan los resultados de cada muestra:

En la Tabla 4.8 se presentan los resultados obtenidos del análisis fisicoquímico de la muestra HR5 de datos extraídos del Anexo A.

Tabla 4.8

Análisis fisicoquímico de la muestra HR5

Parámetros	Unidades	Valor
Acidez (como ac.láctico)	g/100g	0,32
Grasa	g/100g	1,19

Fuente: CEANID, 2025

En la Tabla 4.9, se presenta los resultados obtenidos del análisis fisicoquímico de la muestra HR6 de datos extraídos del (Anexo A).

Tabla 4.9***Análisis fisicoquímicos de la muestra HR6***

Parámetros	Unidades	Valor
Acidez (como ac.láctico)	g/100g	0,32
Grasa	g/100g	1,85

Fuente: CEANID, 2025

En la Tabla 4.10, se detallan los resultados obtenidos del análisis fisicoquímico de la muestra HR7 de datos extraídos del (Anexo A).

Tabla 4.10***Análisis fisicoquímicos de la muestra HR7***

Parámetros	Unidades	Valor
Acidez (como ac.láctico)	g/100g	0,27
Grasa	g/100g	1,08

Fuente: CEANID, 2025

Según los resultados, la acidez presenta valores similares entre las muestras, con 0,32 g/100g en HR5 y HR6, y 0,27 g/100g en HR7. En cambio, el contenido de grasa muestra diferencias más notorias, siendo mayor en la muestra HR6 (1,85 g/100g), seguida de HR5 (1,19 g/100g) y HR7 (1,08 g/100g).

4.2.3.2 Determinación del punto de congelación inicial de las pruebas iniciales de helado de leche con relleno de pulpa de arándano

La determinación del punto inicial de congelación de las muestras HR5, HR6 y HR7 se realizó mediante crioscopia, utilizando un volumen de 2 ml de mezcla láctea de helado, conforme a las especificaciones del equipo (crioscopio). Este análisis se efectuó con el fin de determinar y comparar el punto inicial de congelación de cada muestra y analizar su variación en función de la composición de la mezcla. Los datos obtenidos se presentan en la Tabla 4.11.

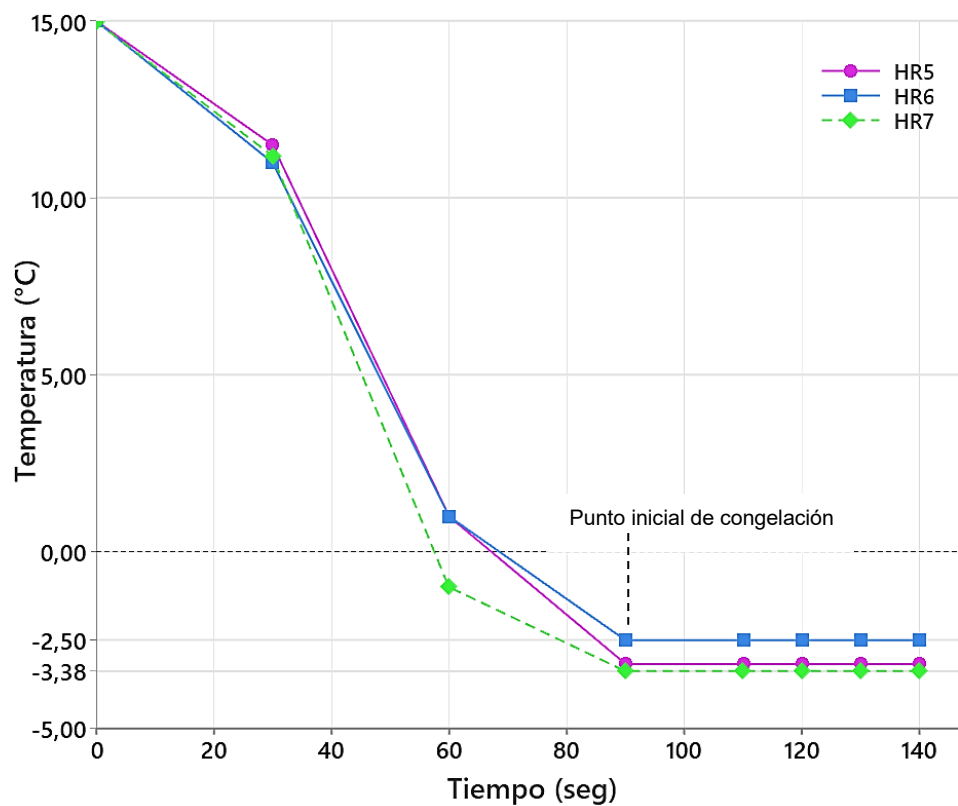
Tabla 4.11

Determinación del punto de congelación inicial de las pruebas iniciales

Tiempo (min)	Temperatura (°C)		
	Muestra HR5	Muestra HR6	Muestra HR7
0	25,00	25,00	25,00
30	11,50	11,00	12,00
60	0,00	1,00	1,00
90	-1,00	-1,00	-2,00
110	-2,00	-2,00	-3,00
120	-3,17	-2,50	-3,15
130	-3,17	-2,50	-3,38

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 4.4 se presenta la gráfica del descenso crioscópico de la mezcla láctea de las muestras (HR5, HR6 y HR7) realizada a partir de los datos obtenidos en la Tabla 4.11.

**Figura 4.4:** Descenso crioscópico de las muestras iniciales de helado

Fuente: Elaboración propia

Los valores registrados fueron de $-3,38\text{ }^{\circ}\text{C}$ para HR7, $-3,17\text{ }^{\circ}\text{C}$ para HR5 y $-2,50\text{ }^{\circ}\text{C}$ para HR6, lo que indica que HR7 presenta mayor concentración de solutos provenientes de azúcares y componentes lácteos, lo que provoca un mayor descenso del punto de congelación; mientras que HR6, con menor descenso ($-2,50\text{ }^{\circ}\text{C}$), presenta menor concentración de solutos y mayor proporción de agua libre. Estos resultados se relacionan con el descenso crioscópico, propiedad de las soluciones en la cual la presencia de solutos disminuye la temperatura de congelación, debido a que dificultan la formación de cristales de hielo en el agua del helado. Esto permite relacionar la composición de la mezcla láctea con su comportamiento de congelación y su influencia en la textura del helado.

4.2.3.3 Determinación del tiempo y temperatura de congelación de las pruebas iniciales de helado de leche con relleno de pulpa de arándano

Para determinar el tiempo de congelación de las muestras de helado, se utilizó un termómetro digital con sonda, donde se registró la temperatura cada 5 minutos. Los datos obtenidos se presentan en la Tabla 4.12.

Tabla 4.12

Determinación del tiempo de congelación de las pruebas iniciales

Tiempo (min)	Temperaturas ($^{\circ}\text{C}$)		
	Muestra HR5	Muestra HR6	Muestra HR7
0	15	15	15
5	4	4	6
10	-1	-2	1
15	-3	-2	-3
20	-3	-2	-3
25	-4	-4	-3
30	-5	-4	-4
35	-5	-6	-4
40	-7	-10	-6
45	-10	-14	-8
50	-14	-18	-11
55	-17	-22	-14

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 4.5 se muestra la curva de congelación de acuerdo a los datos de la Tabla 4.12.

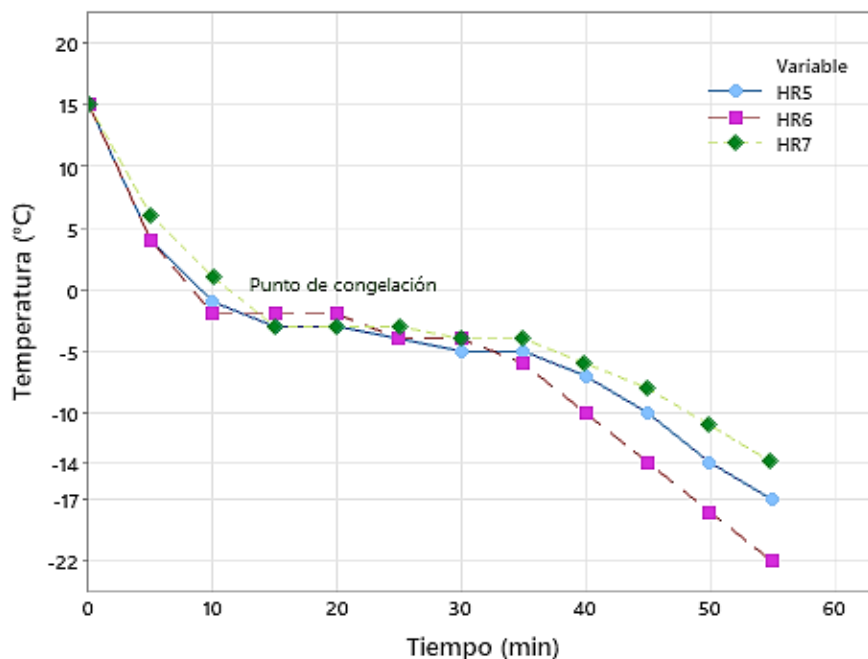


Figura 4.5: Curva de congelación de las pruebas iniciales de helado
Fuente: Elaboración propia

En la Figura 4.5, se observa la curva de congelación de las muestras HR5, HR6 y HR7 de helado de leche con relleno de pulpa de arándano, donde las muestras inicialmente tienen una temperatura de (15 °C) y descienden progresivamente hasta valores inferiores a (0 °C), correspondiente a la etapa de precongelación, en la cual la mezcla se enfría sin formación de hielo. La etapa de congelación se inicia cuando las muestras alcanzan el punto inicial de congelación, previamente determinado en – (2,50 °C) para HR6, (-3,17 °C), para HR5 y (-3,38 °C) para HR7, a partir de los cuales se inicia la formación de cristales de hielo y la liberación de calor latente. Alrededor de los 30–35 minutos se observa la etapa de subenfriamiento, en la cual la temperatura continúa descendiendo; donde a los 55 minutos, HR6 alcanza (-22 °C), siendo la muestra que congela más rápido, seguida de HR5 (-17 °C) y finalmente HR7 (-14 °C). Estas diferencias se relacionan con la composición de las muestras, ya que HR7 presenta mayor contenido de sólidos provenientes de la leche en polvo y la crema de leche, lo que disminuye el punto de congelación y hace más lento el

proceso, mientras que HR6, con menor contenido de estos sólidos, presenta una congelación más rápida, influyendo en la formación de cristales de hielo y en la textura final del helado.

4.2.4 Prueba preliminar de helado de leche con relleno de pulpa de arándano

En la Figura 4.6 se muestra la dosificación de las muestras HR8 y HR9, elaboradas a partir de las muestras seleccionadas mediante valoración subjetiva. La evaluación sensorial de la prueba preliminar de helado de leche con relleno de pulpa de arándano, se llevó a cabo con 20 jueces no entrenados, con una escala de 5 puntos, en donde se valoraron los atributos de: color, sabor, textura, cremosidad y apariencia, con el fin de seleccionar, entre ambas, la muestra con mayor aceptación.



Figura 4.6: Variación en la dosificación de las pruebas preliminares

Fuente: Elaboración propia

4.2.4.1 Estadístico caja y bigote para la prueba preliminar de helado de leche con relleno de pulpa de arándano

En la Figura 4.7, se muestra el estadístico de caja y bigote en función de las muestras HR8 y HR9, para los atributos: color, sabor, textura, cremosidad y apariencia para las pruebas de helado de leche con relleno de pulpa de arándano.

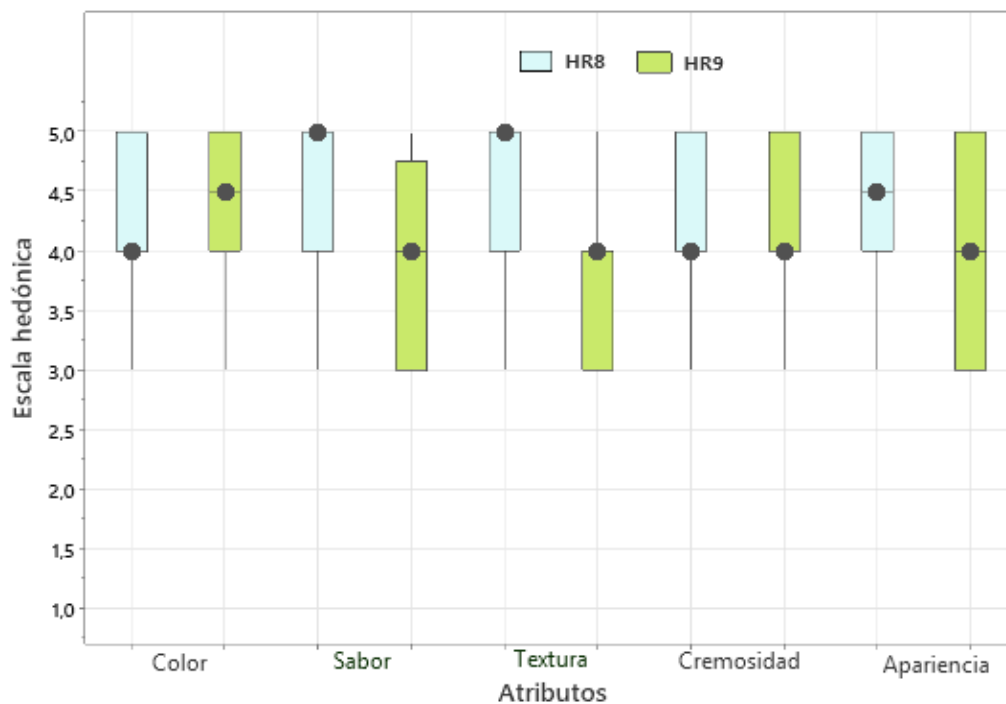


Figura 4.7: Caja y bigote de pruebas preliminares

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 4.7 se puede observar los resultados de las medianas en función de los atributos evaluados en las muestras. Para los atributos sabor y textura, la muestra HR8 presenta una mediana de (5,0), superior a la de la muestra HR9 (4,0), lo que indica que el 50 % de los jueces que evaluaron dieron una puntuación iguales o menores a 5,0. En cuanto al atributo apariencia la muestra HR8 tiene una mediana de 4,5 superior al de la muestra HR9 (4,0). La selección de la muestra se realizó mediante un análisis de varianza, con el fin de comprobar la existencia de diferencias significativas entre las muestras evaluadas.

4.2.4.2 Análisis de varianza para el atributo sabor de pruebas preliminares de helado de leche con relleno de pulpa de arándano

En la Tabla 4.13, se muestran los resultados del análisis de varianza para el atributo sabor de datos extraídos del (Anexo C).

Tabla 4.13***Análisis de varianza del atributo sabor***

Fuente	(SC)	(G.L)	(C.M)	(Fcal)	(Ftab)
Muestras	3,03	1	3,03	4,60	4,38
Jueces	7,48	19	0,39	0,59	2,17
Error	12,47	19	0,66		
Total	22,98	39			

Fuente: Elaboración propia

Según el análisis de varianza presentado en la Tabla 4.13, se observa que, en las muestras, el valor de $F_{cal} > F_{tab}$. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis planteada, concluyendo que existen diferencias estadísticamente significativas en el atributo sabor entre las muestras HR8 y HR9, con un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$.

4.2.4.3 Análisis de varianza para el atributo textura de pruebas preliminares de helado de leche con relleno de pulpa de arándano

En la Tabla 4.14, se muestran los resultados del análisis de varianza para el atributo textura de datos extraídos del (Anexo C).

Tabla 4.14***Análisis de varianza del atributo textura***

Fuente	(SC)	(G.L)	(C.M)	(Fcal)	(Ftab)
Muestras	3,60	1	3,60	4,74	4,38
Jueces	9,60	19	0,51	0,67	2,17
Error	14,40	19	0,76		
Total	27,60	39			

Fuente: Elaboración propia

Según el análisis de varianza presentado en la Tabla 4.14, se observa que, en las muestras, el valor de $F_{cal} > F_{tab}$. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis planteada, concluyendo que existen diferencias estadísticamente significativas en el atributo textura entre las muestras HR8 y HR9, con un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$.

4.3 Diseño factorial 2^3 en la dosificación de la mezcla láctea del helado de leche con relleno de pulpa de arándano

Para realizar el diseño factorial 2^3 en la etapa de dosificación de la mezcla láctea del helado de leche con relleno de pulpa de arándano, se tomó en cuenta la Tabla 3.1 y Tabla 3.2. donde se presenta los factores y la matriz de variables. En la parte experimental se realizaron ocho muestras según las dosificaciones presentadas en la Tabla 4.15 que corresponden a la variación de los factores leche en polvo, crema de leche y liga neutra.

Tabla 4.15

Dosificación de los factores del diseño factorial

Muestras	Leche en polvo (%)	Crema de leche (%)	Liga neutra (%)
H01	3,0	11,0	0,5
H02	6,0	11,0	0,5
H03	3,0	15,0	0,5
H04	6,0	15,0	0,5
H05	3,0	11,0	1,0
H06	6,0	11,0	1,0
H07	3,0	15,0	1,0
H08	6,0	15,0	1,0

Fuente: Elaboración propia

4.3.1 Dosificación de la mezcla láctea para el factor crema de leche

En la Tabla 4.16 se presenta la dosificación de las ocho muestras del diseño factorial 2^3 , en la cual se detalla la composición de la mezcla láctea. Estas formulaciones fueron establecidas considerando la variación del factor crema de leche dentro del diseño experimental. Las formulaciones obtenidas fueron analizadas mediante un análisis de varianza, con el fin de evaluar la influencia del factor sobre las variables pH, acidez y tiempo de congelación.

Tabla 4.16

Dosificación de las muestras para el factor crema de leche

H01 (%)		H02(%)		H03(%)		H04(%)	
Leche entera	70,20	Leche entera	67,20	Leche entera	66,20	Leche entera	63,20
Leche en polvo	3,00	Leche en polvo	6,00	Leche en polvo	3,00	Leche en polvo	6,00
Azúcar	12,00	Azúcar	12,00	Azúcar	12,00	Azúcar	12,00
Dextrosa	3,30	Dextrosa	3,30	Dextrosa	3,30	Dextrosa	3,30
Crema de leche	11,00	Crema de leche	11,00	Crema de leche	15,00	Crema de leche	15,00
Estabilizante	0,50	Estabilizante	0,50	Estabilizante	0,50	Estabilizante	0,50

H05 (%)		H06 (%)		H07 (%)		H08 (%)	
Leche entera	69,70	Leche entera	66,70	Leche entera	65,70	Leche entera	62,70
Leche en polvo	3,00	Leche en polvo	6,00	Leche en polvo	3,00	Leche en polvo	6,00
Azúcar	12,00	Azúcar	12,00	Azúcar	12,00	Azúcar	12,00
Dextrosa	3,30	Dextrosa	3,30	Dextrosa	3,30	Dextrosa	3,30
Crema de leche	11,00	Crema de leche	11,00	Crema de leche	15,00	Crema de leche	15,00
Estabilizante	1,00	Estabilizante	1,00	Estabilizante	1,00	Estabilizante	1,00

Fuente: Elaboración propia

4.3.2 Análisis de varianza para la variable pH en la etapa de dosificación de la mezcla láctea

Con base al diseño aplicado en la etapa de dosificación de la mezcla láctea, se realizó el análisis de varianza para la variable pH mediante el software Statgraphics y cuyos resultados se presentan en la Tabla 4.17.

Tabla 4.17

Análisis de varianza para la variable pH en la etapa de dosificación de la mezcla láctea del helado

Fuente de varianza	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrados Medios	Fcal	Valor-p
A: Leche en polvo	0,018	1	0,018	39,330	0,000
B: Crema de leche	0,000	1	0,000	0,170	0,688
C: Estabilizante	0,001	1	0,001	1,130	0,318
AB	0,001	1	0,001	1,230	0,299
AC	0,001	1	0,001	11,730	0,009
BC	0,006	1	0,006	13,880	0,006
ABC	0,000	1	0,000	0,190	0,672
Error total	0,004	8	0,000		
Total	0,035	15			

Fuente: Elaboración propia

Según el análisis de varianza de la Tabla 4.17, el factor A (leche en polvo) y las interacciones AC y BC presentaron efectos significativos sobre la variable pH, debido a que sus valores-p fueron menores a 0,05. Por otro lado, los factores B (crema de leche), C (estabilizante) y las interacciones AB y ABC no mostraron diferencias significativas, ya que sus valores-p fueron mayores a 0,05. Por tanto, se concluye que la leche en polvo y las interacciones AC y BC influyen significativamente sobre el pH de la mezcla láctea, con un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$.

En la Figura 4.8, se muestran los efectos principales para los factores; A, B y C con relación a la variable pH.

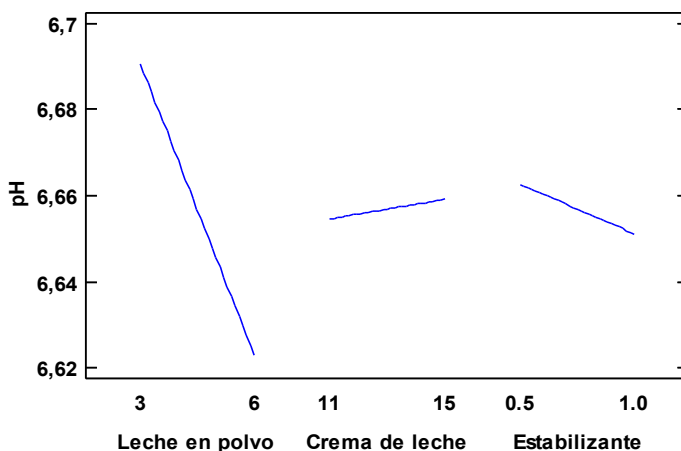


Figura 4.8: *Efectos principales para pH*
Fuente: Elaboración propia

En la Figura 4.8 se presentan los efectos principales de los factores A (leche en polvo), B (crema de leche) y C (estabilizante) sobre el pH. Se observa que el factor A (leche en polvo) presenta mayor efecto sobre la variable respuesta, ya que al aumentar su nivel el pH disminuye de forma más pronunciada. En cambio, los factores B (crema de leche) y C (estabilizante) muestran pendientes leves, evidenciando un efecto reducido sobre el pH.

En la Figura 4.9, se muestra las interacciones para los factores AB, AC y BC en función a la variable pH.

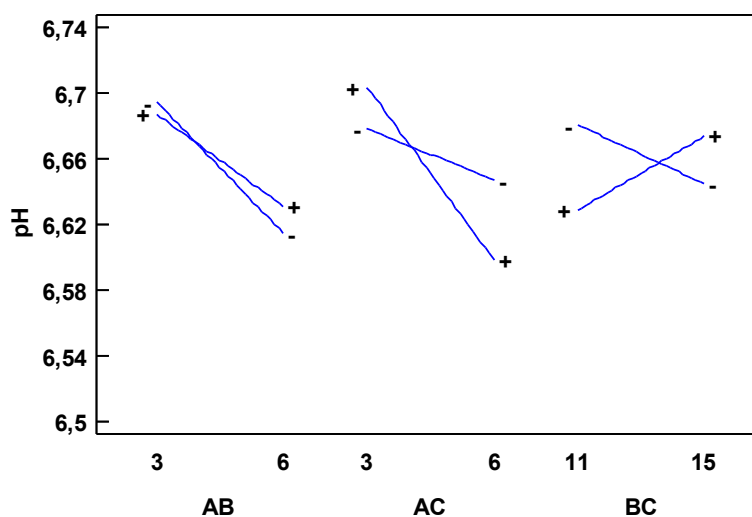


Figura 4.9: *Interacción de factores para pH*
Fuente: Elaboración propia

En la Figura 4.9 se observa que la interacción entre la leche en polvo (A) y crema de leche (B) presenta líneas casi paralelas, indicando que su efecto combinado sobre el pH es poco significativo. Por otro lado, la interacción entre la leche en polvo (A) y el estabilizante (C) muestra divergencia en las líneas, lo que sugiere que el efecto de la leche en polvo sobre el pH depende del nivel de estabilizante. Finalmente, la interacción entre la crema de leche (B) y el estabilizante (C) presenta cruce de líneas, evidenciando una interacción marcada sobre el pH.

En la Figura 4.10, se muestra el diagrama de Pareto estandarizado para los factores tomados en cuenta para el diseño factorial.

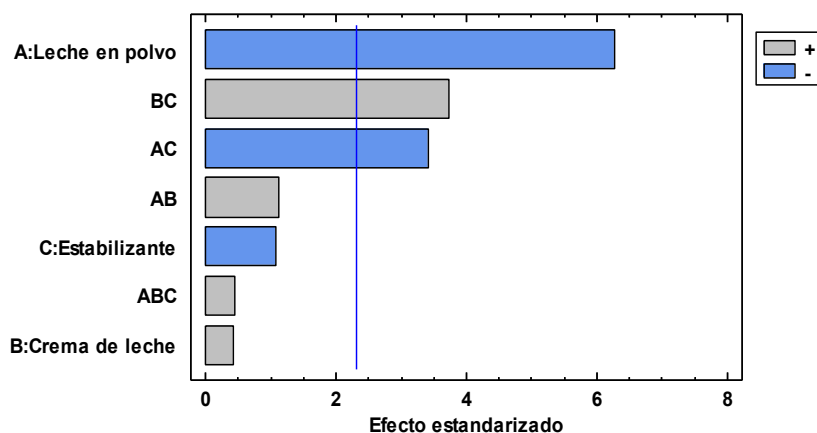


Figura 4.10: *Diagrama de Pareto estandarizada para pH*
Fuente: Elaboración propia

Según el diagrama de Pareto, los factores A (Leche en polvo), BC y AC son estadísticamente significativos para la variable pH, ya que presentan efectos estandarizados de mayor magnitud, sobrepasando la línea de referencia. Esto indica que estos factores tienen un impacto significativo sobre el pH de la mezcla láctea. Por el contrario, los factores AB, C (Estabilizante), B (crema de leche) y la interacción ABC no son estadísticamente significativos, dado que sus efectos estandarizados son más pequeños y no alcanzan a sobrepasar la línea de referencia.

4.3.3 Análisis de varianza para la variable acidez en la etapa de dosificación de mezcla láctea

Con base en el diseño aplicado en la etapa de dosificación de la mezcla láctea, se realizó el análisis estadístico de varianza para la variable acidez, mediante el software Statgraphics, cuyos resultados se presentan en la Tabla 4.18.

Tabla 4.18

Análisis de varianza para la variable acidez en la etapa de dosificación de la mezcla láctea del helado

Fuente de varianza	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrados Medios	Fcal	Valor-p
A: Leche en polvo	0,007	1	0,007	82,570	0,000
B: Crema de leche	0,000	1	0,000	4,570	0,065
C: Estabilizante	0,007	1	0,007	82,570	0,000
AB	0,001	1	0,001	10,290	0,012
AC	0,001	1	0,001	14,000	0,005
BC	0,006	1	0,006	73,140	0,000
ABC	0,003	1	0,003	28,570	0,000
Error total	0,001	8	0,000		
Total	0,026	15			

Fuente: Elaboración propia

Según el análisis de varianza de la Tabla 4.18, los factores A (leche en polvo) y C (estabilizante), así como las interacciones AB, AC, BC y ABC, presentaron efectos significativos sobre la acidez de la mezcla láctea, debido a que sus valores-p fueron menores a 0,05. Por otro lado, el factor B (crema de leche) no mostró diferencias significativas, ya que su valor-p fue mayor a 0,05. Por tanto, se concluye que la acidez depende principalmente de la leche en polvo, el estabilizante y de la interacción entre los factores evaluados, con un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$.

En la Figura 4.11, se muestran los efectos principales para los factores; A, B y C con relación a la variable acidez.

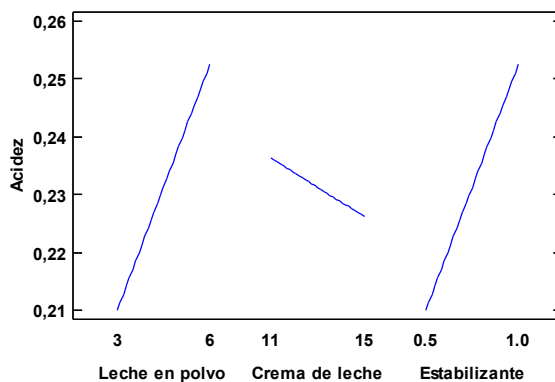


Figura 4.11: Efectos principales para acidez

Fuente: Elaboración propia

Según la Figura 4.11, los factores leche en polvo (A) y estabilizante (C) presentan mayor efecto sobre la variable acidez, ya que, al aumentar sus niveles, la acidez también aumenta. En cambio, la crema de leche (B) muestra un efecto negativo, disminuyendo ligeramente la acidez al aumentar su nivel. Esto indica que A y C tienen mayor influencia sobre la acidez que B.

En la Figura 4.12, se muestra las interacciones para los factores AB, AC y BC en función a la variable respuesta acidez.

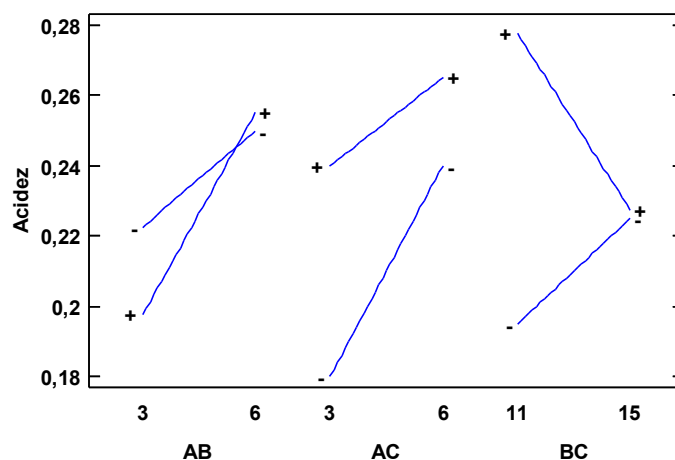


Figura 4.12: Interacción de factores para acidez
Fuente: Elaboración propia

En la Figura 4.12 se observa que la interacción entre la leche en polvo (A) y estabilizante (C) presenta líneas paralelas, indicando que su efecto combinado sobre la acidez es poco significativo. Por otro lado, la interacción entre la leche en polvo (A) y crema de leche (B) muestra divergencia en las líneas, esto indica que el efecto de la leche en polvo sobre la acidez depende del nivel de crema de leche. Mientras que la interacción entre la crema de leche (B) y el estabilizante (C) es poco significativa.

En la Figura 4.13, se muestra el diagrama de Pareto estandarizado para los factores tomados en cuenta para el diseño factorial.

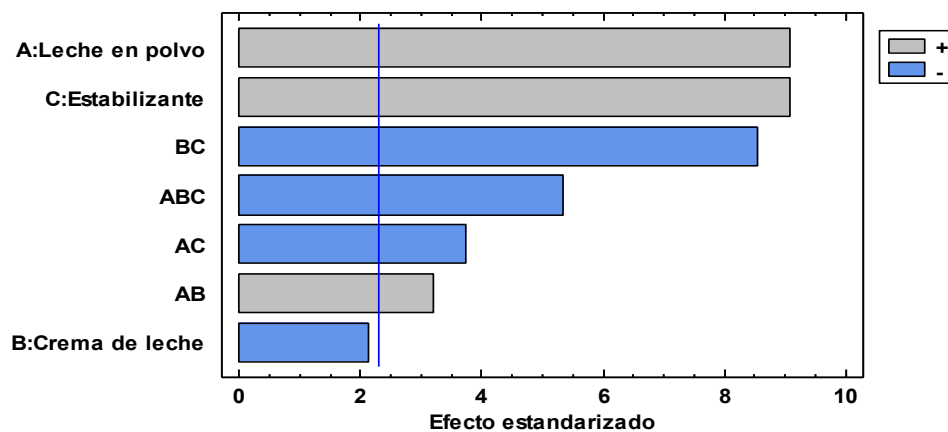


Figura 4.13: *Diagrama de Pareto estandarizada para acidez*

Fuente: Elaboración propia

Según el diagrama de Pareto, los factores A (Leche en polvo), C (estabilizante), BC, ABC, AC y AB son estadísticamente significativos para la variable acidez, ya que presentan efectos estandarizados de mayor magnitud, sobrepasando la línea de referencia. Esto indica que estos factores tienen un impacto significativo sobre la acidez de la mezcla láctea. Por el contrario, el factor B (crema de leche) no es estadísticamente significativo.

4.3.4 Análisis de varianza para la variable tiempo de congelación del helado de leche con relleno de pulpa de arándano

Con base en el diseño aplicado en la etapa de dosificación de la mezcla láctea, se realizó el análisis estadístico de varianza para la variable tiempo de congelación, mediante el software Statgraphics, cuyos resultados se presentan en la Tabla 4.19.

Tabla 4.19

Análisis de varianza para la variable tiempo de congelación del helado de leche con relleno de pulpa de arándano

Fuente de varianza	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrados Medios	Fcal	Valor-p
A: Leche en polvo	0,25	1	0,25	0,020	0,9032
B: Crema de leche	121,00	1	121,00	7,620	0,0246
C: Estabilizante	256,00	1	256,00	16,130	0,0039
AB	64,00	1	64,00	4,030	0,0795
AC	9,00	1	9,00	0,570	0,4731
BC	42,25	1	42,25	2,660	0,1415
ABC	182,25	1	182,25	11,480	0,0095
Error total	127,00	8	15,875		
Total	801,75	15			

Fuente: Elaboración propia

Según el análisis de varianza de la Tabla 4.19, los factores B (crema de leche), C (estabilizante) y la interacción ABC presentaron diferencias significativas sobre el tiempo de congelación del helado, debido a que sus valores-p fueron menores a 0,05. Por otro lado, el factor A (leche en polvo) y las interacciones AB, AC y BC no mostraron efectos significativos, ya que sus valores-p fueron mayores a 0,05. Por tanto, se concluye que la crema de leche, el estabilizante y la interacción conjunta de los tres factores influyen significativamente en el tiempo de congelación, con un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$.

En la Figura 4.14, se muestran los efectos principales para los factores; A, B y C con relación a la variable tiempo de congelación.

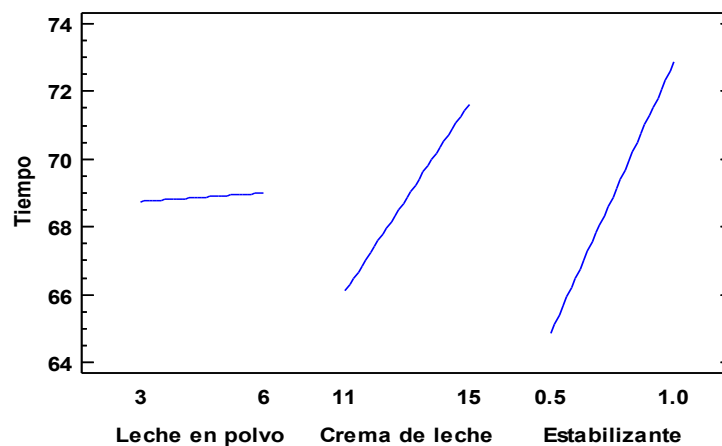
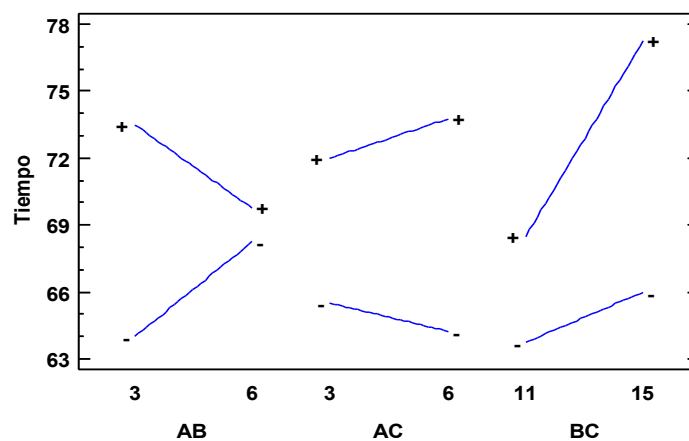


Figura 4.14: *Efectos principales para tiempo de congelación*
Fuente: Elaboración propia

Según la Figura 4.14, los factores crema de leche (B) y estabilizante (C) presentan mayor efecto sobre la variable tiempo de congelación, ya que, al aumentar sus niveles, el tiempo de congelación también aumenta. Esto indica que B y C tienen mayor influencia sobre el tiempo de congelación que el factor A.

En la Figura 4.15, se muestra las interacciones para los factores AB, AC y BC en



función a la variable de tiempo de congelación.

Figura 4.15: *Interacción de factores para tiempo de congelación*
Fuente: Elaboración propia

Según la Figura 4.15, las líneas de interacción de los factores AB (leche en polvo – crema de leche), AC (leche en polvo – estabilizante) y BC (crema de leche – estabilizante) son casi paralelas, lo que indica que no existe interacción significativa entre estos factores. Por lo tanto, el efecto de cada factor sobre la variable puede considerarse independiente del nivel del otro factor.

En la Figura 4.16, se muestra el diagrama de Pareto estandarizado para los factores tomados en cuenta para el diseño factorial.

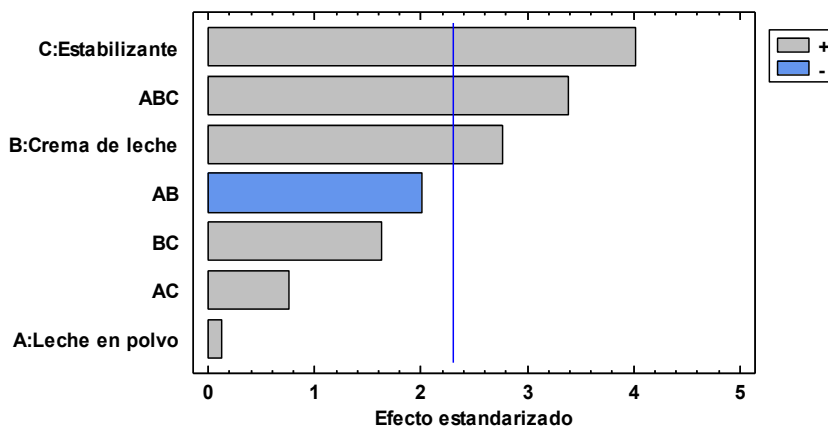


Figura 4.16: *Diagrama de Pareto estandarizada para tiempo de congelación*
Fuente: Elaboración propia

Según el diagrama de Pareto que se presenta en la Figura 4.16, los factores C (estabilizante), B (crema de leche) y la interacción ABC son estadísticamente significativos para la variable tiempo de congelación, ya que presentan efectos estandarizados de mayor magnitud, superando la línea de referencia. En cambio, el factor A (leche en polvo) y las interacciones AB, AC y BC no presentan efectos significativos. Esto indica que, a mayor porcentaje de C y B en la mezcla, el tiempo de congelación se incrementa, mientras que la interacción ABC indica que la combinación de los tres factores también influye en el tiempo de congelación.

4.4 Determinación del tiempo de congelación de muestras para el nivel bajo del factor crema de leche

En la Tabla 4,20 se presenta el registro del tiempo de congelación de las cuatro muestras de helado (H01, H02, H05 y H06) correspondientes al nivel bajo del factor

crema de leche. El registro de estos datos se realizó en un intervalo de 0 a 75 minutos, en función de la temperatura de las muestras donde la medición se llevó a cabo cada cinco minutos utilizando un termómetro digital con sonda (tipo aguja).

Tabla 4.20

Determinación del tiempo de congelación de muestras para el nivel bajo del factor crema de leche

Tiempo (min)	Temperaturas (°C)			
	H01	H02	H05	H06
0	10	10	10	10
5	5	6	5	5
10	0	1	-1	1
15	-2	-2	-2	-1
20	-2	-2	-3	-2
25	-3	-3	-3	-3
30	-4	-5	-3	-3
35	-5	-7	-4	-3
40	-6	-10	-5	-4
45	-9	-14	-8	-4
50	-10	-15	-9	-6
55	-12	-17	-12	-8
60	-15	-19	-15	-10
65	-18	-21	-17	-14
70	-20	-23	-20	-15
75	-22	-24	-21	-18

Fuente: Elaboración propia

La Figura 4.17 muestra las curvas de congelación graficadas a partir de los datos de la Tabla 4.20.

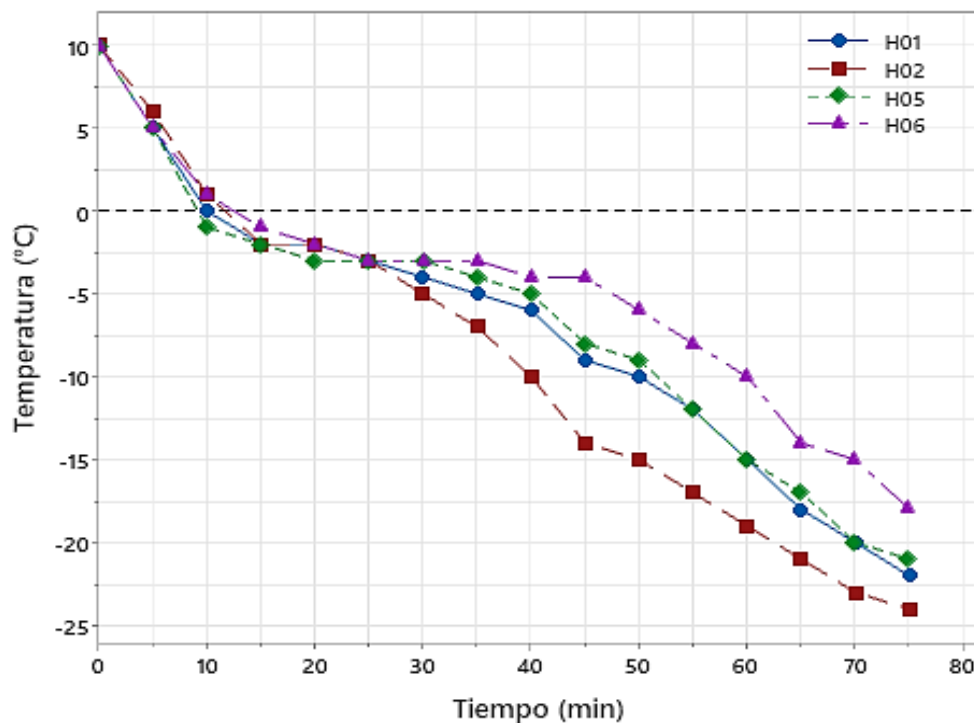


Figura 4.17: *Curvas de congelación de muestras de helado para el nivel bajo del factor crema de leche*

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con la Figura 4.17, las curvas de congelación de las muestras de helado (H01, H02, H05 y H06) inician a una temperatura de (10 °C). A partir de este punto, se presenta la etapa de preenfriamiento, donde la temperatura desciende de manera similar en todas las muestras hasta alcanzar valores inferiores a (0 °C), dando lugar al inicio de la etapa de congelación. En esta fase ocurre el cambio de estado del agua de líquido a sólido, acompañado de la liberación de calor latente de congelación.

Alrededor de los 20 minutos, los valores de temperatura se mantienen relativamente similares entre las muestras; sin embargo, a partir de los 30 minutos, las curvas comienzan a dispersarse. Esto se debe a la distinta concentración de sólidos en las formulaciones, principalmente leche en polvo, crema de leche y estabilizante, los cuales influyen en el descenso crioscópico y en el comportamiento del proceso de congelación. Se puede observar que la liberación de calor latente de la muestra H06 se produce de manera más prolongada, debido a su mayor contenido de sólidos, lo que retiene el agua y dificulta su transformación en hielo. Como consecuencia, la

temperatura no disminuye con la misma rapidez que en las demás muestras, presentando un enfriamiento más lento. A los 75 minutos, se observa la temperatura final alcanzada por cada muestra. En este punto, la curva de la muestra H06 se mantiene por encima de las demás, con una temperatura final de (-18 °C), lo que indica un enfriamiento más lento. La muestra H05 presenta una temperatura de (-21 °C), seguida de la H01 con (-22 °C). Por otro lado, la muestra que alcanza la temperatura más baja es la H02, con (-24 °C), evidenciando un enfriamiento más rápido.

4.5 Determinación del tiempo de congelación de muestras para el nivel alto del factor crema de leche

En la Tabla 4,21 se presenta el registro del tiempo de congelación de las cuatro muestras de helado (H03, H04, H07 y H08) correspondientes al nivel alto del factor crema de leche. El registro de los datos se realizó cada cinco minutos en un intervalo entre (0 - 75) minutos y en función de la temperatura de las muestras de helado.

Tabla 4.21

Determinación del tiempo de congelación de muestras para el nivel alto del factor crema de leche

Tiempo (min)	Temperaturas (°C)			
	H03	H04	H07	H08
0	10	10	10	10
5	5	5	4	5
10	0	1	0	1
15	-1	-1	-2	-1
20	-3	-2	-3	-2
25	-3	-3	-3	-3
30	-4	-3	-4	-3
35	-4	-3	-4	-3
40	-6	-3	-6	-4
45	-7	-3	-8	-4
50	-9	-4	-10	-5
55	-12	-6	-11	-5
60	-17	-8	-13	-9
65	-18	-12	-14	-11
70	-22	-15	-17	-13
75	-23	-16	-18	-15

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 4.18 se muestra las curvas de congelación graficadas a partir de los datos de la Tabla 4.20.

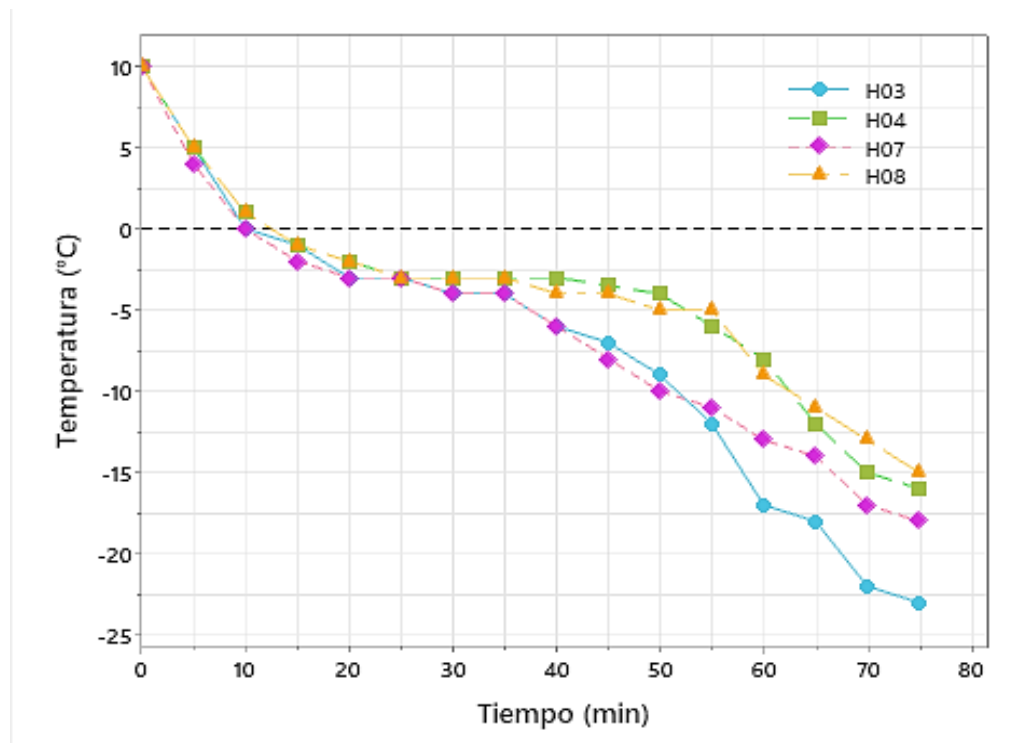


Figura 4.18: Curvas de congelación de muestras de helado para el nivel alto del factor crema de leche

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 4.18, se observan las curvas de congelación de las muestras H03, H04, H07 y H08, las cuales inician aproximadamente a (10 °C). A partir de este punto, se identifica una etapa inicial en la que la temperatura desciende de manera similar en todas las muestras hasta valores inferiores a (0 °C), dando inicio al proceso de congelación, donde se produce el cambio de estado del agua y la liberación de calor latente.

Alrededor de los 25 minutos, las temperaturas se mantienen cercanas entre las muestras, mostrando un comportamiento similar en esta fase. Sin embargo, se aprecia que no todas las muestras avanzan al mismo ritmo, ya que algunas alcanzan esta etapa antes que otras. A partir de los 35 minutos, las curvas comienzan a separarse, lo que se relaciona con las diferencias en la formulación, especialmente en el contenido de leche en polvo, crema de leche y estabilizantes, que influyen en la

forma en que se congela cada muestra. Se observa que la muestra H08 presenta una disminución de temperatura más lenta y una meseta más prolongada, mientras que al final del proceso, a los 75 minutos, alcanza una temperatura cercana a (-15°C). Por su parte, la muestra H04 llega aproximadamente a (-16°C), H07 a (-18°C), y la muestra H03 presenta mayor velocidad de descenso. En general, se evidencia que las muestras con menor contenido de sólidos tienden a enfriarse más rápido, mientras que aquellas con mayor contenido presentan una congelación más lenta.

4.6 Dosificación de las muestras de helado de leche con relleno de pulpa de arándano para elegir la muestra final ensayo 8

Se realizó la evaluación sensorial de las muestras H02, H05, H06, H07, H08 y HL1, con el fin de seleccionar la muestra final, **con base en la valoración de los jueces**. En la Tabla 4.22 se presenta la dosificación correspondiente a las seis muestras de helado de leche con relleno de pulpa de arándano.

Tabla 4.22

Dosificación de las muestras de helado para elegir la muestra final

H02 (%)		H05 (%)		H06 (%)	
Leche entera	70,20	Leche entera	69,70	Leche entera	66,70
Leche en polvo	3,00	Leche en polvo	3,00	Leche en polvo	6,00
Azúcar	12,00	Azúcar	12,00	Azúcar	12,00
Dextrosa	3,30	Dextrosa	3,30	Dextrosa	3,30
Crema de leche	11,00	Crema de leche	11,00	Crema de leche	11,00
Estabilizante	0,50	Estabilizante	1,00	Estabilizante	1,00
H07 (%)		H08 (%)		HL1 (%)	
Leche entera	65,70	Leche entera	62,70	Leche entera	67,20
Leche en polvo	3,00	Leche en polvo	6,00	Leche en polvo	4,50
Azúcar	12,00	Azúcar	12,00	Azúcar	12,00
Dextrosa	3,30	Dextrosa	3,30	Dextrosa	3,30
Crema de leche	15,00	Crema de leche	15,00	Crema de leche	12,00
Estabilizante	1,00	Estabilizante	1,00	Estabilizante	1,00

Fuente: Elaboración propia

4.6.1 Estadístico caja y bigote para elegir la muestra final de helado de leche con relleno de pulpa de arándano

En la Figura 4.19, se puede observar el estadístico de caja y bigote para las seis muestras, H02, H05, H06, H07, H08 y HL1 para los atributos de sabor, textura, cremosidad y palatabilidad.

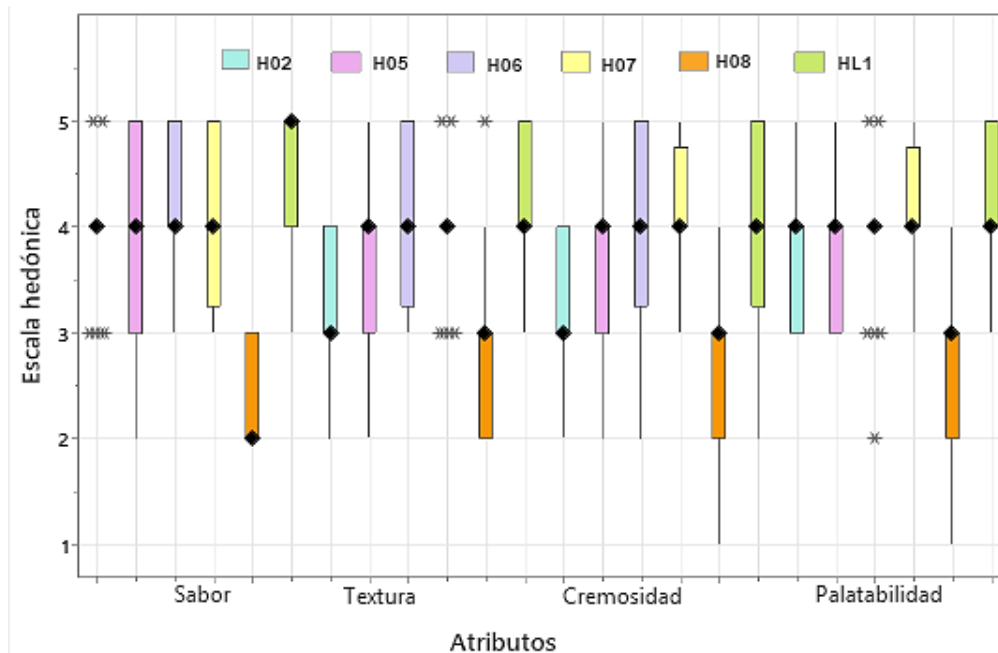


Figura 4.19: Estadístico caja y bigote para elegir la muestra final de helado
Fuente: Elaboración propia

Según el análisis de los resultados mostrados en la Figura 4.19, la muestra HL1 se distingue por presentar las medianas más altas en los atributos evaluados, con (5) en sabor y textura, y (4) en cremosidad y palatabilidad, superiores a las demás muestras. Esto indica que el 50 % de los jueces que evaluaron otorgaron puntuaciones iguales o menores a los valores mencionados, reflejando una mayor aceptación por parte de los jueces. Por otro lado, la muestra H08 registró las medianas más bajas, de (2) en sabor y (3) en textura, cremosidad y palatabilidad, indicando menor aceptación frente al resto de las muestras. Las muestras H02, H05, H06 y H07 alcanzaron medianas de (4), evidenciando una buena evaluación sensorial.

La selección de la muestra final se realizó mediante la prueba de Tukey, con el fin de identificar diferencias significativas entre las muestras evaluadas.

4.6.2 Estadístico de Tukey del atributo sabor del helado de leche con relleno de pulpa de arándano

En la Tabla 4.23, se muestran los resultados del análisis estadístico de Tukey para el atributo sabor de datos extraídos del (Anexo C).

Tabla 4.23

Estadístico de Tukey del atributo sabor

Muestra	N	Mediana	Agrupación	
HL1	20	4,500	A	
H07	20	4,150	A	
H06	20	4,150	A	
H05	20	4,100	A	
H02	20	3,900	A	
H08	20	2,450		B

Fuente: Elaboración propia

Según la Tabla 4.23, se puede observar que la muestra HL1 obtuvo una media de mayor valor (4,500) y, junto con H07, H06, H05 y H02 (grupo A), no presenta diferencias significativas entre sí. En cambio, H08 (grupo B) mostró un sabor significativamente inferior al de las demás muestras, para un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$.

4.6.3 Estadístico de Tukey del atributo textura del helado de leche con relleno de pulpa de arándano

En la Tabla 4.24, se muestran los resultados del análisis estadístico de Tukey para el atributo textura de datos extraídos del (Anexo C).

Tabla 4.24

Estadístico Tukey del atributo textura

Muestra	N	Media	Agrupación		
HL1	20	4,350	A		
H06	20	4,100	A		
H07	20	3,900	A	B	
H05	20	3,700	A	B	
H02	20	3,250		B	C
H08	20	2,950			C

Fuente: Elaboración propia.

Según la Tabla 4.24, se puede observar que la muestra HL1 presenta una media de mayor valor (4,350), indicando la mejor aceptación. Las muestras H06 y H07 presentan medias similares a HL1, mientras que H05 comparte similitudes parciales (A B). Por otro lado, H02 (B C) y H08 (C) muestran menor aceptación de textura. El análisis se realizó considerando un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

4.6.4 Estadístico de Tukey del atributo cremosidad del helado de leche con relleno de pulpa de arándano

En la Tabla 4.25, se muestran los resultados del análisis estadístico de Tukey para el atributo textura de datos extraídos del (Anexo C).

Tabla 4.25

Estadístico Tukey del atributo cremosidad

Muestra	N	Media	Agrupación		
HL1	20	4,150	A		
H07	20	4,100	A		
H06	20	4,050	A		
H05	20	3,750	A	B	
H02	20	3,200		B	C
H08	20	2,550			C

Fuente: Elaboración propia.

Según la Tabla 4.25, se puede observar que la muestra HL1 obtuvo una media de mayor valor (4,150), indicando la mejor aceptación por parte de los jueces. H07 y H06

presentan medias similares a HL1, mientras que H05 comparte similitudes parciales (AB). Por su parte, H02 (B C) y H08 (C) muestran menor aceptación, considerando un nivel de significancia $\alpha = 0,05$

4.6.5 Estadístico de Tukey del atributo palatabilidad del helado de leche con relleno de pulpa de arándano

En la Tabla 4.26, se muestran los resultados del análisis estadístico de Tukey para el atributo palatabilidad de datos extraídos del (Anexo C).

Tabla 4.26

Estadístico Tukey del atributo palatabilidad

Muestras	N	Media	Agrupación	
HL1	20	4,250	A	
H07	20	4,200	A	
H06	20	3,850	A	
H05	20	3,750	A	
H02	20	3,650	A	
H08	20	2,650		B

Fuente: Elaboración propia.

Según la Tabla 4.23, se observa que la muestra HL1 presentó la media de mayor valor (4,250) y que las muestras H07, H06, H05 y H02 no presentaron diferencias significativas respecto a HL1 (grupo A), mientras que H08 evidenció un valor significativamente menor (grupo B).

4.7 Determinación del tiempo de congelación del agua pura y muestra final de helado de leche con relleno de pulpa de arándano

En la Tabla 4.27 se presentan los datos de tiempo y temperatura de congelación del agua pura y de la muestra final de helado de leche con relleno de pulpa de arándano (HL1). Para obtener estos datos se utilizó un termómetro digital con sonda, tomando mediciones cada cinco minutos desde el tiempo 0 hasta los 55 minutos.

Tabla 4.27

Determinación del tiempo de congelación de agua pura y helado de leche con relleno de pulpa de arándano

Tiempo (min)	Temperatura (°C)	
	Agua pura	HL1
0	15	15
5	6	4
10	1	-1
15	0	-2
20	0	-3
25	0	-4
30	0	-4
35	0	-6
40	0	-10
45	-2	-14
50	-5	-18
55	-12	-22

Fuente: Elaboración propia

La Figura 4.20 muestra las curvas de congelación realizadas a partir de los datos de la Tabla 4.27.

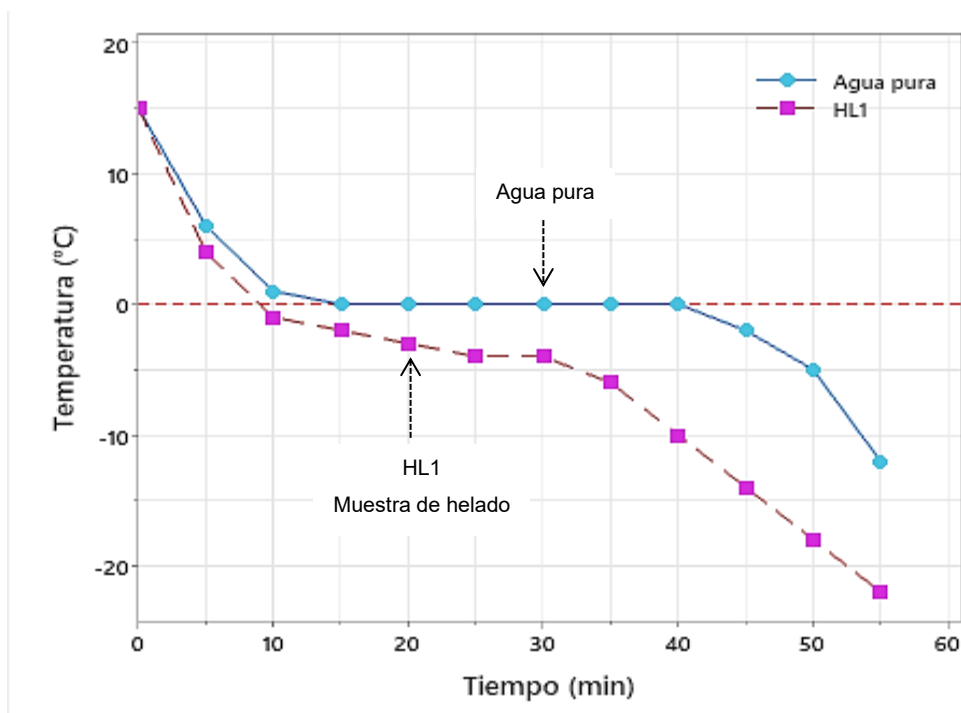


Figura 4.20: Curva de congelación del agua pura y del helado de leche con relleno de pulpa de arándano

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 4.20 se puede observar la curva de congelación del agua pura y del helado de leche con relleno de pulpa de arándano. Ambas muestras inician con una temperatura de (15 °C) y durante los primeros cinco minutos presentan un comportamiento similar. Posteriormente, las curvas comienzan a dispersarse, debido a que el agua pura alcanza el punto inicial de congelación a los 10 minutos, con (0 °C), y se mantiene en una línea recta hasta los 40 minutos, correspondiente a la etapa de congelación, donde se elimina calor mientras la temperatura permanece constante. A partir de los 40 minutos, el agua entra en la etapa de subenfriamiento, descendiendo hasta (-12 °C) a los 55 minutos. En cambio, la muestra de helado inicia su punto de congelación por debajo de (0 °C), debido a la presencia de solutos como leche en polvo, crema de leche, estabilizante y azúcar. Se puede observar que la muestra de helado comienza a descender a los 35 minutos, alcanzando aproximadamente -22 °C a los 55 minutos. Estas diferencias reflejan que los solutos presentes en el helado modifican su comportamiento térmico durante la congelación en comparación con el agua pura.

4.8 Control de parámetros fisicoquímicos de helado de leche con relleno de pulpa de arándano

Los parámetros fisicoquímicos controlados en la muestra final de helado de leche con relleno de pulpa de arándano (HL1) fueron el pH y la acidez titulable. En base a esta muestra, se realizaron mediciones durante 20 días de almacenamiento a (-18 °C) con el fin de monitorear la estabilidad fisicoquímica del producto.

4.8.1 Control de acidez en el almacenamiento del helado de leche con relleno de pulpa de arándano

La Tabla 4.28, muestra los resultados obtenidos de la variación de acidez de helado de leche con relleno de pulpa de arándano durante 20 días de almacenamiento.

Tabla 4.28

Control de acidez en el almacenamiento del helado de leche con relleno de pulpa de arándano

Tiempo (días)	Acidez (% ácido láctico)
1	0,269
3	0,270
5	0,270
7	0,270
9	0,272
11	0,275
13	0,278
15	0,280
17	0,285
20	0,292

Fuente: Elaboración propia

La Figura 4.21, muestra la variación del parámetro acidez en función del tiempo de almacenamiento del helado de leche con relleno de pulpa de arándano en función de los datos extraídos de la Tabla 4.28.

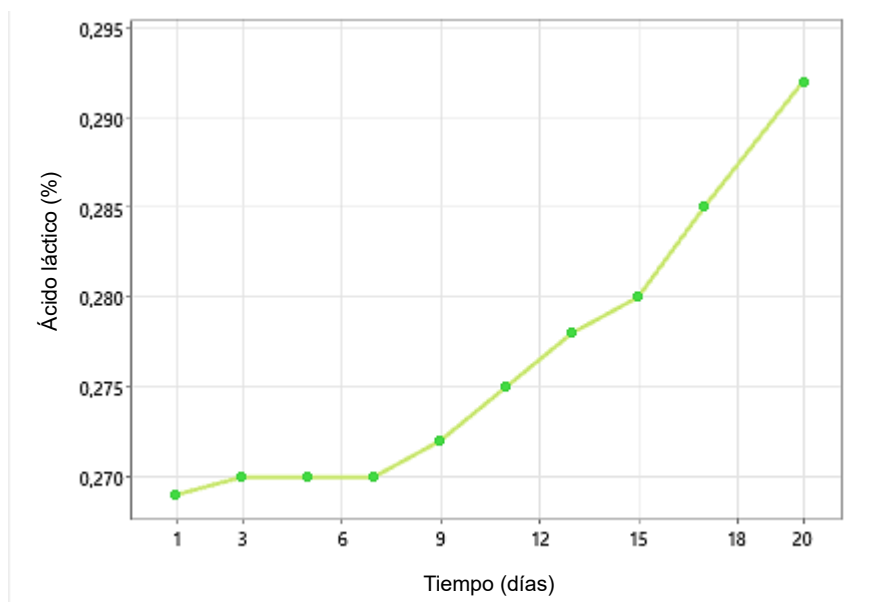


Figura 4.21: Control de acidez durante el almacenamiento del helado
Fuente: Elaboración propia

En la Figura 4.21 se observa que la acidez del helado de leche con relleno de pulpa de arándano (HL1) comienza en 0,269 % al inicio y se mantiene casi constante hasta el día 7. A partir del día 9 se aprecia un ligero incremento, alcanzando 0,292 % al día 20. Este aumento se atribuye a la liberación de ácidos presentes en la pulpa de arándano, principalmente ácido cítrico. Este comportamiento indica que el helado mantiene su calidad y estabilidad durante los 20 días de almacenamiento.

4.8.2 Control de pH en el almacenamiento del helado de leche con relleno de pulpa de arándano

La Tabla 4.29, muestra los resultados obtenidos de la variación de pH de helado de leche con relleno de pulpa de arándano durante 20 días de almacenamiento.

Tabla 4.29

Control de pH durante el almacenamiento de helado de leche con relleno de pulpa de arándano

Tiempo (días)	pH
1	5,40
3	5,40
5	5,40
7	5,37
9	5,35
11	5,30
13	5,26
15	5,24
17	5,23
20	5,22

Fuente: Elaboración propia

La Figura 4.22, muestra la variación del pH en función del tiempo durante el almacenamiento del helado de leche con relleno de pulpa de arándano en función de los datos extraídos de la Tabla 4.29.

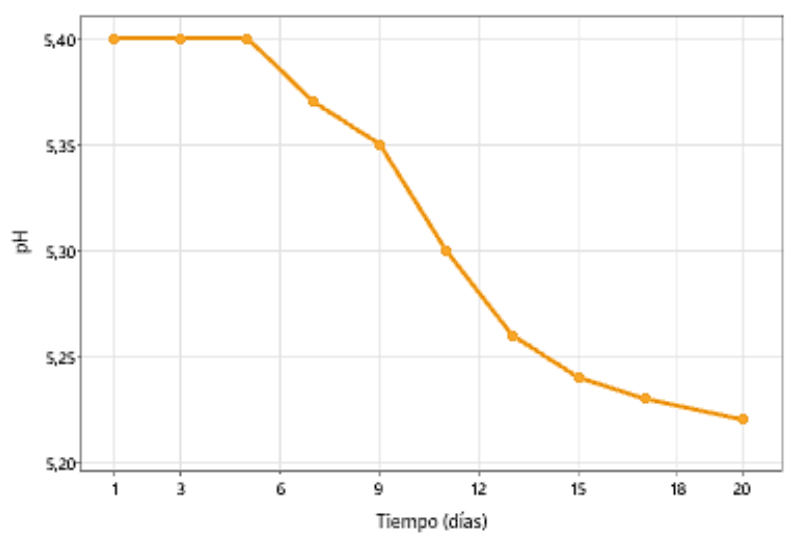


Figura 4.22: Control de pH durante el almacenamiento del helado

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 4.22 se observa que el pH del helado de leche con relleno de pulpa de arándano comienza en el primer día con un valor de 5,40. Durante los primeros cinco días, el pH se mantiene constante, pero a partir de ese momento inicia un descenso progresivo, alcanzando 5,35 al día 9 y 5,22 al día 20. Esta disminución es mínima y puede atribuirse a pequeños cambios en los ácidos de la leche y de la pulpa de arándano, lo que indica que el helado de leche con relleno mantiene su estabilidad fisicoquímica durante el período de almacenamiento de 20 días.

4.9 Caracterización del helado de leche con relleno de pulpa de arándano

En la caracterización del helado de leche con relleno de pulpa de arándano se tomaron en cuenta los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de los cuales se detallan a continuación.

4.9.1 Análisis fisicoquímico del helado de leche con relleno de pulpa de arándano

En la Tabla 4.30 se detallan los resultados obtenidos del análisis fisicoquímico del helado de leche con relleno de pulpa de arándano de datos extraídos del (Anexo A).

Tabla 4.30***Análisis fisicoquímicos del helado de leche con relleno de pulpa de arándano***

Parámetros	Unidades	Valor
Calcio	mg/100g	21,40
Ceniza	g/100g	0,70
Grasa	g/100g	4,01
Hidratos de carbono	g/100g	30,68
Humedad	g/100g	62,15
Proteína total (Nx6,25)	g/100g	2,46
Sólidos totales	g/100g	37,85
Valor energético	Kcal/100g	169,00

Fuente: CEANID, 2025.

Según los resultados presentados en la Tabla 4.30, se puede observar que el helado de leche con relleno de pulpa de arándano contiene: calcio 21,4 mg/100g, ceniza 0,70 g/100g, grasa 4,01 g/100g, hidratos de carbono 30,68 g/100g, humedad 62,15 g/100g, proteína total (Nx6,25) 2,46g/100g, sólidos totales 37,85 g/100g y valor energético de 169 Kcal/100g.

4.9.2 Análisis microbiológicos del helado de leche con relleno de pulpa de arándano

En la Tabla 4.31, se detallan los resultados obtenidos del análisis microbiológico de helado de leche con relleno de pulpa de arándano, de datos extraídos del (Anexo A).

Tabla 4.31***Análisis microbiológicos del helado de leche con relleno de pulpa de arándano***

Microorganismos	Unidades	Valor
Bacterias aeróbicas mesófilas	UFC/ml	$1,2 \times 10^2$
Coliformes totales	UFC/g	$< 1,0 \times 10^1 (*)$
<i>Staphylococcus aureus</i>	UFC/ml	$< 1,0 \times 10^1 (*)$
<i>Salmonella</i>	P/A/25g	Ausencia

(*) : No se observa desarrollo de colonias

Fuente: CEANID, 2025

Según los resultados de la Tabla 4.31 obtenidos del análisis microbiológico del helado de leche con relleno de pulpa de arándano se observa que presenta: Bacterias

aerobias mesófilas $1,2 \times 10^2$ UFC/ml, Coliformes totales $< 1,0 \times 10^1$ UFC/g, *Staphylococcus aureus* $< 1,0 \times 10^1$ UFC/ml y ausencia de *Salmonella* P/A/25g.

4.10 Balance de materia para el proceso de elaboración de helado de leche con relleno de pulpa de arándano

En la Figura 4.23, se muestra el diagrama de flujo del balance general de materia para la elaboración de helado de leche con relleno de pulpa de arándano, para un cálculo base de 525 g de arándano.

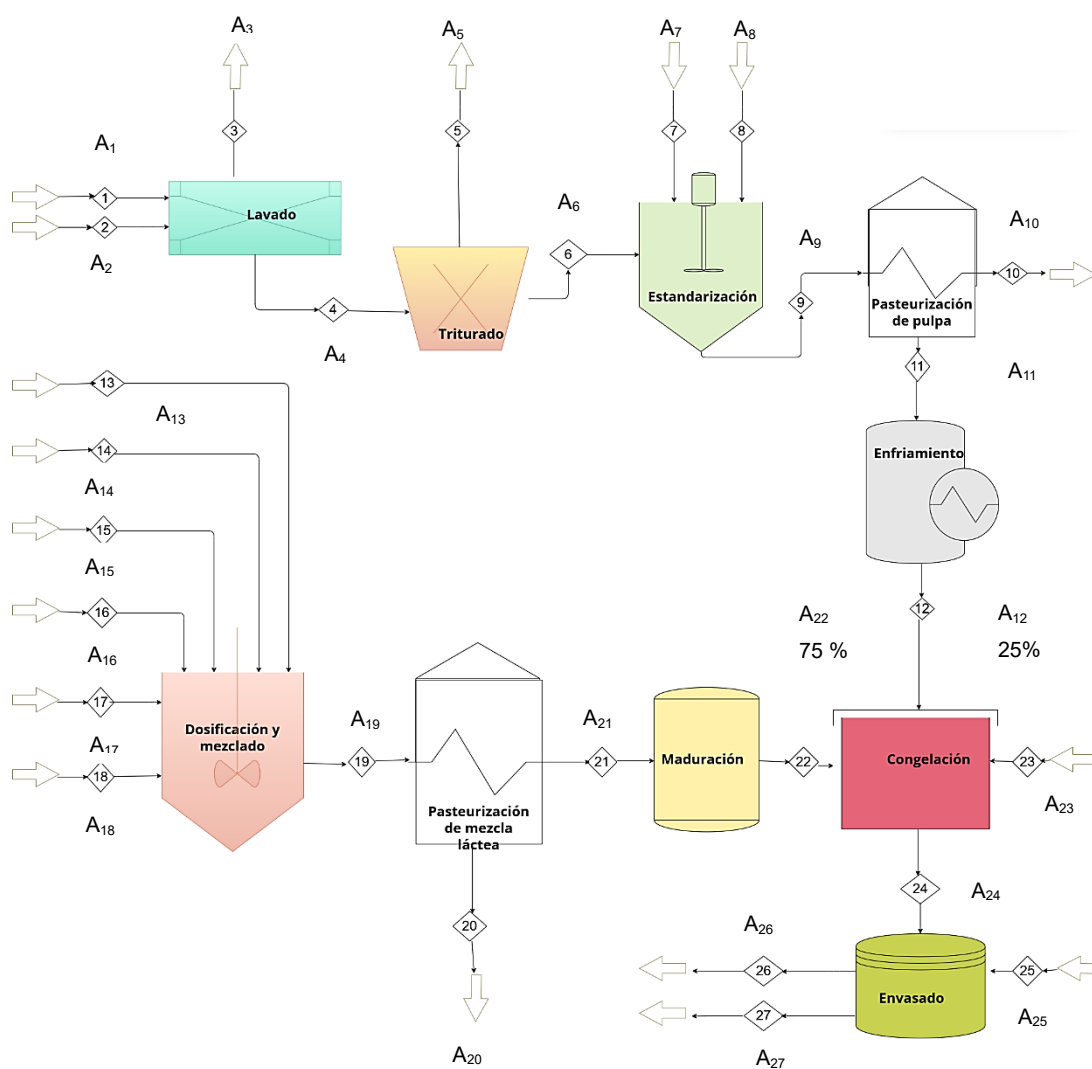


Figura 4.23: Diagrama de flujo del balance de materia del proceso de elaboración de helado de leche con relleno de pulpa de arándano

Fuente: Elaboración propia

Donde:

A_1 = Arándano (g)

A_2 = Agua potable (g)

A_3 = Agua con impurezas (g)

A_4 = Arándano lavado (g)

A_5 = Pérdidas en el triturado (g)

A_6 = Arándano triturado (g)

A_7 = Azúcar (g)

A_8 = Estabilizante (g)

A_9 = Pulpa de arándano estandarizada (g)

A_{10} = Agua evaporada (g)

A_{11} = Pulpa de arándano pasteurizada (g)

A_{12} = Pulpa de arándano acondicionada (g)

A_{13} = Leche fluida (g)

A_{14} = Leche en polvo (g)

A_{15} = Dextrosa (g)

A_{16} = Sacarosa (g)

A_{17} = Estabilizante (g)

A_{18} = Crema de leche (g)

A_{19} = Mezcla láctea (g)

A_{20} = Agua evaporada (g)

A_{21} = Mezcla láctea pasteurizada (g)

A_{22} = Mezcla madurada (g)

A_{23} = Palitos de helado (g)

A_{24} = Helado (g)

A_{25} = Bolsas de polietileno (g)

A_{26} = Helado envasado (g)

A_{27} = Pérdidas en el envasado (g)

X^S = Fracción de sólidos solubles

X^A = Fracción de agua

4.10.1 Balance de materia en la etapa de lavado del arándano

La Figura 4.24 muestra el balance de materia durante el proceso de lavado del arándano.

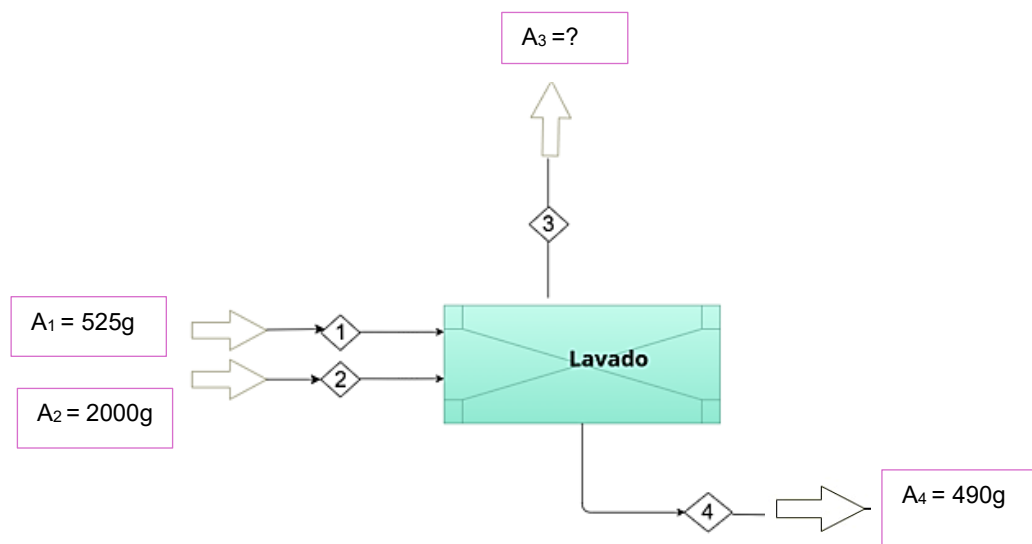


Figura 4.24: Balance de materia en la etapa de lavado del arándano

Fuente: Elaboración propia

Balance de materia global en la etapa de lavado:

$$A_1 + A_2 = A_3 + A_4$$

(Ecuación 4.3)

Despejamos A_3 de la Ecuación 4.3

$$A_3 = A_1 + A_2 - A_4$$

$$A_3 = 525g + 2000g - 490g$$

$$A_3 = 2035g \text{ de agua con impurezas}$$

4.10.2 Balance de materia en la etapa de triturado del arándano

La Figura 4.25 muestra el balance de materia durante el proceso de triturado.

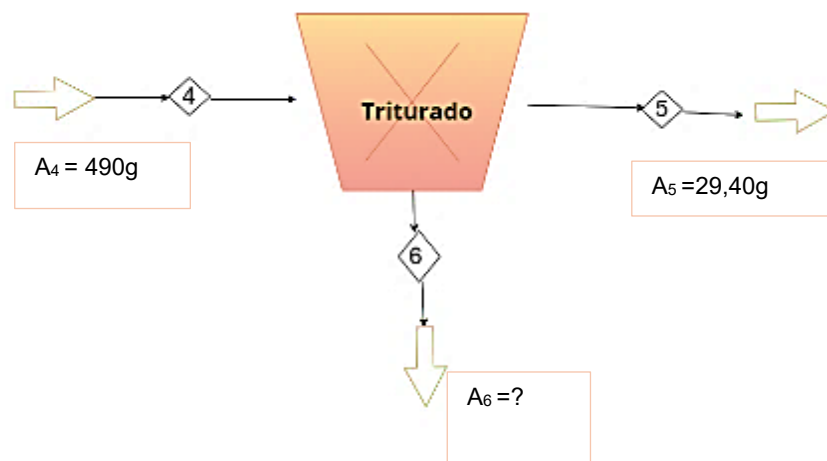


Figura 4.25: Balance de materia en la etapa de triturado del arándano
Fuente: Elaboración propia

Balance global en la etapa de triturado del arándano

$$A_4 = A_5 + A_6$$

(Ecuación 4.4)

Para el cálculo de A_6 , despejamos de la Ecuación 4.4

$$A_6 = A_4 - A_5$$

$$A_6 = 490\text{g} - 29,4\text{g}$$

$$A_6 = 460,60\text{g de arándano triturado}$$

4.10.3 Balance de materia en la etapa de estandarización de la pulpa de arándano

La Figura 4.26 muestra el balance de materia durante la etapa de estandarización de la pulpa de arándano.

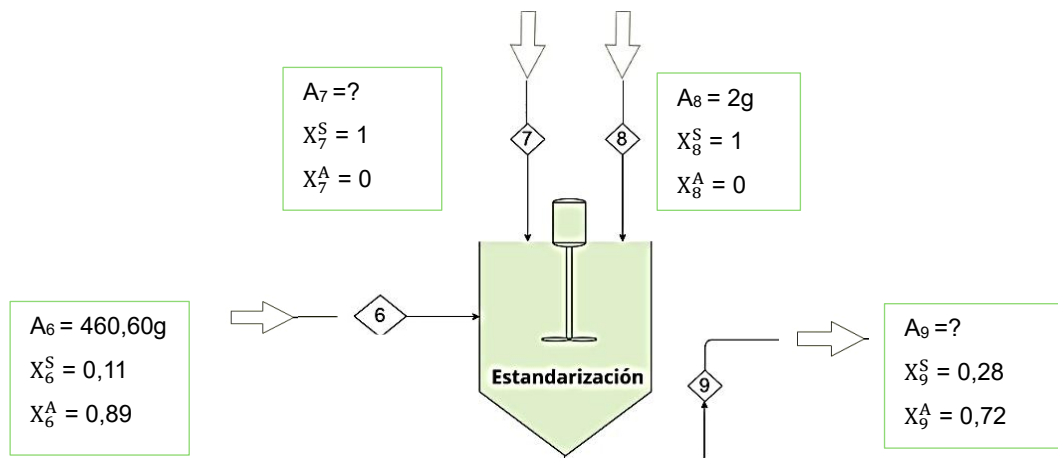


Figura 4.26: Balance de materia en la estandarización de la pulpa de arándano
Fuente: Elaboración propia

Balance global en la etapa de estandarización de la pulpa de arándano

$$A_6 + A_7 + A_8 = A_9 \quad (\text{Ecuación 4.5})$$

Balance parcial de agua en la etapa de estandarización de la pulpa

$$A_6 * X_6^A + A_7 * X_7^A + A_8 * X_8^A = A_9 * X_9^A \quad (\text{Ecuación 4.6})$$

$$A_6 * X_6^A + A_7 * (0) + A_8 * (0) = A_9 * X_9^A$$

$$A_6 * X_6^A = A_9 * X_9^A$$

$$A_9 = \frac{A_6 * X_6^A}{X_9^A}$$

$$A_9 = \frac{460,60 \text{ g} * 0,89}{0,72}$$

$$A_9 = 569,37\text{g de pulpa de arándano estandarizada}$$

Despejando A_7 de la Ecuación 4.6

$$A_7 = A_9 - A_8 - A_6$$

$$A_7 = 569,37\text{g} - 2\text{g} - 460,6\text{g}$$

$$A_7 = 106,75\text{g de azúcar}$$

4.10.4 Balance de materia en la etapa de pasteurización de la pulpa de arándano

La Figura 4.27 muestra el balance de materia durante la etapa de pasteurización de la pulpa de arándano.

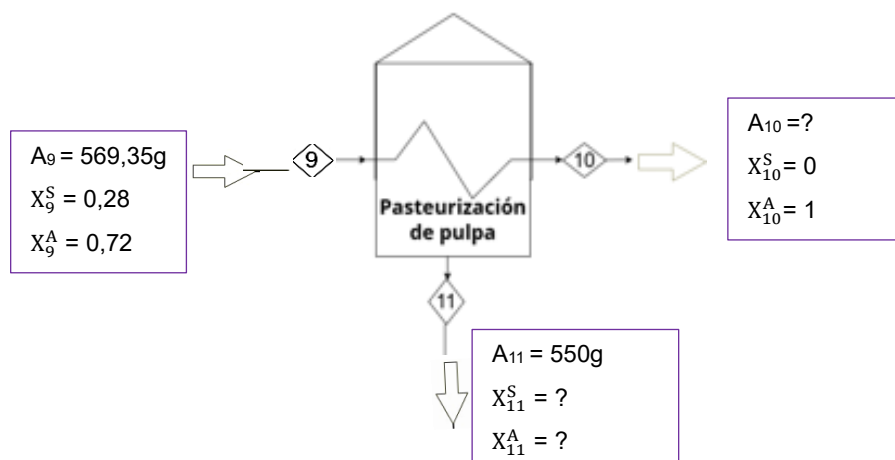


Figura 4.27: Balance de materia en la etapa de pasteurización de la pulpa de arándano

Fuente: Elaboración propia

Balance global en la etapa de pasteurización de la pulpa de arándano

$$A_9 = A_{10} + A_{11} \quad \text{(Ecuación 4.7)}$$

Balance parcial de sólidos solubles en la etapa de pasteurización de la pulpa

$$A_9 * X_9^S = A_{10} * X_{10}^S + A_{11} * X_{11}^S \quad \text{(Ecuación 4.8)}$$

$$A_9 * X_9^S = A_{11} * X_{11}^S$$

$$X_{11}^S = \frac{A_9 * X_9^S}{A_{11}}$$

$$X_{11}^S = \frac{569,35 \text{ g} * 0,28}{550 \text{ g}}$$

$$X_{11}^S = 0,29 \text{ fracción de sólidos de la pulpa de arándano}$$

Determinación de la fracción de agua

$$X = X_{11}^S + X_{11}^A \quad \text{(Ecuación 4.9)}$$

Despejando X_{11}^A de la Ecuación 4.9

$$X_{11}^A = X - X_{11}^S$$

$$X_{11}^A = 1 - 0,29$$

$$X_{11}^A = 0,71 \text{ fracción de agua de la pulpa de arándano}$$

Despejando A_{10} de la Ecuación 4.8

$$A_{10} = A_9 - A_{11}$$

$$A_{10} = 569,37\text{g} - 550\text{g}$$

$$A_{10} = 19,37\text{g de agua evaporada}$$

4.10.5 Balance de materia en la etapa de dosificación y mezclado de la mezcla láctea del helado

La Figura 4.28 muestra el balance de materia durante la etapa de dosificación y mezclado de la mezcla láctea del helado.

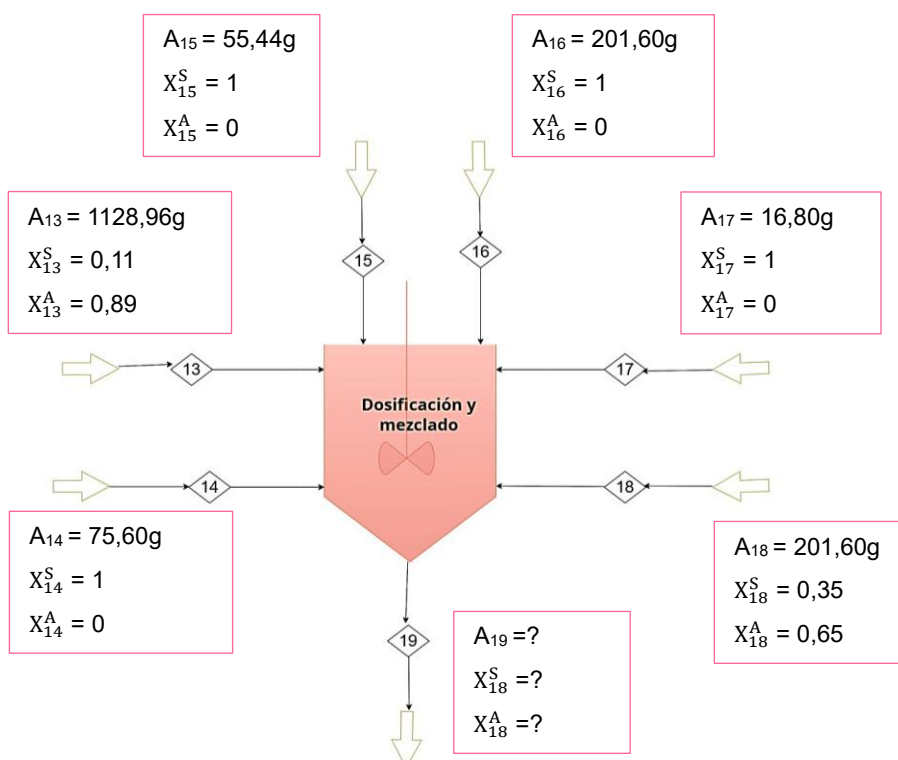


Figura 4.28: Balance de materia en la etapa de dosificación y mezclado

Fuente: Elaboración propia

Balance global en la etapa de dosificación y mezclado de la mezcla láctea

$$A_{13} + A_{14} + A_{15} + A_{16} + A_{17} + A_{18} = A_{19} \quad (\text{Ecuación 4.10})$$

Para el cálculo de A_{19} reemplazamos los valores en la Ecuación 4.10

$$A_{19} = 1128,96\text{g} + 75,60\text{g} + 55,44\text{g} + 201,60\text{g} + 16,80\text{g} + 201,60\text{g}$$

$$A_{19} = 1680\text{g de mezcla láctea}$$

Balance parcial de agua en la etapa de de dosificación y mezclado de la mezcla láctea del helado

$$A_{13} * X_{13}^A + A_{14} * X_{14}^A + A_{15} * X_{15}^A + A_{16} * X_{16}^A + A_{17} * X_{17}^A + A_{18} * X_{18}^L = A_{19} * X_{19}^L \quad (\text{Ecuación 4.11})$$

$$A_{13} * X_{13}^A + A_{14} * (0) + A_{15} * (0) + A_{16} * (0) + A_{17} * (0) + A_{18} * X_{18}^L = A_{19} * X_{19}^L$$

$$A_{13} * X_{13}^A + A_{18} * X_{18}^L = A_{19} * X_{19}^L$$

$$X_{19}^L = \frac{A_{13} * X_{13}^A + A_{18} * X_{18}^L}{A_{19}}$$

$$X_{19}^L = \frac{1128,96\text{g} * 0,89 + 201,60\text{g} * 0,65}{1680\text{g}}$$

$$X_{19}^L = 0,68 \text{ fracción de agua de la mezcla láctea}$$

Balance parcial de sólidos solubles en la etapa de de dosificación y mezclado de la mezcla láctea del helado

$$A_{13} * X_{13}^S + A_{14} * X_{14}^S + A_{15} * X_{15}^S + A_{16} * X_{16}^S + A_{17} * X_{17}^S + A_{18} * X_{18}^S = A_{19} * X_{19}^S \quad (\text{Ecuación 4.12})$$

Despejando X_{19}^S de la Ecuación 4.12

$$X_{19}^S = \frac{A_{13} * X_{13}^S + A_{14} * X_{14}^S + A_{15} * X_{15}^S + A_{16} * X_{16}^S + A_{17} * X_{17}^S + A_{18} * X_{18}^S}{A_{19}} = A_{19} * X_{19}^S$$

$$X_{19}^S = \frac{1128,96\text{g} * 0,11 + 75,60\text{g} * 1 + 55,40\text{g} * 1 + 201,60\text{g} * 1 + 16,80\text{g} * 1 + 201,60\text{g} * 0,35}{1680\text{g}}$$

$$X_{19}^S = 0,32 \text{ fracción de sólidos de la mezcla láctea}$$

4.10.6 Balance global en la etapa de pasteurización de la mezcla láctea

La Figura 4.29 muestra el balance de materia durante el proceso de pasteurización de la mezcla láctea.

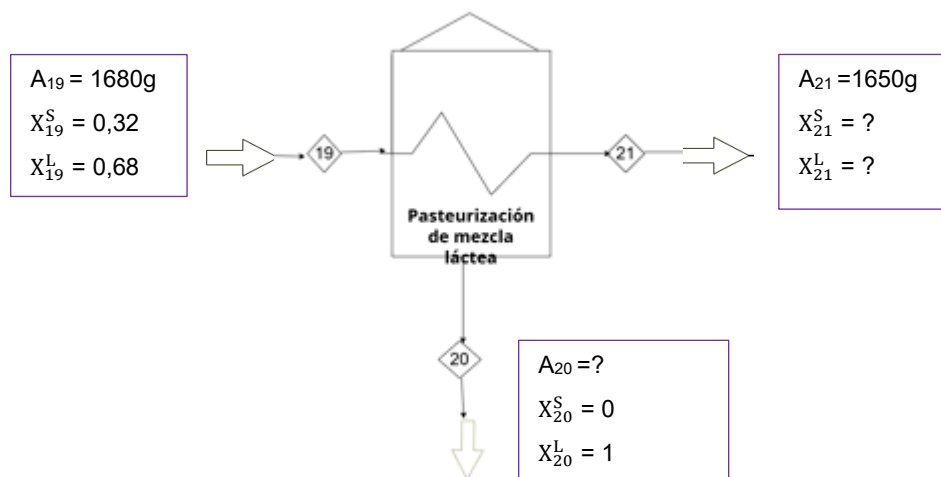


Figura 4.29: Balance de materia en la etapa de pasteurización de la mezcla láctea

Fuente: Elaboración propia

Balance global en la etapa de dosificación y mezclado de la mezcla láctea

$$A_{19} = A_{20} + A_{21} \quad (\text{Ecuación 4.13})$$

Despejando A_{21} de la Ec. 4.13

$$A_{20} = A_{19} - A_{21}$$

$$A_{20} = 1680\text{g} - 1650\text{g}$$

$$A_{20} = 30\text{g de agua evaporada}$$

Balance parcial de sólidos solubles en la etapa de pasteurización de la mezcla láctea

$$A_{19} * X_{19}^S = A_{20} * X_{20}^S - A_{21} * X_{21}^S \quad (\text{Ecuación 4.14})$$

Despejando X_{20}^S de la Ecuación 4.14

$$X_{21}^S = \frac{A_{19} * X_{19}^S}{A_{21}}$$

$$X_{21}^S = \frac{1680g * 0,32}{1650g}$$

$X_{21}^S = 0,32$ fracción de sólidos de la mezcla láctea pasteurizada

Determinación de la fracción de agua

$$X = X_{21}^S + X_{21}^A$$

(Ecuación 4.15)

Despejando X_{21}^L de la Ecuación 4.15

$$X_{21}^A = X - X_{21}^S$$

$$X_{21}^A = 1 - 0,32$$

$X_{21}^A = 0,68$ fracción de agua de la mezcla láctea

4.10.7 Balance en la etapa de congelación

La Figura 4.30 muestra el balance de materia de la etapa de congelación del helado de leche con relleno de pulpa de arándano.

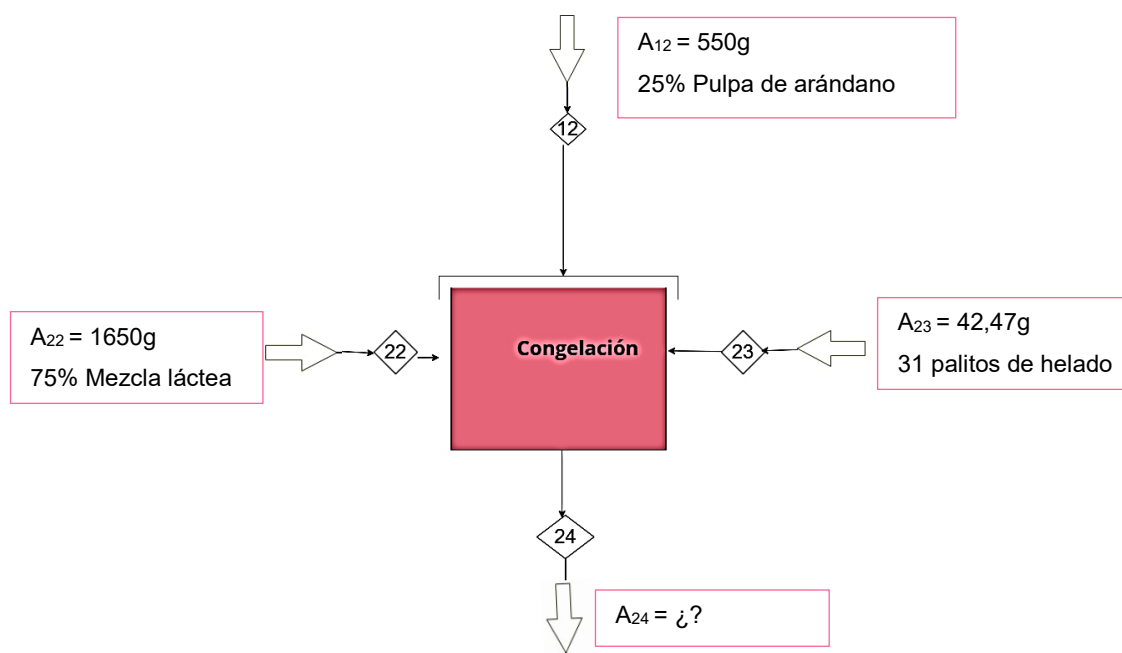


Figura 4.30: Balance de materia en la etapa de congelación

Fuente: Elaboración propia

Balance global en la etapa de congelación

$$A_{12} + A_{22} + A_{23} = A_{24}$$

(Ecuación 4.16)

Calculando A_{24} a partir de la Ecuación 4.16

$$A_{24} = 550\text{g} + 1650\text{g} + 42,47\text{g}$$

$$A_{24} = 2242,47\text{g de helado de leche con relleno de pulpa de arándano}$$

4.10.8 Balance en la etapa de envasado de helado

La Figura 4.31 muestra el balance de materia de la etapa de envasado del helado de leche con relleno de pulpa de arándano.

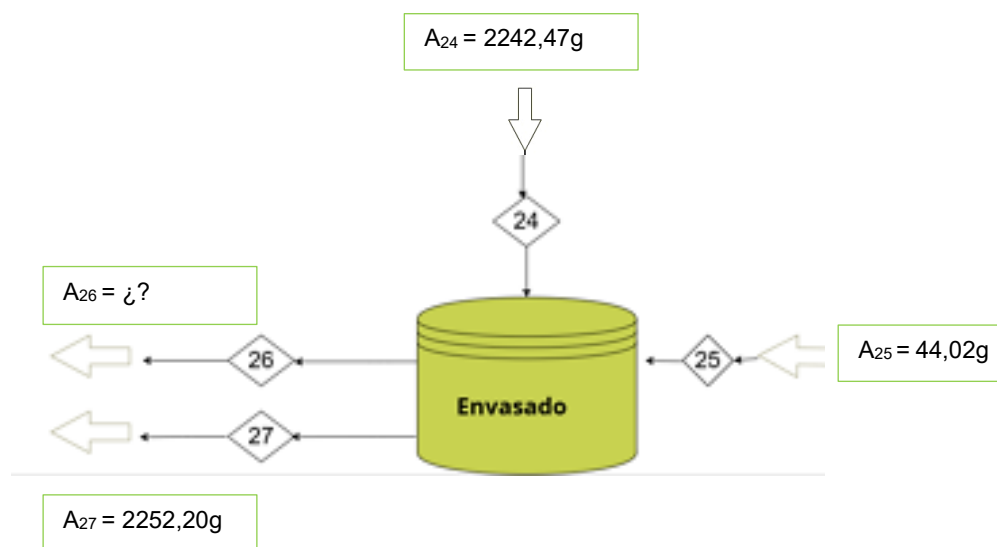


Figura 4.31: Balance de materia en la etapa de envasado de helado
Fuente: Elaboración propia

Balance global en la etapa de envasado

$$A_{24} + A_{25} = A_{26} + A_{27}$$

(Ecuación 4.17)

Despejando A_{26} de la Ecuación 4.17

$$A_{26} = A_{24} + A_{25} - A_{27}$$

$$A_{26} = 2242,47\text{g} + 44,02\text{g} - 2252,20\text{g}$$

$$A_{26} = 34,29\text{g de pérdidas}$$

4.10.9 Rendimiento del proceso de elaboración del helado de leche con relleno de pulpa de arándano

Para el cálculo de rendimiento en el proceso de la elaboración de helado de leche con relleno de pulpa de arándano, se tomó en cuenta la siguiente Ecuación 4.18, citada por Heldman & Singh (2009).

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Masa obtenida}}{\text{flujo másico de entrada}} \times 100\% \quad (\text{Ecuación 4.18})$$

$$\text{Rendimiento} = \frac{A_{27}}{A_1 + A_7 + A_8 + A_{13} + A_{14} + A_{15} + A_{16} + A_{17} + A_{18} + A_{23} + A_{25}} \times 100\%$$

$$\text{Rendimiento} = \frac{2252,20\text{g}}{525\text{g} + 106,75\text{g} + 2\text{g} + 1128,96\text{g} + 75,60\text{g} + 55,44\text{g} + 201,60\text{g} + 16,80\text{g} + 201,60\text{g} + 42,47 + 44,02} \times 100\%$$

$$\text{Rendimiento} = 93,83\%$$

4.10.10 Resumen general del balance de materia de elaboración de helado de leche con relleno de pulpa de arándano

En la Figura 4.32, se muestra el resumen de los resultados obtenidos del balance general de materia para la elaboración de helado de leche con relleno de pulpa de arándano

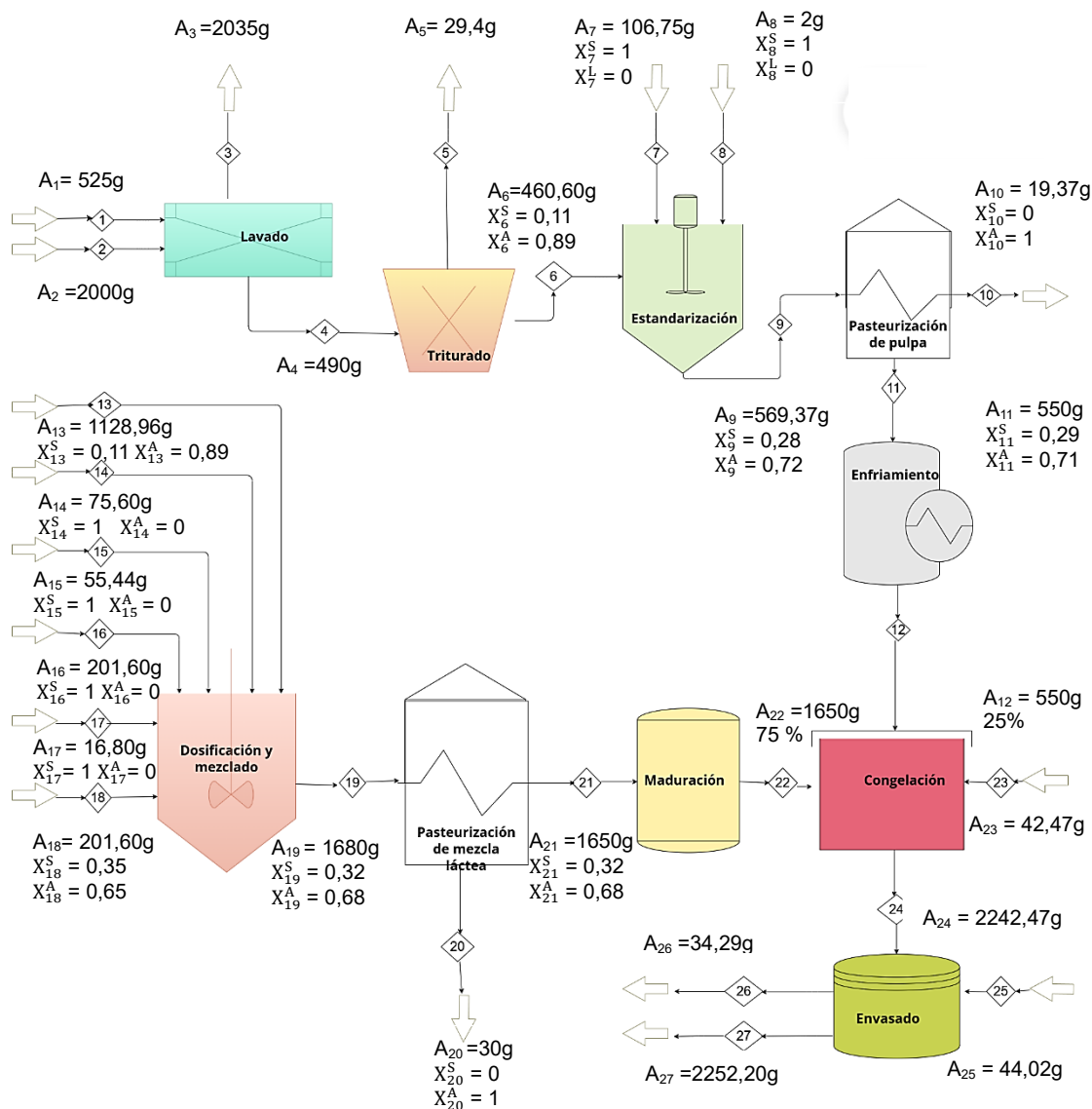


Figura 4.32: Resumen del balance de materia para el proceso de elaboración de helado de leche con relleno de pulpa de arándano

Fuente: Elaboración propia

4.11 Balance de energía para la elaboración del helado de leche con relleno de pulpa de arándano

Para el desarrollo del balance de energía en la elaboración del helado, se utilizó la Ecuación 4.21 descrita por Heldman & Singh (2009) donde se presentan los

fundamentos termodinámicos aplicados a procesos de enfriamiento y congelación de alimentos.

$$E_{i2} - E_{i1} + P_2 V_2 - P_1 V_1 = Q + E_f + \int V dP \quad \text{(Ecuación 4.19)}$$

$$(E_{i2} + P_2 V_2) - (E_{i1} + P_1 V_1) = Q + E_f + \int V dP$$

$$H = E_i + PV$$

$$H_2 - H_1 = Q + E_f + \int V dP$$

$$H_2 - H_1 = Q$$

$$\Delta H = Q \quad \text{(Ecuación 4.20)}$$

$$\Delta H = Q = m \int_{T_1}^{T_2} C_p dT$$

$$\Delta H = m * C_p (T_2 - T_1) \quad \text{(Ecuación 4.21)}$$

Donde:

$$Q_{cedido} = Q_{ganado} \quad \text{(Ecuación 4.22)}$$

Heldman & Singh (2009) proponen una ecuación para estimar el calor específico (C_p) en función de las fracciones másicas de agua, carbohidratos, proteínas, grasas y cenizas. La Ecuación 4.23 presenta esta relación, mediante la cual se determinó el C_p de la mezcla, valor que posteriormente se empleó en el cálculo del balance de energía.

$$C_p = C_h X_h + C_p X_p + C_f X_f + C_a X_a + C_w X_w \quad \text{(Ecuación 4.23)}$$

Donde:

X_h = Fracción de masa de carbohidratos

X_p = Fracción de masa de proteínas

X_f = Fracción de masa de grasas

X_a = Fracción de masa de cenizas

X_w = Fracción de masa de agua

C_h = Capacidad calorífica de carbohidratos

C_p = Capacidad calorífica de proteínas

C_f = Capacidad calorífica de grasas

C_a = Capacidad calorífica de cenizas

C_w = Capacidad calorífica de agua

Los valores de capacidad calorífica específica de los principales componentes del alimento se presentan en la Tabla 4.32 expresados en kJ/kg y kcal/kg°C.

Tabla 4.32

Capacidad calorífica específica de los principales componentes del alimento

Componentes	(Cp) (kJ/kg·°C)	(Cp) (kcal/kg·°C)
Carbohidratos	1,424	0,34
Proteína	1,549	0,37
Grasa	1,675	0,40
Cenizas	0,837	0,20
Agua	4,187	1,00
Hielo	2,050	0,50

Fuente: Heldman & Singh (2009)

4.11.1 Balance de energía en la etapa de pasteurización de la pulpa de arándano

En la Tabla 4.33, se observa los resultados de la composición fisicoquímica del arándano de datos extraídos del (Anexo A).

Tabla 4.33

Composición fisicoquímica del arándano

Parámetros	Unidades	Valor
Hidratos de carbono	g/100g	14,62
Proteína total (Nx6,25)	g/100g	0,62
Grasa	g/100g	0,25
Cenizas	g/100g	0,44
Humedad	g/100g	84,07

Fuente: CEANID, 2025

Para la determinación del calor específico del arándano (C_p), se tomó en cuenta la Ecuación 4.23, citado por Heldman y Singh (2009).

$$C_p = C_h X_h + C_p X_p + C_f X_f + C_a X_a + C_w X_w$$

$$C_{pA} = 0,34 * 0,1462 + 0,37 * 6,2 \times 10^{-3} + 0,40 * 2,5 \times 10^{-3} + 0,20 * 4,4 \times 10^{-3} + 1,00 * 0,8407$$

$$C_{pA} = 0,89 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg } ^\circ\text{C}}$$

En la Tabla 4.34, se observa la composición fisicoquímica del estabilizante liga neutra, cuyos datos fueron obtenidos de su ficha técnica.

Tabla 4.34

Composición fisicoquímica del estabilizante (liga neutra)

Componentes	g / 100 g
Carbohidratos	98,00
Proteínas	0,50
Cenizas (como sodio)	0,60
Agua	0,90

Fuente: (Doremus, 2012).

Calculando C_p de la súper liga neutra, aplicando Ecuación 4.23

$$C_{pE} = 0,34 * 0,98 + 0,37 * 5 \times 10^{-3} + 0,20 * 6 \times 10^{-3} + 1,00 * 9 \times 10^{-3}$$

$$C_{pE} = 0,34 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg } ^\circ\text{C}}$$

En la Tabla 4.35 se presenta el calor específico del azúcar y del acero inoxidable.

Tabla 4.35

Calores específicos

Calor específico	C_p (kJ/kg·°C)	C_p (kcal/kg·°C)
Azúcar (sacarosa)	1,25	0,30
Acero inoxidable	0,50	0,12

Fuente: (Rahman, 2009).

Calculando C_p de la pulpa de arándano estandarizada aplicando la Ecuación 4.24

$$C_{pPA} = C_{pA} + C_{pS} + C_{pE} \quad \text{(Ecuación 4.24)}$$

$$C_{pPA} = (0,89 + 0,30 + 0,34) \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg } ^\circ\text{C}}$$

$$C_{p_{PA}} = 1,53 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg } ^\circ\text{C}}$$

Dónde:

$C_{p_{PA}}$ = Capacidad calorífica de la pulpa de arándano estandarizada

C_{p_A} = Capacidad calorífica del arándano

C_{p_S} = Capacidad calorífica del azúcar

C_{p_E} = Capacidad calorífica de la liga neutra

En la Figura 4.33 se muestra el balance de energía de la etapa de pasteurización de la pulpa de arándano.

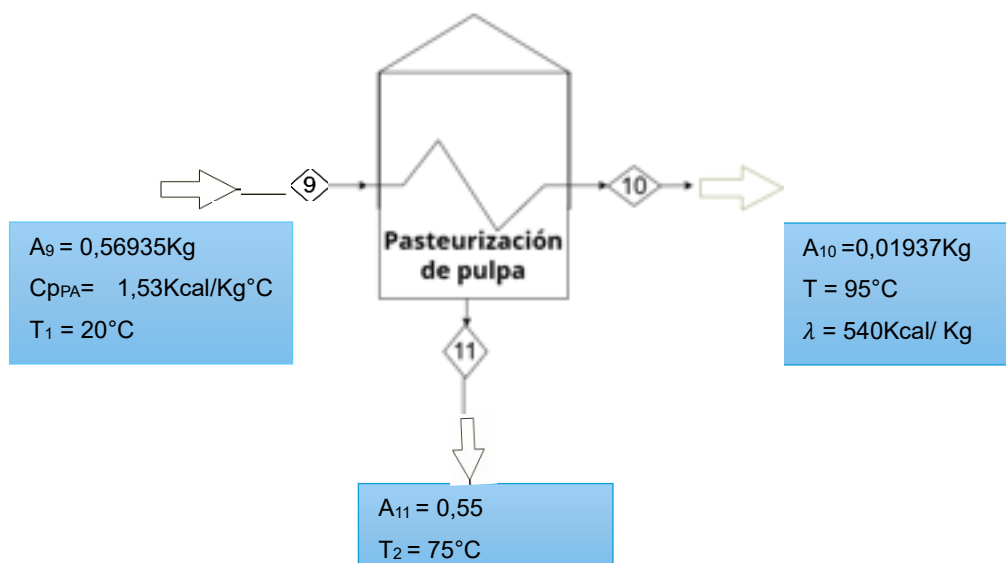


Figura 4.33: Balance de energía en la etapa de pasteurización de pulpa de arándano
Fuente: Elaboración propia

Para el balance de energía de la etapa de pasteurización de la pulpa se tomó en cuenta la Ecuación 4.25 citada por Valiente (2006).

$$Q_{\text{pulpa de arándano}} = A_9 * C_{p_{PA}}(T_2 - T_1) + \lambda * A_{10} \quad (\text{Ecuación 4.25})$$

$$Q_{\text{pulpa de arándano}} = 0,56937\text{Kg} * 1,53 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg } ^\circ\text{C}} (75^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C}) + 540 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}} * 0,01937\text{Kg}$$

$$Q_{\text{pulpa de arándano}} = 58,37\text{Kcal}$$

Cálculo de energía para calentar el recipiente que contiene la pulpa de arándano, utilizamos la Ecuación 4.26.

$$Q_{\text{recipiente}} = m_{\text{recipiente}} * C_{p\text{recipiente}}(T_2 - T_1) \quad (\text{Ecuación 4.26})$$

$$Q_{\text{recipiente}} = 1,5\text{Kg} * 0,12 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}^\circ\text{C}} (75^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C})$$

$$Q_{\text{recipiente}} = 1,5\text{Kg} * 0,12 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}^\circ\text{C}} (75^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C})$$

$$Q_{\text{recipiente}} = 11,34 \text{ Kcal}$$

Para determinar la energía total requerida para la pasteurización de 569,37 g de pulpa de arándano, se utilizó la Ecuación 4.27 (Valiente, 2006).

$$Q_T = \sum Q_i \quad (\text{Ecuación 4.27})$$

Donde:

Q_T = Calor total necesario para llevar que requiere el proceso

$\sum Q_i$ = suma de calores involucrados en los procesos

Reemplazando los datos obtenidos en la Ecuación 4.28

$$Q_{\text{Total}} = Q_{\text{pulpa de arándano}} + Q_{\text{recipiente}} \quad (\text{Ecuación 4.28})$$

$$Q_{\text{Total}} = (58,37 + 11,34) \text{ Kcal}$$

$$Q_{\text{Total}} = 69,71 \text{ Kcal}$$

4.11.2 Balance de energía en la etapa de pasteurización de la mezcla láctea

En la Tabla 4.36 se observa los resultados de la composición fisicoquímica de la leche entera “Prolac” de datos extraídos del (Anexo A).

Tabla 4.36

Composición fisicoquímica de la leche entera Prolac

Parámetros	Unidades	Valor
Hidratos de carbono	g/100g	4,94
Proteína total (Nx6,38)	g/100g	3,01
Grasa	g/100g	2,50
Cenizas	g/100g	0,75
Humedad	g/100g	88,80

Fuente: CEANID, 2025

Para la determinación del calor específico de la leche entera (C_p), se tomó en cuenta la Ecuación 4.23.

$$C_p = C_h X_h + C_p X_p + C_f X_f + C_a X_a + C_w X_w$$

$$C_{pL} = 0,34 * 0,0494 + 0,37 * 0,0301 + 0,40 * 0,025 + 0,20 * 7,5 \times 10^{-3} + 1,00 * 0,880$$

$$C_{pL} = 0,92 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg } ^\circ\text{C}}$$

En la Tabla 4.37, se presenta la composición fisicoquímica de la leche en polvo, según Liconsa (2016).

Tabla 4.37

Composición nutricional de la leche en polvo

Componentes	Cantidad/100g	Unidad
Hidratos de carbono	39,00	g
Proteínas	25,50	g
Grasas	26,00	g
Cenizas	6,50	g
Agua	3,00	g

Fuente: (Liconsa, 2016)

Para la determinación del calor específico de la leche en polvo (C_p), se tomó en cuenta la Ecuación 4.23.

$$C_p = C_h X_h + C_p X_p + C_f X_f + C_a X_a + C_w X_w$$

$$C_{pLP} = 0,34 * 0,39 + 0,37 * 0,255 + 0,40 * 0,26 + 0,20 * 0,065 + 1,00 * 0,03$$

$$C_{pLP} = 0,38 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg } ^\circ\text{C}}$$

En la Tabla 4.38, se presenta la composición fisicoquímica de la crema de leche. Los valores indicados fueron obtenidos de la bibliografía (PIL Andina, 2025).

Tabla 4.38**Composición nutricional de la crema de leche**

Componentes	Cantidad/100g	Unidad
Hidratos de carbono	1,0	g
Proteínas	2,0	g
Grasas	35,0	g
Cenizas	0,5	g
Agua	61,5	g

Fuente: (PIL Andina, 2025)

Para la determinación del calor específico de la crema de leche (C_p), se tomó en cuenta la Ecuación 4.23.

$$C_p = C_h X_h + C_p X_p + C_f X_f + C_a X_a + C_w X_w$$

$$C_{pC} = 0,34 * 0,01 + 0,37 * 0,02 + 0,40 * 0,35 + 0,20 * 5 \times 10^{-3} + 1,00 * 0,615$$

$$C_{pC} = 0,77 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg } ^\circ\text{C}}$$

En la Tabla 4.39 se presenta la composición fisicoquímica de la dextrosa, cuyos datos fueron obtenidos de la ficha técnica.

Tabla 4.39**Composición nutricional de dextrosa “Ingretec”**

Componentes	Cantidad/100g	Unidad
Hidratos de carbono	99,5	g
Cenizas	0,1	g
Agua	0,4	g

Fuente: (Ingretec, 2016)

Para la determinación del calor específico de la crema de leche (C_p), se tomó en cuenta la Ecuación 4.23.

$$C_p = C_h X_h + C_p X_p + C_f X_f + C_a X_a + C_w X_w$$

$$C_{pD} = 0,34 * 0,995 + 0,20 * 1 \times 10^{-3} + 1,00 * 4 \times 10^{-3}$$

$$C_{pD} = 0,34 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg } ^\circ\text{C}}$$

Calculando C_p de la mezcla láctea

$$C_{pM} = C_{pL} + C_{pLP} + C_{pC} + C_{pD} + C_{pS} + C_{pE}$$

$$C_{pM} = (0,92 + 0,38 + 0,77 + 0,34 + 0,30 + 0,34) \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg } ^\circ\text{C}}$$

$$C_{pM} = 3,05 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg } ^\circ\text{C}}$$

Dónde:

C_{pM} = Capacidad calorífica de la mezcla láctea

C_{pL} = Capacidad calorífica de la leche fluida Prolac

C_{pLP} = Capacidad calorífica de la leche en polvo

C_{pC} = Capacidad calorífica de la crema de leche

C_{pD} = Capacidad calorífica de la dextrosa

C_{pS} = Capacidad calorífica del azúcar

C_{pE} = Capacidad calorífica del estabilizante

En la Figura 4.34 se muestra el balance de energía de la etapa de pasteurización de la mezcla láctea.

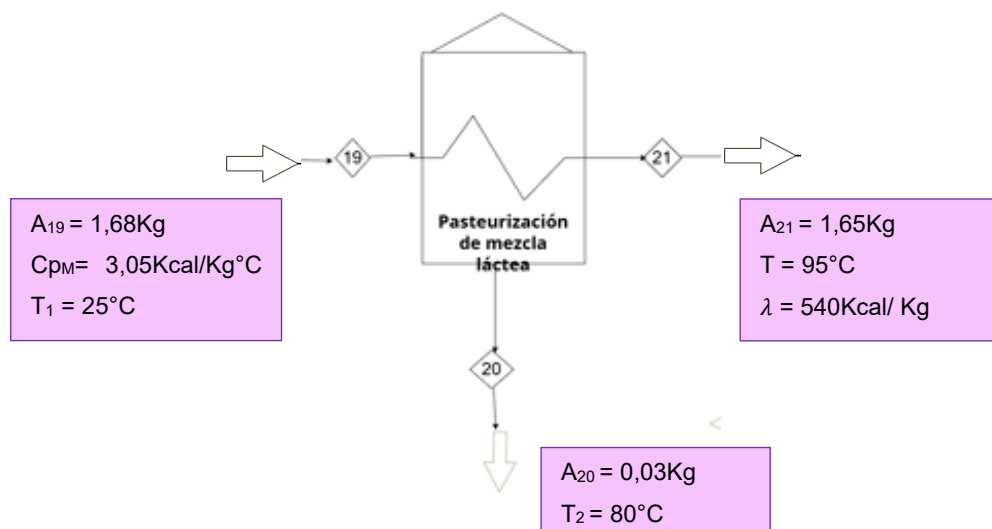


Figura 4.34: Balance de energía en la etapa de pasteurización de la mezcla láctea
Fuente: Elaboración propia

$$Q_{\text{mezcla láctea}} = A_{19} * C_{pM}(T_2 - T_1) + \lambda * A_{20} \quad (\text{Ecuación 4.29})$$

$$Q_{\text{mezcla láctea}} = 1,68\text{Kg} * 3,05 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}^\circ\text{C}} (80^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C}) + 540 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}} * 0,03\text{Kg}$$

$$Q_{\text{mezcla láctea}} = 323,64\text{Kcal}$$

Para el cálculo de la energía necesaria para calentar el recipiente que contiene la mezcla láctea, se utilizó la Ecuación 4.30.

$$Q_{\text{recipiente}} = m_{\text{recipiente}} * C_{p\text{recipiente}}(T_2 - T_1) \quad (\text{Ecuación 4.30})$$

$$Q_{\text{recipiente}} = 1,5\text{Kg} * 0,12 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}^\circ\text{C}} (80^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C})$$

$$Q_{\text{recipiente}} = 10,80 \text{ Kcal}$$

Para determinar la energía total requerida para la pasteurización de 1680 g de mezcla láctea, se utilizó la Ecuación 4.27.

$$Q_T = \sum Q_i$$

$$Q_{\text{Total}} = Q_{\text{mezcla}} + Q_{\text{recipiente}}$$

$$Q_{\text{Total}} = (323,64 + 10,80)\text{Kcal}$$

$$Q_{\text{Total}} = 334,44\text{Kcal}$$

4.11.3 Balance de energía en la etapa de congelación

En la Figura 4.35 se muestra el balance de energía de la etapa de congelación del helado de leche con relleno de pulpa de arándano.

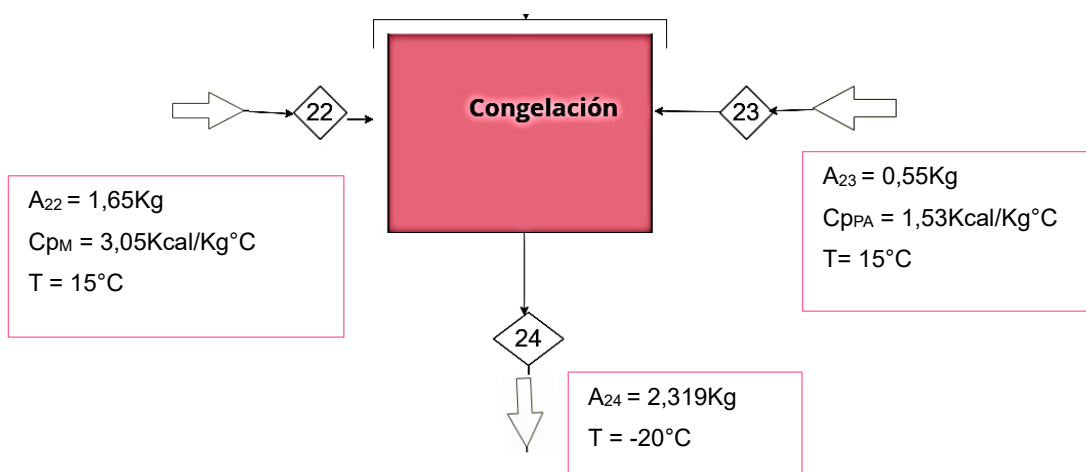


Figura 4.35: Balance de energía en la etapa de congelación

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 4.40, se observa los resultados de la composición fisicoquímica del helado de datos extraídos del (Anexo A).

Tabla 4.40

Composición fisicoquímica del helado de leche con relleno de pulpa de arándano

Parámetros	Unidades	Valor
Hidratos de carbono	g/100g	30,68
Proteína total (Nx6,25)	g/100g	2,46
Grasa	g/100g	4,01
Cenizas	g/100g	0,70
Humedad	g/100g	62,15

Fuente: CEANID, 2025

Para la determinación del calor específico del helado (C_p), se tomó en cuenta la Ecuación 4.23.

$$C_p = C_h X_h + C_p X_p + C_f X_f + C_a X_a + C_w X_w$$

$$C_{pH} = 0,34 * 0,3068 + 0,37 * 0,0246 + 0,40 * 0,0401 + 0,20 * 7 \times 10^{-3} + 1,00 * 0,6215$$

$$C_{pH} = 0,75 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg } ^\circ\text{C}}$$

Calor a evacuar para enfriar la mezcla antes del congelamiento

Para calcular el calor a evacuar durante el enfriamiento de la mezcla se empleó la Ecuación 4.31 (Ibarz & Barbosa-Cánovas, 2005).

$$Q_1 = A_{22} * C_{pM}(T_i - T_c) + A_{23} * C_{pPA}(T_i - T_c) \quad (\text{Ecuación 4.31})$$

Dónde:

T_i = Temperatura de ingreso de las mezclas (°C)

T_c = Temperatura de congelación (°C)

$$Q_1 = 2,20\text{Kg} * 3,05 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}^\circ\text{C}} [15 - (-2)]^\circ\text{C} + 0,55\text{Kg} * 1,53 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}^\circ\text{C}} [15 - (-2)]^\circ\text{C}$$

$$Q_1 = -128,38\text{Kcal}$$

Calor a evacuar durante la congelación de la mezcla de helado

Para calcular el calor a evacuar durante la congelación de la mezcla de helado, se utilizó la Ecuación 32, citada por (Holden et al, 2020), quienes señalan que en los alimentos existe una fracción de agua no congelable entre 3% y 46%. En base a ello, se consideró una fracción de agua congelable del 70% para el cálculo,

$$Q_2 = A_{24} * \frac{p}{100} * f_c * q_s \quad (\text{Ecuación 4.32})$$

Donde:

p = humedad en %

f_c = fracción de agua congelable

q_s = Calor de fusión del agua

$$Q_2 = 2,20\text{Kg} * \frac{62,15}{100} * 0,70 * 80 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}}$$

$$Q_2 = 76,57\text{Kcal}$$

Subenfriamiento del helado de leche con relleno de pulpa de arándano

El calor se calculó mediante la Ecuación 4.33 (Holden et al, 2020).

$$Q_3 = A_{24} C_{pH} (T_c - T_f) \quad (\text{Ecuación 4.33})$$

Dónde:

T_c = Temperatura de congelación ($^{\circ}\text{C}$)

T_f = Temperatura final que se quiere alcanzar ($^{\circ}\text{C}$)

$$Q_3 = 2,20\text{Kg} * 0,75 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg } ^{\circ}\text{C}} [-2 - (-20)]^{\circ}\text{C}$$

$$Q_3 = -29,70\text{Kcal}$$

Para determinar la energía total requerida para la congelación de helado de leche con relleno de pulpa de arándano, se utilizó la Ecuación 4.34.

$$Q_T = Q_1 + Q_2 + Q_3 \quad (\text{Ecuación 4.34})$$

$$Q_T = (-128,38\text{Kcal}) + (-76,50\text{Kcal}) + (-29,70\text{Kcal})$$

$$Q_T = -234,58\text{Kcal}$$

4. 11.4 Calculo de consumo de energía de los equipos

Según Heldman y Singh (2009), el watt (W) se define como la potencia que genera energía a una tasa de 1 J/s, lo que permite calcular la energía eléctrica consumida a partir de la potencia del equipo y el tiempo de operación. De esta manera, la energía consumida por un equipo eléctrico puede expresarse como:

$$E = P \times t \quad (\text{Ecuación 4.36})$$

Donde:

E= Energía

P= Potencia del equipo

t= Tiempo de uso del equipo

Cálculo de energía eléctrica en la etapa de triturado del arándano.

Para el cálculo de consumo de energía de la procesadora durante la etapa de triturado se aplicó la Ecuación 4.36.

$$E_1 = P_1 * \theta_1$$

$$E_1 = 650W * \frac{1Kcal/h}{1,163W} * 0,33h$$

$$E_1 = 184.44Kcal$$

Cálculo de calor suministrado por la cocina para pasteurizar la pulpa de arándano

Para determinar la energía suministrada por la cocina durante la pasteurización de la pulpa de arándano se utilizó la Ecuación 4.36.

$$E_2 = P_2 * \theta_2$$

Según Martzel (2017), la potencia de un quemador de cocina semiindustrial es de 1200 Kcal/h.

$$E_2 = 1200 Kcal/h \times 0,33 h$$

$$E_2 = 396Kcal$$

Cálculo de energía eléctrica en la etapa de enfriamiento de la pulpa de arándano

Para el cálculo se utilizó la Ecuación 4.37, correspondiente al cálculo de la energía eléctrica en la etapa de enfriamiento de la pulpa de arándano:

$$E_3 = P_3 * \theta_3 * f$$

(Ecuación 4.37)

Donde:

F= fracción de funcionamiento del compresor

Según (Belman-Flores et al, 2015), en refrigeradores domésticos los compresores funcionan en ciclos de encendido y apagado controlados por temperatura, por lo que no operan continuamente al 100 % y consumen más energía durante los arranques. En base a esto, se asumió una fracción de funcionamiento de 0,60 para estimar el consumo de energía del compresor.

$$E_3 = 150W * \frac{1Kcal/h}{1,163W} * 2h * 0,60$$

$$E_3 = 123,82Kcal$$

Cálculo de energía eléctrica en la etapa de dosificación y mezclado de la mezcla láctea

Para el cálculo de consumo de energía de la licuadora eléctrica durante la etapa de dosificación y mezclado se aplicó la Ecuación. 4.36

$$E_4 = P_4 * \theta_4$$

$$E_4 = 450W * \frac{1Kcal/h}{1,163W} * 0,08h$$

$$E_4 = 32,24Kcal$$

Cálculo de calor suministrado por la cocina para pasteurizar la mezcla láctea

Para determinar la energía suministrada por la cocina durante la pasteurización de la mezcla láctea se utilizó la Ecuación 4.36.

$$E_5 = P_5 * \theta_5$$

Según Martzel (2017), la potencia de un quemador de cocina semiindustrial es de 1200 Kcal/h.

$$E_5 = 1200 Kcal/h \times 0,5 h$$

$$E_5 = 600\text{Kcal}$$

Cálculo de energía eléctrica en la etapa de maduración de la mezcla láctea

Para estimar el consumo de energía del compresor del refrigerador se aplicó la Ecuación 4.37.

$$E_6 = P_6 * \theta_6 * f \quad \text{(Ecuación 4.37)}$$

Donde:

F= fracción de funcionamiento del compresor

$$E_6 = 150\text{W} * \frac{1\text{Kcal/h}}{1,163\text{W}} * 4\text{h} * 0,50$$

$$E_6 = 206,40\text{Kcal}$$

Cálculo de energía eléctrica en la etapa de congelación

Para el cálculo de consumo de energía del ultracongelador durante la etapa de congelación se aplicó la Ecuación 4.38.

$$E_7 = P_7 * \theta_7 \quad \text{(Ecuación 4.38)}$$

$$E_7 = 435\text{W} * \frac{1\text{Kcal/h}}{1,163\text{W}} * 3,5\text{h}$$

$$E_7 = 1309,11\text{Kcal}$$

Cálculo total de consumo de energía de los equipos

Para el cálculo total del consumo de energía de los equipos utilizados en la elaboración de helado de leche con relleno de pulpa de arándano, se aplicó la Ecuación 4.39.

$$E_T = E_1 + E_2 + E_3 + E_4 + E_5 + E_6 + E_7 \quad \text{(Ecuación 4.39)}$$

$$E_T = (184,44 + 396 + 123,82 + 32,24 + 600 + 206,40 + 1309,11)\text{Kcal}$$

$$E_T = 2852\text{Kcal}$$

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y

RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- Según el análisis fisicoquímico y microbiológico realizado, el arándano contiene: calcio 13 mg/100g, cenizas 0,44 g/100g, grasa 0,25 g/100g, hidratos de carbono 14,62 g/100g, humedad 84,07 g/100g, potasio 65,8 mg/100g, proteína total (Nx6,25) 0,62g/100g, valor energético 65 Kcal/100g, Coliformes totales $< 1,0 \times 10^1$ (*) UFC/g, en donde no se observa desarrollo de colonias y hay ausencia de *Salmonella* (P/A/25g).
- En base a los resultados de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos realizados, la leche entera Prolac contiene: cenizas 0,75 g/100g, grasa 2,50 g/100g, hidratos de carbono 4,94 g/100g, humedad 88,80 g/100g, proteína total 3,01 g/100g y valor energético 53 Kcal/100g, Bacterias aerobias mesófilas $1,5 \times 10^2$ UFC/ml y *Staphylococcus aureus* $< 1,0 \times 10^1$ UFC/ml, en donde (*) = No se observa desarrollo de colonias.
- En la determinación del punto inicial de congelación mediante crioscopia y del tiempo de congelación de las muestras iniciales (HR5, HR6 y HR7) de helado de leche con pulpa de arándano, se evidenciaron diferencias en su comportamiento de congelación, mostrando que a mayor concentración de solutos disminuye el punto de congelación. La muestra HR6 presentó el punto más bajo ($-2,50$ °C) y alcanzó (-22 °C) en 55 minutos, con menor tiempo de congelación y una textura más suave según los jueces, lo cual también se reflejó en la curva de congelación.
- En base a los resultados del análisis estadístico de varianza de la evaluación sensorial de las pruebas preliminares de helado de leche con relleno de pulpa de arándano (muestras HR8 y HR9), se observó que, para los atributos color, sabor, textura, cremosidad y apariencia, la muestra HR8 fue la preferida por los jueces, considerando un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.
- En base al diseño factorial 2^3 aplicado en la etapa de dosificación de la mezcla láctea del helado, se evaluó la influencia del porcentaje de leche en polvo (A),

crema de leche (B) y estabilizante (C) sobre el pH, acidez y tiempo de congelación. Se determinó que el factor más influyente en pH y acidez fue la leche en polvo, mientras que en el tiempo de congelación fue la crema de leche, permitiendo identificar las variables del proceso con mayor impacto en las características fisicoquímicas y la textura del helado de leche con pulpa de arándano.

- Según los resultados de análisis fisicoquímicos y microbiológicos del helado de leche con relleno de pulpa de arándano presenta: calcio 21,4 mg/100g, ceniza 0,70 g/100g, grasa 4,01 g/100g, hidratos de carbono 30,68 g/100g, humedad 62,15 g/100g, proteína total (Nx6,25) 2,46g/100g, sólidos totales 37,85 g/100g y valor energético 169 Kcal/100g, Bacterias aerobias mesófilas $1,2 \times 10^2$ UFC/ml, Coliformes totales $< 1,0 \times 10^1$ UFC/g, *Staphylococcus aureus* $< 1,0 \times 10^1$ UFC/ml y ausencia de *Salmonella* (P/A/25g).
- De acuerdo al balance de materia del proceso de elaboración del helado de leche con pulpa de arándano, a partir de 530 g de arándano se obtuvo 550 g de pulpa de arándano y 1650 g de mezcla láctea, alcanzando 2 252,20 g de producto final con un rendimiento de 93,83 %. Asimismo, la cantidad de calor necesaria para la etapa de congelación es de 234,58 Kcal, y el consumo total de energía de los equipos utilizados es de 2852 Kcal.

5.2 Recomendaciones

- Se recomienda evaluar la adaptación del proceso de elaboración del helado de leche con relleno de pulpa de arándano a sistemas de producción continua utilizados en la industria alimentaria, con el objetivo de optimizar los tiempos de procesamiento, mejorar la eficiencia operativa y aumentar el volumen de producción. Este tipo de sistemas permitiría una elaboración más constante y uniforme del producto, garantizando una mayor capacidad de abastecimiento en caso de su comercialización.

- Se recomienda evaluar la implementación de técnicas de congelación rápida, como la inmersión en soluciones refrigerantes o sistemas equivalentes utilizados en la industria alimentaria, con el objetivo de mejorar la calidad estructural del helado y favorecer una distribución más uniforme del relleno de pulpa de arándano durante el proceso de solidificación.
- Se recomienda considerar el uso de envases de grado alimentario con diseño e impresión personalizada en una posible etapa de industrialización, con el fin de mejorar la presentación del producto, facilitar su identificación comercial y reforzar su imagen en el mercado, manteniendo las condiciones de conservación del helado con relleno de pulpa de arándano.