

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS



T E S I S

**“EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS SENSORIALES Y
FISICOQUÍMICAS DE UN HELADO ARTESANAL DE BETARRAGA
(*Beta vulgaris*) Y ARÁNDANO (*Vaccinium myrtillus*)”**

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

Presentado por la Bachiller:

YOVANA PAOLA DÍAZ YDROGO

Asesor:

Dr. JOSÉ GERARDO SALHUANA GRANADOS

CAJAMARCA – PERÚ

2026

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

1. Investigador:
Yovana Paola Díaz Ydrogo
DNI: N° 74355629
Escuela Profesional/Unidad UNC:
INGENIERÍA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS
2. Asesor:
Dr. José Gerardo Salhuana Granados
Facultad/Unidad UNC:
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
3. Grado académico o título profesional
 Bachiller Título profesional Segunda especialidad
 Maestro Doctor
4. Tipo de Investigación:
 Tesis Trabajo de investigación Trabajo de suficiencia profesional
 Trabajo académico
5. Título de Trabajo de Investigación:
"EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS SENSORIALES Y FÍSICOQUÍMICAS DE UN HELADO ARTESANAL DE BETARRAGA (*Beta vulgaris*) Y ARÁNDANO (*Vaccinium myrtillus*)"
6. Fecha de evaluación: 17/03/2026
7. Software antiplagio: TURNITIN URKUND (ORIGINAL) (*)
8. Porcentaje de Informe de Similitud: 17%
9. Código Documento: oid::: 3117:568348490
10. Resultado de la Evaluación de Similitud:
 APROBADO **PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO**

Fecha Emisión: 06/04/2026

<i>Firma y/o Sello Emisor Constancia</i>

..... Dr. José Gerardo Salhuana Granados DNI: 87797881

* En caso se realizó la evaluación hasta setiembre de 2023



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
"NORTE DE LA UNIVERSIDAD PERUANA"
Fundada por Ley N° 14015, del 13 de febrero de 1962
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
Secretaría Académica



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En la ciudad de Cajamarca, a los nueve días del mes de marzo del año dos mil veintiséis, se reunieron en el ambiente 2H - 204 de la Facultad de Ciencias Agrarias, los miembros del Jurado, designados según **Resolución de Consejo de Facultad N° 222-2025-FCA-UNC, de fecha 12 de mayo del 2025**, con la finalidad de evaluar la sustentación de la **TESIS** titulada: **"EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS SENSORIALES Y FÍSICOQUÍMICAS EN UN HELADO ARTESANAL DE BETARRAGA (*Beta vulgaris*) Y ARÁNDANO (*Vaccinium myrtillus*)"**, realizada por la Bachiller **YOVANA PAOLA DÍAZ YDROGO** para optar el Título Profesional de **INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**.

A las nueve horas y cinco minutos, de acuerdo a lo establecido en el **Reglamento Interno para la Obtención de Título Profesional de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cajamarca**, el Presidente del Jurado dio por iniciado el Acto de Sustentación, luego de concluida la exposición, los miembros del Jurado procedieron a la formulación de preguntas y posterior deliberación. Acto seguido, el Presidente del Jurado anunció la aprobación por unanimidad, con el calificativo de dieciséis (16); por tanto, la Bachiller queda expedita para proceder con los trámites que conlleven a la obtención del Título Profesional de **INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**.

A las nueve horas y cincuenta minutos del mismo día, el Presidente del Jurado dio por concluido el Acto de Sustentación.

Ing. M. Sc. Fandy Lucila Rimarachin Chávez
PRESIDENTE

Dr. Jimmy Frank Oblitas Cruz
SECRETARIO

Ing. Mtr. Max Edwin Sangay Terrones
VOCAL

Dr. José Gerardo Salhuano Granados
ASESOR

DEDICATORIA

A Dios; por haber permitido llegar hasta este punto y haberme brindado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A mis padres, por la paciencia durante este proceso de realización de tesis y la confianza de ver este sueño hecho realidad.

A mi hermano, por su apoyo incondicional, su motivación y por su ayuda económica en este proceso.

A mis amigas por su ayuda y preocupación constante para culminar este proyecto de investigación.

Yovana Paola Diaz Ydrogo

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, a Dios por brindarme salud y guiarme en el camino del bien y la sabiduría, por darme las fuerzas para poder culminar este proyecto.

A mis padres Lila Ydrogo Vásquez y José Melanio Diaz Nuñez, por su apoyo incondicional, tanto emocional y económicamente, para poder culminar mi carrera universitaria con éxito. Gracias a ustedes por ser el motor que me impulsan para seguir adelante cumpliendo mis sueños y nunca dejar de apoyarme. Son unas personas entrañables en mi vida.

A mi hermano Nilton Omar Diaz Ydrogo, por ayudarme en este camino tan arduo económicamente, emocionalmente y por siempre brindarme palabras de aliento durante mi vida universitaria.

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mi asesor de Tesis. Dr. José Gerardo Salhuana Granados, por su paciencia y apoyo brindado en la realización del presente trabajo de investigación, por ser una persona muy docta en su profesión.

Finalmente, a mis profesores por sus enseñanzas brindadas, a mis amigos y compañeros por la ayuda brindada durante mi vida universitaria.

Yovana Paola Diaz Ydrogo

ÍNDICE GENERAL

I. INTRODUCCION	1
1.1.Descripción del Problema	2
1.2.Formulación Del Problema	3
1.3.Justificación.....	4
1.4.Objetivos	5
1.4.1. Objetivo General.....	5
1.4.2. Objetivos Específicos.....	5
1.5.Hipótesis.....	5
II. REVISIÓN DE LA LITERATURA	6
2.1. Antecedentes.....	6
2.1.1. Investigaciones Internacionales	6
2.1.2. Investigaciones Nacionales.....	8
2.2. Marco teórico.....	11
2.2.1. Helados Artesanales	11
2.2.2. Características sensoriales de helados.....	13
2.2.3. Características fisicoquímicas de helados	14
2.2.5. Betarraga (Beta vulgaris).....	16
2.2.4. Arándano (Vaccinium myrtillus)	18
2.2.5. Análisis Fisicoquímico	21
2.2.6. Evaluación Sensorial	24

2.3. Definición de términos básicos.....	25
III. MATERIALES Y MÉTODOS	28
3.1. Ubicación	28
3.2. Materiales y Equipos.....	28
3.2.1. Materia prima e insumos	28
3.2.2. Equipos.....	29
3.2.3. Materiales	29
3.2.4. Reactivos	30
3.3. Metodología.....	30
3.3.1. Variables.....	30
3.3.3. Tipo y diseño de investigación.....	33
3.3.4. Tamaño de unidad experimental.....	34
3.3.5. Flujograma de elaboración de pulpa de arándano y betarraga.....	34
3.3.6. Descripción de operaciones de la elaboración de helado artesanal	38
3.3.7. Descripción de los procedimientos experimentales	41
3.3.7.1. Análisis Sensorial	41
3.3.7.2. Análisis estadístico	42
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	43
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	67
VI. BIBLIOGRAFÍA	69
VII. ANEXOS.....	76

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Composición de componentes principales de una mezcla base para helado artesanal	13
Tabla 2 Resumen comparativo de helado artesanal y helado comercial.....	16
Tabla 3 Principales compuestos bioactivos de la betarraga (<i>Beta vulgaris</i>)	17
Tabla 4 Compuestos bioactivos y nutricional <i>Vaccinium</i> spp. por 100g de fruta fresca.....	19
Tabla 5 <i>Análisis fisicoquímico del helado de betarraga y arándano</i>	24
Tabla 6 Matriz de Variables	33
Tabla 7 Fórmula para base para lote de 10kg de helado.....	38
Tabla 8 Ecuación de ajuste de la superficie de respuesta para la Acidez	45
Tabla 9 Ecuación de ajuste de la superficie de respuesta para la densidad.....	48
Tabla 10 Ecuación de ajuste de la superficie de respuesta para la pH.....	51
Tabla 11 Ecuación de ajuste de la superficie de respuesta para la Brix.....	53
Tabla 12 Ecuación de ajuste de la superficie de respuesta para el sabor.....	57
Tabla 13 Ecuación de ajuste de la superficie de respuesta para color	60
Tabla 14 Ecuación de ajuste de la superficie de respuesta para olor.....	62
Tabla 15 Ecuación de ajuste de la superficie de respuesta para apariencia general	65

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Estructura del helado	12
Figura 2 Estructura química de la Betanina ($C_{24}H_{26}N_2O_{13}$).....	18
Figura 3 Estructura química general de una antocianina (Cianidina-3-glucósido).....	21
Figura 4 Ubicación de la Universidad Nacional de Cajamarca.....	28
Figura 5 Diagrama de flujo de obtención de la pulpa de arándano y betarra.....	36
Figura 6 Diagrama de flujo de la elaboración de helado artesanal.....	40
Figura 7 Pareto para efectos individuales para la acidez.....	43
Figura 8 Efectos Individuales para la Acidez	44
Figura 9 Superficie de respuesta estimada para la Acidez.....	45
Figura 10 Pareto para efectos individuales para Densidad	46
Figura 11 Efectos Individuales para la densidad.....	46
Figura 12 Superficie de respuesta estimada para la densidad	48
Figura 13 Pareto para efectos individuales para pH.....	49
Figura 14 Efectos Individuales para el pH.....	49
Figura 15 Superficie de respuesta estimada para pH.....	50
Figura 16 Pareto para efectos individuales para Brix.....	51
Figura 17 Efectos Individuales para Brix	52
Figura 18 Superficie de respuesta estimada para Brix.....	53
Figura 19 Pareto para efectos individuales para el sabor.....	54
Figura 20 Efectos Individuales para el sabor	55
Figura 21 Superficie de respuesta estimada para el sabor	56
Figura 22 Pareto para efectos individuales para color.....	58
Figura 23 Efectos Individuales para color	58
Figura 24 Superficie de respuesta estimada para color	59

Figura 25 Pareto para efectos individuales de olor.....	61
Figura 26 <i>Efectos Individuales para olor</i>	61
Figura 27 <i>Superficie de respuesta estimada para olor</i>	62
Figura 28 Pareto para efectos individuales para apariencia general.....	63
Figura 29 <i>Efectos Individuales para apariencia general</i>	63
Figura 30 Superficie de respuesta estimada para apariencia general	64
Figura 31 Optimización	65

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Formulas y estadísticos de supuestos de normalidad	76
Anexo 2. Cálculo de eficiencia relativa.....	77
Anexo 3. Tablas de resultados por parámetros fisicoquímicos	77
Anexo 4. Tablas de resultados sensoriales.....	79
Anexo 5. Proceso de elaboración de un helado con diferentes concentraciones de arándano y betarraga.....	83
Anexo 6. <i>Evidencia fotográfica del análisis fisicoquímico a las muestras</i>	88
Anexo 7. <i>Evidencia fotográfica de la evaluación sensorial de un helado con diferentes concentraciones de arándano y betarraga.</i>	89
Anexo 8. <i>Ficha de análisis sensorial</i>	90
Anexo 9. Parámetros de calidad.....	91

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de la concentración de betarraga (*Beta vulgaris*) y arándano (*Vaccinium myrtillus*) en las características sensoriales y fisicoquímicas de un helado artesanal. Se empleó un diseño experimental factorial 3×3, considerando tres niveles de betarraga (10 %, 15 % y 20 %) y tres niveles de arándano (20 %, 30 % y 40 %), generándose nueve tratamientos. Se evaluaron parámetros fisicoquímicos como pH, acidez titulable, sólidos solubles (°Brix) y densidad, así como atributos sensoriales de sabor, color, olor y apariencia general mediante una escala hedónica aplicada a panelistas.

Los resultados evidenciaron que la concentración de betarraga y arándano influyó significativamente ($p < 0.05$) en la acidez y el pH del helado. La betarraga mostró un efecto significativo sobre los sólidos solubles y sobre los atributos sensoriales de sabor, olor y apariencia general, observándose un aumento de la aceptación sensorial a mayores concentraciones. El arándano presentó una influencia deficiente principalmente en el color y la apariencia general. Mediante el proceso de optimización utilizando la función de deseabilidad, se identificó como formulación óptima el Tratamiento 8, correspondiente a una concentración de 20% de betarraga y 30 % de arándano, el cual presentó la mayor aceptación sensorial global. Asimismo, el Tratamiento 8 cumplió con los parámetros fisicoquímicos establecidos por normas internacionales (AOAC) para helados, confirmando su viabilidad tecnológica. Se concluye que es posible desarrollar un helado artesanal con betarraga y arándano que mantenga adecuada calidad sensorial y estabilidad fisicoquímica cuando se emplean concentraciones apropiadas de ambos ingredientes.

Palabras clave: Helado artesanal, *Beta vulgaris*, *Vaccinium myrtillus*, Análisis sensorial, Calidad fisicoquímica.

ABSTRACT

This research aimed to evaluate the effect of beetroot (*Beta vulgaris*) and blueberry (*Vaccinium myrtillus*) concentrations on the sensory and physicochemical characteristics of an artisanal ice cream. A 3×3 factorial experimental design was applied, considering three levels of beetroot (10%, 15%, and 20%) and three levels of blueberry (20%, 30%, and 40%), resulting in nine treatments. Physicochemical parameters such as pH, titratable acidity, soluble solids (°Brix), and density were analyzed, while sensory attributes including flavor, color, odor, and overall appearance were evaluated using a hedonic scale by a panel of assessors.

The results showed that beetroot and blueberry concentrations significantly affected ($p < 0.05$) the acidity and pH of the ice cream. Beetroot concentration had a significant effect on soluble solids and on sensory attributes such as flavor, odor, and overall appearance, with a decrease in sensory acceptance observed at higher concentrations. In contrast, blueberry showed a positive influence mainly on color and overall appearance. Through optimization using the desirability function, Treatment 8, consisting of 15% beetroot and 30% blueberry, was identified as the optimal formulation, achieving the highest overall sensory acceptance.

Furthermore, the physicochemical characteristics of Treatment 8 complied with international quality standards for ice cream established by the Association of Official Analytical Chemists (AOAC), confirming its technological feasibility. It is concluded that an artisanal ice cream incorporating beetroot and blueberry can be successfully developed with acceptable sensory quality and physicochemical stability when appropriate ingredient concentrations are applied.

Keywords: Artisanal ice cream; *Beta vulgaris*; *Vaccinium myrtillus*; sensory analysis; physicochemical quality.

I. INTRODUCCION

En los últimos años, el mercado alimentario mundial ha mostrado un crecimiento sostenido en la demanda de alimentos con valor funcional, caracterizados por la incorporación de ingredientes naturales ricos en compuestos bioactivos que aportan beneficios adicionales a la salud. Organismos internacionales como la FAO y la OMS promueven el desarrollo de este tipo de productos como una estrategia para mejorar la alimentación y contribuir a la prevención de enfermedades crónicas. En este contexto, la industria heladera ha iniciado un proceso de diversificación, orientándose hacia la elaboración de productos que, además de brindar placer sensorial, presenten un valor nutricional mejorado.

En el Perú, la betarraga (*Beta vulgaris*) y el arándano (*Vaccinium myrtillus*) son materias primas de alto valor funcional debido a su contenido de antioxidantes, como betalainas y antocianinas. No obstante, su aprovechamiento en la elaboración de helados artesanales sigue siendo limitado, particularmente en la región Cajamarca, donde existe una importante tradición láctea. Esta situación evidencia la necesidad de estudios que respalden científicamente la incorporación de estos ingredientes en nuevas formulaciones, garantizando su calidad sensorial y fisicoquímica.

Por ello, la presente investigación tiene como objetivo general evaluar el efecto de la concentración de betarraga y arándano en las características sensoriales y fisicoquímicas de un helado artesanal. Asimismo, como objetivos específicos, se busca evaluar la concentración adecuada de betarraga (10 %, 15 % y 20 %) y arándano (20 %, 30 % y 40 %) en la formulación de un helado artesanal; Determinar las características sensoriales (sabor, color, olor, apariencia general) de los helados elaborados con distintas proporciones de betarraga y arándano; Determinar si las características fisicoquímicas de la muestra de mayor aceptación sensorial cumplen con los parámetros de calidad establecidos en normas internacionales (AOAC) para helados.

La investigación se desarrolló mediante un diseño experimental factorial 3×3, en el cual se evaluaron diferentes niveles de betarraga (10%, 15% y 20%) y arándano (20%, 30% y 40%), aplicando análisis sensorial y determinaciones fisicoquímicas conforme a normas internacionales. Con ello, se pretende contribuir al desarrollo de productos artesanales innovadores, promover el aprovechamiento de recursos locales y fortalecer la competitividad del sector heladero en la región de Cajamarca.

1.1. Descripción del Problema

En la actualidad, la industria heladera, tanto a nivel internacional como nacional, muestra una tendencia creciente hacia la diversificación de productos mediante la incorporación de ingredientes naturales en formulaciones tradicionales. En este contexto, los helados artesanales representan un segmento con alto potencial de innovación, ya que permiten el uso de materias primas vegetales que pueden modificar sus características sensoriales y fisicoquímicas, tales como sabor, color, textura, pH, acidez y contenido de sólidos solubles (Barbosa et al., 2021; Velotto et al., 2021).

Diversos estudios señalan que la incorporación de frutas y hortalizas en matrices lácteas puede influir significativamente en la aceptabilidad sensorial del producto final, así como en su estabilidad fisicoquímica. Sin embargo, estas modificaciones dependen directamente de las concentraciones empleadas y de la interacción entre los ingredientes, lo que hace necesario evaluar experimentalmente cada formulación para garantizar la calidad del producto Organización Mundial de la Salud (OMS, 2022) y la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2021).

En el contexto peruano, la betarraga (*Beta vulgaris*) y el arándano (*Vaccinium myrtillus*) han sido utilizados de manera limitada en la elaboración de helados artesanales, existiendo escasa información científica sobre su efecto conjunto en las características sensoriales y fisicoquímicas del producto. La ausencia de estudios que evalúen

sistemáticamente diferentes concentraciones de estos ingredientes dificulta la determinación de formulaciones óptimas que mantengan el equilibrio entre los componentes de la matriz láctea y los ingredientes vegetales (Bedoya et al., 2022; Bravo & Herrera, 2023).

A nivel local, en la ciudad de Cajamarca, los productores de helados artesanales continúan empleando formulaciones tradicionales, sin contar con respaldo técnico-científico para la incorporación de ingredientes vegetales alternativos. Esta situación limita el desarrollo de productos diferenciados y la estandarización de formulaciones que aseguren una adecuada calidad sensorial y fisicoquímica (Gonzales & Hurtado, 2024).

Asimismo, no se ha establecido con claridad cómo las diferentes concentraciones de betarraga y arándano influyen en atributos sensoriales clave como sabor, color, olor y apariencia general, ni si la formulación con mayor aceptación sensorial cumple con los parámetros fisicoquímicos establecidos por normas internacionales, como las de la Association of Official Analytical Chemists (AOAC). Esta falta de información limita la validación tecnológica de nuevas formulaciones de helados artesanales.

Por lo tanto, se evidencia la necesidad de realizar una investigación experimental orientada a evaluar sensorial y fisicoquímicamente un helado artesanal elaborado con diferentes concentraciones de betarraga (*Beta vulgaris*) y arándano (*Vaccinium myrtillus*), que permita identificar una formulación óptima, con calidad comprobada y potencial de aplicación en la producción artesanal.

1.2. Formulación Del Problema

¿Cuáles son las características sensoriales y fisicoquímicas de un helado artesanal elaborado con diferentes proporciones de betarraga (*Beta vulgaris*) y arándano (*Vaccinium myrtillus*)?

1.3. Justificación

La investigación se justifica técnicamente por la necesidad de desarrollar metodologías que permitan la incorporación efectiva de compuestos bioactivos vegetales, como las betalainas de la betarraga y las antocianinas del arándano, en matrices lácteas congeladas sin alterar la estabilidad coloidal del helado. Esto contribuye a validar su aplicación en la industria heladera artesanal y ampliar el conocimiento sobre interacciones fisicoquímicas en sistemas congelados (Putradamni & Pramitasari, 2024).

Desde una perspectiva social, esta investigación responde a la creciente demanda de alimentos funcionales que combinen beneficio nutricional y aceptación sensorial. Asimismo, promueve la valorización de productos agrícolas locales mediante su incorporación en helados artesanales, generando oportunidades económicas para productores rurales y fortaleciendo cadenas de valor agregado (Bravo & Herrera, 2023).

En este contexto, el estudio radica en el aprovechamiento específico de la betarraga como hortaliza funcional, incorporándola en un producto de alto consumo como el helado artesanal, lo que permite diversificar su uso más allá de las aplicaciones tradicionales y generar valor agregado a nivel regional.

Nutricionalmente, el arándano destaca por su alto contenido de antocianinas, flavonoides, vitaminas y antioxidantes. Mientras que la betarraga aporta betalinas, minerales y vitaminas del complejo B, posicionándose ambos como ingredientes funcionales de alto valor.

Para evaluar la viabilidad del producto, se realizaron análisis fisicoquímicos como pH, acidez titulable, sólidos solubles (°Brix) y densidad, parámetros fundamentales para determinar estabilidad, textura y calidad. Complementariamente, se aplicó análisis sensorial mediante escala hedónica para medir la aceptación del consumidor.

La investigación demuestra que la incorporación de betarraga y arándano en los

helados artesanales no solo es tecnológicamente viable, sino que constituye una alternativa innovadora para el aprovechamiento de materias primas locales con potencial funcional. De esta manera, se desarrolla un producto natural, diferenciado y con valor agregado, que integra fundamentos científicos con la realidad productiva regional, contribuyendo al fortalecimiento de la industria alimentaria y a la promoción de alternativas saludables económicamente viables.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Evaluar el efecto de la concentración de betarraga y arándano en las características sensoriales y fisicoquímicas de un helado artesanal.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Evaluar la concentración adecuada de betarraga y arándano en la formulación de un helado artesanal fisicoquímica y sensorialmente.
- Determinar las características sensoriales (sabor, color, olor, apariencia general) de los helados elaborados con distintas proporciones de betarraga y arándano.
- Determinar si las características fisicoquímicas de la muestra de mayor aceptación sensorial cumplen con los parámetros de calidad, utilizando métodos oficiales de análisis establecidos (AOAC) para helados.

1.5. Hipótesis

La concentración de betarraga (*Beta vulgaris*) y arándano (*Vaccinium myrtillus*) influye significativamente en las características sensoriales y fisicoquímicas del helado artesanal.

II. REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1. Antecedentes

2.1.1. *Investigaciones Internacionales*

Hacibektaşoğlu & Gündoğdu (2024) en Turquía tuvo como objetivo desarrollar un helado funcional enriquecido con betarraga roja (*Beta vulgaris L.*) para mejorar su perfil nutricional y antioxidante, reduciendo simultáneamente el contenido de sacarosa. La metodología incluyó un diseño experimental con cuatro formulaciones, tres con 15% de betarraga y distintos niveles de sacarosa (5%, 10% y 15%), y un control sin betarraga. Se analizaron parámetros fisicoquímicos (pH, acidez, sólidos totales, cenizas, viscosidad, sobreatado, tiempo de fusión), color (CIELAB), contenido fenólico total (TPC), actividad antioxidante (DPPH) y azúcares mediante métodos gravimétricos, espectrofotométricos y HPLC. Sus resultados mostraron que el añadido de betarraga aumentó el pH (6.46–6.50 vs. 6.47 en control), redujo la acidez (0.13–0.14% ácido láctico vs. 0.21%), disminuyó el sobreatado (23.08–27.82% vs. 39.18%) y aumentó significativamente el TPC (483.50–558.55 mg GAE/kg vs. 329.69) y la actividad antioxidante (25.16–27.98% inhibición DPPH vs. 13.66%). La muestra con 5% de sacarosa y 15% de betarraga (RB5) presentó la mayor viscosidad (11,729.58 cP a 20 rpm) y el mayor contenido fenólico. Su conclusión destaca que la adición de 15% de betarraga mejora las propiedades antioxidantes (TPC hasta 558.55 mg GAE/kg) y estabilidad del helado, permitiendo reducir sacarosa hasta 5% sin comprometer su calidad.

Putradamni & Pramitasari (2024) en Indonesia tuvo como objetivo optimizar la formulación de un helado artesanal a base de betarraga (*Beta vulgaris*) mediante un diseño D-óptimo con 20 combinaciones de jugo de betarraga (50-90%), piña (0-40%), miel (0-2%) y limón (0-7.5%), evaluado por 40 panelistas no entrenados mediante escala hedónica de 9 puntos. Los resultados mostraron que la fórmula óptima (60.15% betarraga, 37.35%

piña, 2% miel) presentó las mejores características sensoriales (preferencia general 6.45/9), pH de 4.12, sólidos solubles de 9.97 °Brix, tiempo de fusión de 918 segundos, actividad antioxidante del 23.94% y contenido de vitamina C de 18.41 mg/100g. Sensorialmente, esta formulación enmascaró eficazmente el aroma terroso de la betarraga y no mostró diferencias significativas ($p>0.05$) con un sorbete comercial en textura, sabor y aceptación general. Su conclusión establece que la fórmula con 60.15% de betarraga, 37.35% de piña y 2% de miel produce un helado bajo en calorías (34.4 kcal/100g) y sodio (49.3 mg/100g), con alta aceptabilidad sensorial.

El estudio de Şentürk et al. (2024) en Turquía evaluó el efecto de la adición de arándano (BB) y azufaifo (JF) en helado probiótico, utilizando un diseño experimental con cinco formulaciones (control, 1%BB, 3%BB, 1%JF, 3%JF) y analizando parámetros fisicoquímicos, funcionales, sensoriales y la viabilidad de *Lactobacillus acidophilus* DSM 20079 durante 60 días a -18°C . Los resultados mostraron que la adición de frutas incrementó significativamente la actividad antioxidante (DPPH: 9.20% en 3%BB vs. 5.75% en control; FRAP: 154.40 mg Trolox/100g en 3%BB) y el contenido de fenoles totales (mayor en JF). El color se oscureció (L^* : 75.77 en 3%BB vs. 84.13 en control) y aumentó la dureza (4802 N en 3%BB vs. 2760 N en control). La viabilidad probiótica se mantuvo alta (8.42–8.80 log UFC/g) sin diferencias significativas entre muestras; sensorialmente, no hubo diferencias notables en sabor, aroma o textura respecto al control. Su conclusión indica que la adición de 3% de arándano o azufaifo mejora las propiedades funcionales sin afectar la aceptabilidad sensorial, manteniendo viabilidad probiótica >8 log UFC/g tras 60 días.

2.1.2. Investigaciones Nacionales

Gonzales & Hurtado (2024) con el objetivo de formular un helado nutritivo para combatir la anemia. Emplearon un diseño experimental de mezclas con ocho formulaciones variando la proporción de pulpa de arándano (60–90%) y cushuro (10–40%), evaluadas mediante un panel de 20 catadores no entrenados que utilizaron una escala hedónica de 0 a 10 para atributos sensoriales (color, olor, sabor, textura), y se analizaron datos con ANOVA y prueba de Tukey ($\alpha=0,05$). Sus resultados mostraron que la formulación óptima (T1: 60% arándano, 40% cushuro) obtuvo las mejores puntuaciones sensoriales: color 7,95, olor 7,26, sabor 8,19 y textura 7,99, junto con características fisicoquímicas destacadas: pH 4,53, °Brix 34,7, acidez titulable 0,34%, densidad 0,87 g/mL, viscosidad 0,69 cP, y un contenido nutricional relevante en hierro 2,43 mg/100g, proteínas 2,18%, vitamina C 2,59 mg/100g y polifenoles 10,70 mg EAG/100g. Concluyen que el helado con 60% arándano y 40% cushuro es óptimo sensorial y nutricionalmente, con 2,43 mg/100g de hierro, apto para combatir la anemia.

Ascencio & Cornetero (2024) en Lambayeque, tuvo como finalidad desarrollar un helado artesanal de crema con funcionalidad antioxidante utilizando extracto de betarraga (*Beta vulgaris*). Emplearon un diseño experimental con enfoque cuantitativo, utilizando una muestra de 40 panelistas y cuatro tratamientos con concentraciones de extracto de betarraga (T1: 0%, T2: 2%, T3: 4%, T4: 6%). Los instrumentos incluyeron cuestionarios de escala hedónica, espectrofotómetro para análisis de polifenoles (método Folin-Ciocalteu) y capacidad antioxidante (DPPH), además de mediciones de pH, °Brix y análisis microbiológicos. Los resultados mostraron que el tratamiento T3 (4% de extracto) obtuvo la mayor aceptación sensorial: color (3.85/5), sabor (3.45/5), textura (4.05/5) y olor (3.85/5). Presentaron 144.415 mg/g de polifenoles (equivalente ácido gálico), capacidad antioxidante de 3.33% de inhibición, pH 6.5, °Brix 34, acidez 0.17% y coliformes < 10

NMP/mL. La vida útil fue de 21 días. Concluyen que el helado con 4% de extracto de betarraga posee alta aceptación sensorial, capacidad antioxidante (3.33% inhibición) y estabilidad microbiológica, siendo apto para consumo.

Bravo & Herrera (2023) con el propósito de formular un helado dietético mediante la sustitución parcial de leche por extracto hidrosoluble de soya y aceite de soya, evaluando sus propiedades tecnológicas, fisicoquímicas, nutricionales y sensoriales. Emplearon un Diseño Compuesto Central Rotacional (DCCR 2²) con 11 tratamientos, variando el porcentaje de sustitución de extracto (0–100%) y de aceite de soya (7–11%), utilizando 40 panelistas no entrenados para la evaluación sensorial mediante una escala hedónica de 7 puntos y técnicas analíticas estandarizadas (AOAC) para parámetros fisicoquímicos. Los resultados mostraron que la formulación óptima (T9: 50% de sustitución y 9% de aceite) obtuvo las mejores puntuaciones sensoriales en olor (6.025), sabor (6.475), color (6.375) y textura (6.325), junto con valores fisicoquímicos de pH (4.63), acidez (0.41%), sólidos solubles (16 °Brix), densidad (0.847 g/ml), viscosidad (454 cP), overrun (75%), 1.4% de grasa, 15.719 mg GAE/100g de polifenoles y 0.986 g/100ml de vitamina C. Concluyen que la formulación con 50% de extracto y 9% de aceite de soya produce un helado dietético con aceptabilidad sensorial superior (puntuación >6) y adecuadas propiedades fisicoquímicas y nutricionales.

Mauricio (2022) tuvo como finalidad evaluar el impacto de la adición de estas pulpas en la capacidad antioxidante y las propiedades sensoriales de helados artesanales. Empleó un diseño factorial 2² con dos niveles de concentración de mango (15% y 20%) y camu camu (5% y 10%), elaborándose cuatro formulaciones más un control comercial. La muestra incluyó 40 panelistas semientrenados que evaluaron sensorialmente los atributos de sabor, textura, color y preferencia general mediante una prueba de ordenamiento, mientras que la capacidad antioxidante se determinó mediante el método DPPH. Los

resultados mostraron que la formulación con 15% de mango y 10% de camu camu presentó la mayor capacidad antioxidante (90,01% de inhibición de DPPH), seguida por la de 20% de mango y 10% de camu camu (87,36%). Sensorialmente, la formulación con 20% de mango y 5% de camu camu fue la más preferida, mientras que el control comercial obtuvo los valores más bajos en capacidad antioxidante (39,87%) y fue percibido como menos cremoso y más dulce (25 °Brix). Los análisis fisicoquímicos revelaron que los helados con mayor porcentaje de camu camu presentaron pH más bajos (4,24 a 4,53) y contenido de sólidos solubles entre 16 y 18 °Brix. Concluye que la adición de 10% de camu camu incrementa la capacidad antioxidante del helado, alcanzando hasta 90,01% de inhibición, aunque se recomienda no superar dicho umbral para mantener la aceptación sensorial.

García & Alejandro (2021) en Huacho, tuvo como finalidad determinar la aceptabilidad y actividad antioxidante de una jalea elaborada con betarraga, arándanos y cúrcuma fortificada con omega-3. Emplearon un diseño cuasi-experimental, evaluando cuatro formulaciones con distintas proporciones de pulpas (Betacur: 66% betarraga; Berricur: 66% arándanos; Betberry-1: 40% betarraga/26% arándanos; Betberry-2: 35% betarraga/31% arándanos) en una muestra de 24 panelistas no entrenados, utilizando fichas de evaluación sensorial con escala hedónica de 5 puntos y análisis fisicoquímicos (AOAC) y antioxidantes (ABTS, Folin-Ciocalteu). Sus resultados mostraron que la formulación Betberry-1 (40% betarraga/26% arándanos) obtuvo la mayor aceptación sensorial (91.7% "le gusta mucho" en sabor), con características fisicoquímicas destacadas: pH 3.40, 57.17% carbohidratos, 1.16% proteínas, 0.83% grasas, 0.20% fibra, 1.46 mg/100g hierro, y una elevada capacidad antioxidante (5964.172 $\mu\text{mol ET}/100\text{ml ABTS}^+$ y 328.153 mg EAG/100g polifenoles). Concluyen que la jalea Betberry-1 es óptima sensorial y nutricionalmente, con alta actividad antioxidante (5964.172 $\mu\text{mol ET}/100\text{ml}$), apta para fortalecer el sistema inmunológico.

2.2. Marco teórico

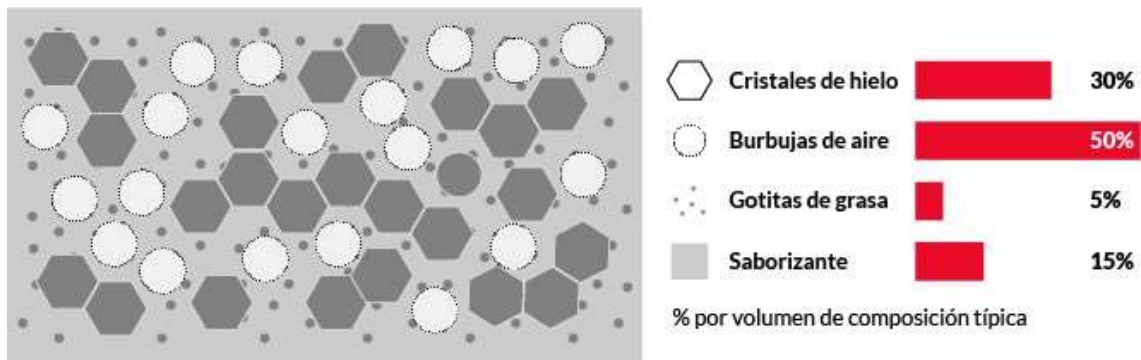
2.2.1. *Helados Artesanales*

El helado es un producto alimenticio obtenido a partir de una mezcla de ingredientes que generalmente incluye leche y/o derivados lácteos, azúcares, estabilizantes y saborizantes, sometida a un proceso de congelación con incorporación de aire. Dentro de esta categoría, el helado artesanal se caracteriza por su elaboración a pequeña escala, el uso de materias primas frescas y naturales, y la ausencia o mínima utilización de aditivos artificiales, lo que permite una mayor flexibilidad en la formulación y diferenciación del producto final (Barbosa et al., 2021).

A diferencia del helado industrial, el helado artesanal se distingue por priorizar atributos sensoriales como sabor, color, aroma y textura, los cuales dependen directamente de la calidad de los ingredientes utilizados y de las proporciones empleadas en la formulación. Estas características hacen que el helado artesanal sea un producto altamente susceptible a variaciones en su composición, especialmente cuando se incorporan ingredientes no convencionales como frutas y hortalizas (Ascencio & Cornetero, 2024).

Desde el punto de vista tecnológico, la incorporación de ingredientes vegetales en helados artesanales puede influir en parámetros fisicoquímicos importantes, tales como el pH, la acidez titulable y el contenido de sólidos solubles. Estos parámetros afectan directamente la estabilidad del producto, su vida útil y la percepción sensorial por parte del consumidor, por lo que deben ser cuidadosamente evaluados durante el desarrollo de nuevas formulaciones (Fortune Business Insights, 2024).

Figura 1 Estructura del helado



Nota: Tomado de Hacibektaşoğlu & Gündoğdu (2024) en “Physicochemical, Nutritional, and Antioxidant Properties of Ice Cream Enriched with Red Beetroot (*Beta vulgaris* L.) at Varying Sucrose Levels”

El proceso de fabricación es igualmente crítico, donde la pasteurización (generalmente a 80-85°C por 25-30 segundos) asegura la inocuidad microbiológica y desnaturaliza las proteínas del suero, mejorando su capacidad emulsionante (Mauricio, 2022). La homogeneización, realizada a alta presión, rompe los glóbulos de grasa en partículas más pequeñas, aumentando enormemente el área superficial y promoviendo una emulsión más estable y una textura más cremosa (Zaldivar & Montero, 2023).

La etapa de maduración o envejecimiento, donde la mezcla se mantiene a 4°C durante varias horas, permite la cristalización de la grasa, la hidratación completa de los estabilizantes y la fijación de las proteínas en la interface grasa-agua, lo que prepara la mezcla para una óptima incorporación de aire (Velotto et al., 2021). La congelación dinámica en una mantecadora es el corazón del proceso: la mezcla se agita vigorosamente mientras se congela rápidamente (-5 a -6°C). Este batido incorpora aire (sobrepeso del 20% al 100%) y, al mismo tiempo, rompe los cristales de hielo a medida que se forman, resultando en una textura fina y cremosa (Barbosa et al., 2021). Finalmente, el endurecimiento (congelación estática a -25°C o inferior) solidifica la estructura sin agitación, fijando la microestructura del producto (Atallah et al., 2022).

Tabla 1 Composición de componentes principales de una mezcla base para helado artesanal

Componente	Rango típico (%)	Función principal	Impacto en las propiedades del helado
Grasa láctea	8 - 16	Emulsión, lubricación, portador de sabor.	Cremosidad, cuerpo, richness, lentitud al derretir.
Sólidos Lácteos No Grasos (SLNG)	9 - 12	Emulsión (proteínas), textura, contenido sólido.	Body, absorción de agua, contribuye a la fijación del aire.
Edulcorantes	13 - 18	Dulzor, depresión punto de congelación.	Textura blanda, punto de congelación, sabor dulce.
Estabilizantes/Emulsionantes	0.1 - 0.5	Estabilidad, viscosidad, control de cristales de hielo.	Textura suave, resistencia al derretimiento, reduce sinéresis.
Aire	20 - 100	Aumento de volumen, textura.	Ligereza, suavidad, palatabilidad.
Sólidos totales	36 - 42	Suma de todos los sólidos.	Body, textura, resistencia al chipping.

Nota: Adaptado de "Ice Cream" (7th ed.), por Atallah et al. (2022).

2.2.2. Características sensoriales de helados

Las características sensoriales de los helados constituyen un factor determinante en la aceptación del producto por parte del consumidor, ya que influyen directamente en la percepción de calidad y preferencia. La evaluación sensorial es una herramienta científica que permite medir, analizar e interpretar las reacciones de los consumidores frente a los atributos percibidos a través de los sentidos, tales como vista, olfato, gusto y tacto (Stone & Sidel, 2012).

En el caso específico de los helados, los principales atributos sensoriales evaluados incluyen sabor, color, olor, textura y apariencia general. El sabor es considerado el atributo más relevante, debido a que integra sensaciones gustativas y aromáticas que determinan la aceptabilidad global del producto. El color, por su parte, influye en la percepción inicial y en la expectativa del consumidor, siendo especialmente sensible cuando se incorporan ingredientes naturales que modifican la tonalidad del helado (Lawless & Heymann, 2010).

La textura también desempeña un papel fundamental, ya que está relacionada con la cremosidad, suavidad y percepción del contenido de aire (overrun) en el helado. Cambios en la formulación, especialmente la adición de ingredientes vegetales, pueden alterar la estructura física del producto y modificar su percepción sensorial (Velotto et al., 2021). Asimismo, el olor contribuye a la identificación del sabor y a la experiencia sensorial global.

En estudios experimentales, la evaluación sensorial suele realizarse mediante pruebas hedónicas utilizando escalas estructuradas, como la escala de nueve puntos, que permiten cuantificar el grado de aceptación del producto. Este tipo de análisis resulta esencial cuando se desarrollan nuevas formulaciones, ya que posibilita determinar si las modificaciones en la concentración de ingredientes afectan positiva o negativamente la aceptabilidad del helado.

En consecuencia, el análisis de las características sensoriales constituye una etapa clave en la formulación de helados artesanales con ingredientes alternativos, ya que permite identificar la proporción óptima que garantice un equilibrio entre innovación y aceptación del consumidor.

2.2.3. Características fisicoquímicas de helados

Las características fisicoquímicas de los helados constituyen indicadores fundamentales de su calidad, estabilidad y aceptabilidad, ya que permiten evaluar el comportamiento del producto durante su elaboración y almacenamiento. Estos parámetros están estrechamente relacionados con la formulación del helado y con la interacción entre sus componentes, especialmente cuando se incorporan ingredientes de origen vegetal en una matriz láctea (Marshall et al., 2013).

Entre los principales parámetros fisicoquímicos evaluados en helados se encuentran el pH, la acidez titulable y el contenido de sólidos solubles. El pH es un indicador del nivel de acidez del producto y tiene influencia directa sobre la estabilidad microbiológica, el sabor y la

textura del helado. Variaciones en este parámetro pueden modificar la percepción sensorial y afectar la calidad del producto final (Soukoulis & Tzia, 2015).

La acidez titulable representa la cantidad total de ácidos presentes en el helado y está relacionada con el equilibrio del sabor y la aceptación sensorial. Un adecuado nivel de acidez contribuye a realzar el sabor y a mejorar la estabilidad del producto; sin embargo, valores elevados pueden generar sensaciones indeseables para el consumidor (Goff & Hartel, 2013).

Por otro lado, los sólidos solubles, expresados generalmente en grados Brix (°Brix), indican la concentración de azúcares y otros sólidos disueltos en el helado. Este parámetro influye directamente en el dulzor percibido, la textura y el punto de congelación del producto. La incorporación de ingredientes vegetales puede incrementar el contenido de sólidos solubles, modificando el cuerpo y la consistencia del helado (Marshall et al., 2013).

La evaluación de estos parámetros fisicoquímicos permite verificar si el helado cumple con los estándares de calidad establecidos por métodos oficiales internacionales de análisis, como las de la Association of Official Analytical Chemists (AOAC), garantizando así la viabilidad tecnológica de nuevas formulaciones artesanales.

2.2.4. Diferencias entre helado artesanal y helado comercial

El helado artesanal se caracteriza por su elaboración a pequeña escala, el uso de materias primas frescas y naturales, y una menor estandarización del proceso productivo, lo que permite mayor flexibilidad en la formulación y la incorporación de ingredientes no convencionales. Este tipo de helado presenta generalmente un bajo nivel de aire incorporado (overrun), lo que da como resultado una textura más densa y cremosa, así como un sabor y aroma más intensos; sin embargo, su vida útil suele ser limitada debido al uso reducido de aditivos y conservantes. En contraste, el helado comercial se produce a gran escala mediante procesos industriales altamente estandarizados, empleando estabilizantes, emulsificantes, colorantes y saborizantes artificiales con el fin de asegurar uniformidad, estabilidad y mayor tiempo de conservación.

Además, el helado comercial suele presentar un mayor overrun, lo que genera una textura más ligera y permite optimizar costos de producción, aunque con menor intensidad sensorial en comparación con el helado artesanal (Goff & Hartel, 2013; Marshall et al., 2013).

Tabla 2 Resumen comparativo de helado artesanal y helado comercial

Característica	Helado artesanal	Helado comercial
Escala de producción	Pequeña	Industrial
Materias primas	Naturales y frescas	Aditivos y concentrados
Overrun	Bajo	Alto
Sabor y aroma	Más intensos	Estandarizados
Vida útil	Corta	Prolongada
Flexibilidad en formulación	Alta	Limitada

Nota: (Goff & Hartel, 2013; Marshall et al., 2013).

2.2.5. Betarraga (*Beta vulgaris*)

La betarraga (*Beta vulgaris*) es una hortaliza perteneciente a la familia Amaranthaceae, ampliamente cultivada en diversas regiones del mundo y utilizada tanto en la alimentación humana como en la industria agroalimentaria. Se caracteriza por su raíz carnosa de color rojo intenso, atribuida principalmente a la presencia de pigmentos naturales denominados betalainas, compuestos responsables de su coloración característica y de su potencial aplicación como colorante natural en productos alimenticios (INIA, 2023).

Desde el punto de vista tecnológico, la betarraga presenta un contenido considerable de azúcares naturales, lo que puede influir en el contenido de sólidos solubles cuando es incorporada en formulaciones alimentarias. Asimismo, su composición puede modificar parámetros como el pH y la acidez del producto final, dependiendo de la concentración utilizada y del tipo de matriz en la que se incorpore (García & Alejandro, 2021).

Las betalaínas son pigmentos nitrogenados hidrosolubles, únicos en el reino vegetal, que se dividen en dos clases principales, las betacianinas (de color rojo-violeta) y betaxantinas (de color amarillo-naranja) (Ascencio & Cornetero, 2024). La betanina es la

betacianina predominante en la betarraga, responsable de su intenso color rojo púrpura característica y representando aproximadamente el 75-95% del total de betalainas (Hacıbektaşoğlu & Gündoğdu, 2024).

Tabla 3 Principales compuestos bioactivos de la betarraga (*Beta vulgaris*)

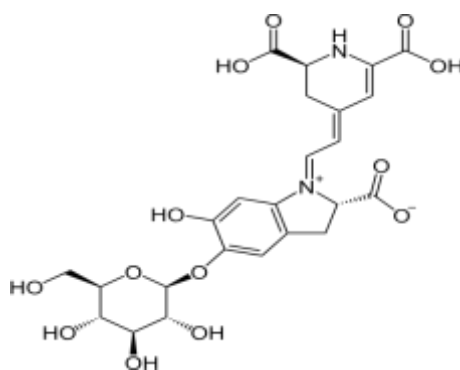
Compuesto Bioactivo	Clase/Tipo	Concentración típica (mg/100g peso fresco)	Beneficios para la salud reportados
Betanina	Betacianina (pigmento)	50 - 130	Antioxidante, antiinflamatorio, quimiopreventivo.
Vulgaxantina	Betaxantina (pigmento)	10 - 50	Antioxidante, modulador de posible enzimas metabólicas.
Nitrato inorgánico (NO ₃ ⁻)	Ion inorgánico	110 - 250	Precursor de óxido nítrico, vasodilatador, mejora rendimiento deportivo.
Ácido fólico	Vitamina B9	80 - 110 µg	Síntesis de ADN, división celular, prevención de defectos del tubo neural.
Fibra dietética	Polisacáridos no digeribles	2 - 3 g	Salud digestiva, modulación de la glucosa en sangre, saciedad.

Nota. Los valores de concentración pueden variar significativamente según la variedad, condiciones de cultivo y frescura. Adaptado de Hacıbektaşoğlu & Gündoğdu (2024) en “Physicochemical, Nutritional, and Antioxidant Properties of Ice Cream Enriched with Red Beetroot (*Beta vulgaris* L.) at Varying Sucrose Levels”

Por otro lado, los nitratos inorgánicos (NO₃⁻) presentes en la betarraga son precursores del óxido nítrico (NO) endógeno, tras su ingestión, el nitrato es reducido a nitrito (NO₂⁻) por la flora bacteriana oral y posteriormente, en condiciones de bajo pH o hipoxia, se convierte en óxido nítrico, una molécula señalizadora crucial con potentes efectos vasodilatadores (Varshney & Mishra, 2022). Esta vía ha sido asociada a la mejora del rendimiento deportivo al reducir el coste de oxígeno durante el ejercicio, a la reducción de la presión arterial y a la mejora de la función cognitiva al aumentar la perfusión sanguínea cerebral; y la inclusión de betarraga en un helado podría ofrecer una forma novedosa y placentera de contribuir a la ingesta dietética de estos compuestos bioactivos (Kaushik, 2023).

Desde una perspectiva tecnológica y sensorial, la betarraga aporta no solo color sino también un sabor terroso y dulzón distintivo, atribuido principalmente a la geosmina, un compuesto orgánico producido por bacterias del suelo que es absorbido por la raíz (García & Alejandro, 2021). Este sabor puede ser un descriptor positivo o negativo dependiendo del consumidor y del contexto del producto (Putradamni & Pramitasari, 2024).

Figura 2 Estructura química de la Betanina ($C_{24}H_{26}N_2O_{13}$)



Nota: Pigmento betaláinico principal responsable del color rojo-púrpura de la betarraga. Su estructura conjugada le confiere su alta capacidad antioxidante. Tomada de la base de datos PubChem, National Library of Medicine.

2.2.4. Arándano (*Vaccinium myrtillus*)

El arándano (*Vaccinium myrtillus*) es un fruto perteneciente a la familia Ericaceae, ampliamente valorado en la industria alimentaria por sus características sensoriales y su comportamiento tecnológico en diversas matrices alimentarias. Se caracteriza por su color azul intenso, sabor ligeramente ácido y aroma característico, atributos que lo convierten en un ingrediente atractivo para la elaboración de productos como yogures, postres y helados (Hacıbektaşoğlu & Gündoğdu, 2024).

Tabla 4 Compuestos bioactivos y nutricional *Vaccinium spp.* por 100g de fruta fresca

Componente	Valor Promedio	Notas / Variaciones
Antocianinas totales	100 - 400 mg	<i>V. myrtillus</i> (europeo) suele tener concentraciones más altas que <i>V. corymbosum</i> (cultivado).
Capacidad Antioxidante (ORAC)	4000 - 9000 $\mu\text{mol TE}$	Una de las frutas con valores más altos.
Vitamina C	10 - 15 mg	Contribuye a la actividad antioxidante total.
Fibra dietética	2.5 - 3.5 g	Mayoritariamente fibra insoluble.
Azúcares totales	8 - 12 g	Fructosa, glucosa y sacarosa.
Ácidos orgánicos	0.8 - 1.5 g	Principalmente ácido cítrico y málico.
Ph	3.1 - 3.5	Contribuye significativamente a la acidez del producto final.

Nota. Los valores son aproximados y pueden variar enormemente según la especie, variedad, madurez y condiciones de cultivo. Adaptado de "Berry Fruits: Compositional Elements, Biochemical Activities, and the Impact of Their Intake on Human Health, Performance, and Disease" por D. S. Kelley et al., 2018, en *Journal of Agricultural and Food Chemistry*.

Desde el punto de vista fisicoquímico, el arándano presenta un contenido considerable de ácidos orgánicos y azúcares naturales, lo que puede influir en parámetros como el pH, la acidez titulable y los sólidos solubles cuando es incorporado en formulaciones alimentarias. Estas características pueden modificar el equilibrio del sabor del producto final, especialmente en matrices lácteas, donde la interacción entre los componentes del fruto y la leche es determinante para la estabilidad y aceptabilidad del alimento (Bravo & Herrera, 2023).

Las antocianinas del arándano son consideradas entre las más potentes del reino vegetal en términos de capacidad antioxidante, medida comúnmente por los ensayos ORAC (Capacidad de Absorción de Radicales de Oxígeno) (Cvetković et al., 2022). Estas moléculas actúan neutralizando radicales libres, reduciendo el estrés oxidativo celular, un factor clave en el envejecimiento y el desarrollo de numerosas enfermedades crónicas, al respecto, la investigación científica ha asociado el consumo regular de arándanos con una

amplia gama de beneficios para la salud, que incluyen la mejora de la función cognitiva y la memoria, la protección de la salud cardiovascular mediante la reducción de la presión arterial y la oxidación del LDL-colesterol, la mejora de la sensibilidad a la insulina y la salud glucémica, y propiedades antiinflamatorias (Bell & Williams, 2021; Onuh et al., 2023). Un beneficio atribuido al arándano europeo (*V. myrtillus*), es su papel en la salud ocular, ya que las antocianinas se acumulan en la retina, protegiéndola del daño oxidativo y mejorando la agudeza visual y la adaptación a la oscuridad (Şentürk et al., 2024).

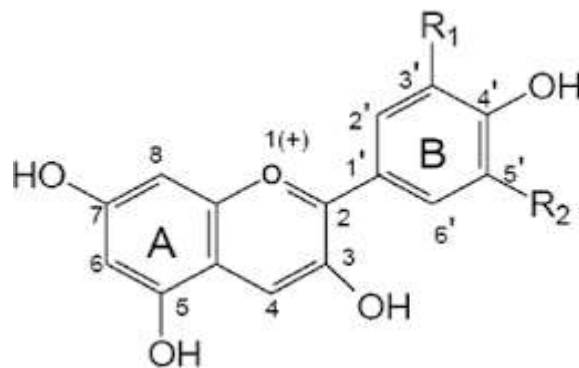
En helados artesanales, la incorporación de arándano contribuye significativamente al color del producto, aportando tonalidades violáceas naturales que influyen positivamente en la percepción visual del consumidor. Asimismo, su sabor ácido-dulce puede complementar otros ingredientes, mejorando la complejidad sensorial del helado; no obstante, concentraciones elevadas pueden generar desequilibrios sensoriales si no se controlan adecuadamente las proporciones empleadas (Şentürk et al., 2024).

Desde la perspectiva tecnológica, la incorporación de arándano en forma de pulpa o puré impacta significativamente en la formulación del helado, donde su alto contenido de agua y fibra afecta a los sólidos totales y al balance de agua libre, lo que debe ser compensado con los otros ingredientes para evitar la formación de cristales de hielo excesivamente grandes (Şentürk et al., 2024). Su acidez natural (pH bajo) contribuye a la acidez titulable total de la mezcla, un parámetro fisicoquímico clave a medir, y puede interactuar con las proteínas lácteas, afectando ligeramente la estabilidad de la emulsión (Gonzales & Hurtado, 2024).

Los pigmentos antociánicos, son más sensibles a la degradación que las betalaínas, siendo susceptibles al pH (cambiando de color hacia el rojo en pH ácido y al azul en pH alcalino), al calor, al oxígeno y a la luz (Gonzales & Hurtado, 2024). El proceso de

congelación es, nuevamente, un método de conservación favorable para estos compuestos, y la elección del porcentaje de arándano determinará la intensidad del color púrpura-azulado final (que se mezclará con el rojo de la betarraga), la fuerza del sabor frutal y ácido, y la concentración final de compuestos bioactivos en el helado terminado (Bravo & Herrera, 2023).

Figura 3 Estructura química general de una antocianina (Cianidina-3-glucósido)



Nota: El anillo flavilio central es responsable de la absorción de luz y, por tanto, del color. Los sustituyentes (R1, R2) y los azúcares attached determinan el tipo específico de antocianina y sus propiedades. Tomada de "Anthocyanins and Human Health: An In Vitro Investigative Approach" por M. L. Reyes et al., 2005, en *Journal of Biomedicine and Biotechnology*.

2.2.5. Análisis Físicoquímico

El control de calidad y la caracterización de un helado artesanal funcional requieren de un análisis físicoquímico riguroso que permita objetivar sus propiedades y asegurar la consistencia del producto (Alfonsín, 2024). Las variables dependientes definidas para este estudio (pH, acidez titulable, °Brix y densidad) son parámetros que determinan directamente la estabilidad microbiológica, la percepción sensorial, la textura y el comportamiento durante la congelación y el derretimiento, donde la metodología para cada una de estas variables debe seguir protocolos estandarizados y reconocidos por organismos internacionales como la AOAC (International RTRC 413:2008 Helados y Mezclas para Helados) o el IDF (International Dairy Federation) (Ascencio & Cornetero, 2024; Castillo, 2022).

El pH es una medida de la acidez activa o iónica de una muestra, indicando la

concentración de iones de hidrógeno $[H^+]$ (Woldemariam et al., 2022). En el contexto del helado, el pH es crítico por varias razones; primero, influye en la estabilidad de las proteínas lácteas de la emulsión; un pH muy bajo (ácido) puede acercarse al punto isoeléctrico de las caseínas (pH ~4.6), provocando su precipitación y destabilizando la mezcla (Bravo & Herrera, 2023). Segundo, afecta la estabilidad de los pigmentos funcionales, tanto las betalaínas de la betarraga como las antocianinas del arándano son estables en medio ácido, por lo que un pH dentro de su rango óptimo (3.5-5.5) es crucial para preservar el color del producto y tercero, el pH influye en la percepción del sabor, potenciando la acidez percibida (Barbosa et al., 2021). La medición se realiza mediante un potenciómetro o pH-metro previamente calibrado con soluciones buffer de pH 4.0 y 7.0 (Mauricio, 2022).

La acidez titulable (% Acidez), a diferencia del pH, mide la acidez total o potencial de la muestra, es decir, la cantidad total de ácidos presentes, principalmente ácido láctico proveniente de los sólidos lácteos y los ácidos cítrico/málico de las frutas (Zaldivar & Montero, 2023). Este parámetro está directamente correlacionado con la intensidad del sabor ácido y con la capacidad de la mezcla para resistir cambios de pH (poder buffer); la metodología implica titular una alícuota de la muestra de helado fundido con una solución estandarizada de hidróxido de sodio (NaOH) 0.1N, utilizando fenolftaleína como indicador visual hasta la aparición de un color rosa pálido persistente durante al menos 30 segundos (Velotto et al., 2021). El cálculo se realiza con la fórmula:

$$\% \text{ Acidez (como ácido láctico)} = \frac{(\text{mL de NaOH} * \text{Normalidad de NaOH} * 0.009 * 100)}{\text{Peso de la muestra (g)}}$$

Donde: El factor 0.009 representa el peso equivalente del ácido láctico.

Los Grados °Brix miden el contenido total de sólidos solubles en una solución, expresado como porcentaje de sacarosa en peso por 100 g de solución (Atallah et al.,

2022). En un helado, los °Brix representan principalmente la concentración de azúcares (sacarosa añadida, lactosa, azúcares de la fruta), pero también incluyen sales, ácidos y otros sólidos solubles menores, este es el parámetro más importante para predecir el punto de congelación del helado y, por ende, su textura final (Hacıbektaşoğlu & Gündoğdu, 2024). Una mayor concentración de sólidos solubles resulta en una mayor depresión del punto de congelación, produciendo un helado más blando y con menor cantidad de hielo a una temperatura dada, lo que se traduce en una textura más cremosa y suave; y la medición se realiza con un refractómetro digital o analógico, calibrado con agua destilada (0 °Brix). (Atallah et al., 2022).

La densidad (masa por unidad de volumen, g/mL) de la mezcla antes de la mantecación es un parámetro de control de calidad menos común pero valioso, proporciona información indirecta sobre la composición y los sólidos totales (Mauricio, 2022). Una mezcla con mayor contenido de sólidos (grasa, azúcar, SLNG) tendrá una densidad más alta que una mezcla con mayor contenido de agua; su medición se realiza mediante un lactodensímetro de volumen conocido: y se pesa el lactodensímetro vacío, luego lleno con la mezcla fundida de helado a una temperatura específica (20°C), se enjuaga y se pesa lleno de agua destilada a la misma temperatura (Castillo, 2022). La densidad se calcula como:

$$\text{Densidad (g/mL)} = (\text{Peso de la muestra} / \text{Peso del agua})$$

La combinación de los valores de °Brix y densidad puede usarse para calcular el sobrepeso (aire incorporado) en el helado terminado, aunque este cálculo es más complejo y requiere conocer la densidad de la mezcla antes de ser aireada (Ascencio & Cornetero, 2024).

Tabla 5 *Análisis fisicoquímico del helado de betarraga y arándano*

Variable	Método de Análisis	Instrumento	Procedimiento Clave	Unidades/Expresión
pH	Potenciométrico	pH-metro digital	Calibración con buffers pH 4.0 y 7.0. Inmersión del electrodo en muestra fundida homogeneizada.	Unidades de pH (adimensional)
Acidez Titulable	Titulación ácido-base	Bureta, matraz Erlenmeyer	Titulación de muestra fundida con NaOH 0.1N usando fenolftaleína como indicador.	% de Acidez (como ácido láctico)
Grados °Brix	Refractometría	Refractómetro (digital o Abbe)	Colocar una gota de muestra fundida en el prisma. Realizar lectura a 20°C.	°Brix (% sacarosa p/p)
Densidad	Lactodensímetro	Lactodensímetro (aerómetro)	Verter la muestra fundida en una probeta. Introducir el lactodensímetro hasta que flote libremente. Realizar lectura a 20°C.	g/mL

Nota. Basado en métodos estándar de la AOAC International y el International Dairy Federation (IDF).

2.2.6. Evaluación Sensorial

La evaluación sensorial es una disciplina científica utilizada para evocar, medir, analizar e interpretar las reacciones características de los alimentos tal como son percibidas por los sentidos de la vista, el olfato, el gusto, el tacto y el oído (Civille et al., 2024). Para un producto innovador como un helado de betarraga y arándano, cuyo éxito comercial dependerá en gran medida de su aceptabilidad por parte del consumidor, este análisis es tan crucial como el fisicoquímico (Torrice et al., 2023).

Permite traducir las propiedades físicas y químicas medidas instrumentalmente en percepciones humanas, validando si el equilibrio entre los ingredientes funcionales y la base de helado resulta en una experiencia gastronómica placentera (Putradamni & Pramitasari, 2024; Ruiz & Herrero, 2021).

2.3. Definición de términos básicos

Aceptación sensorial: Grado de agrado o preferencia que un consumidor manifiesta frente a un alimento evaluado mediante pruebas sensoriales (Şentürk et al., 2024).

Acidez titulable: Cantidad total de ácidos presentes en un alimento, determinada mediante titulación, expresada generalmente en porcentaje, y relacionada con el equilibrio del sabor (Zaldivar & Montero, 2023).

Análisis fisicoquímico: Procedimiento analítico destinado a determinar las propiedades físicas y químicas de un alimento, tales como pH, acidez titulable y sólidos solubles, que permiten evaluar su calidad y estabilidad (AOAC, 2019; Goff & Hartel, 2013).

Arándano (*Vaccinium myrtillus*): Fruto caracterizado por su color oscuro y sabor ácido-dulce, empleado en productos alimenticios por su influencia sensorial y tecnológica (Cvetković et al., 2022).

Betarraga (*Beta vulgaris*): Hortaliza de raíz carnosa rica en pigmentos naturales, utilizada como ingrediente en la formulación de alimentos por su capacidad de modificar el color y parámetros fisicoquímicos (García & Alejandro, 2021).

Características sensoriales: Conjunto de atributos perceptibles de un alimento que determinan su aceptación, entre los cuales se incluyen el sabor, color, olor, textura y apariencia general (Stone & Sidel, 2004; Lawless & Heymann, 2010).

Estabilidad fisicoquímica: Capacidad de un alimento para mantener sus propiedades físicas y químicas durante el almacenamiento.

Evaluación sensorial: Conjunto de métodos científicos utilizados para medir, analizar e interpretar las reacciones de los consumidores frente a las características de un alimento percibidas a través de los sentidos, tales como sabor, color, olor, textura y apariencia general (Woldemariam et al., 2022).

Formulación: Proceso mediante el cual se establecen las proporciones de los ingredientes que componen un producto alimenticio para obtener características sensoriales y fisicoquímicas deseadas (Varshney & Mishra, 2022).

Helado artesanal: Producto alimenticio elaborado a pequeña escala a partir de una mezcla de leche y/o derivados lácteos, azúcares y otros ingredientes naturales, sometida a un proceso de congelación con incorporación controlada de aire, caracterizado por el uso mínimo de aditivos artificiales y una formulación flexible (Alfonsín, 2024).

Helado comercial: Producto helado elaborado a escala industrial mediante procesos estandarizados, que incorpora aditivos como estabilizantes, emulsificantes, colorantes y saborizantes para asegurar uniformidad y mayor vida útil (Gonzales & Hurtado, 2024).

Maduración: Es la etapa en la que la mezcla del helado se mantiene en refrigeración durante varias horas antes del congelado. En este tiempo, los ingredientes como proteínas, grasas y estabilizantes se hidratan y se distribuyen mejor, lo que aumenta la viscosidad de la mezcla y permite obtener un helado con mejor textura, mayor cremosidad y mayor estabilidad.

Normas AOAC: Conjunto de métodos analíticos oficiales establecidos por la Association of Official Analytical Chemists para la evaluación de alimentos.

Overrun: Cantidad de aire incorporado durante la elaboración del helado, expresada como porcentaje, que influye en la textura y densidad del producto.

pH: Medida que indica el grado de acidez o alcalinidad de un alimento, influyendo en su estabilidad, sabor y seguridad (Civille et al., 2024).

Sólidos solubles (°Brix): Medida que expresa la concentración de sólidos disueltos en un alimento, principalmente azúcares, influyendo en el dulzor y la textura del producto (Onuh et al., 2023).

Textura. Propiedad reológica y estructural de un alimento, percibida por los sentidos del tacto (boca) y la vista; en helado, se evalúa mediante atributos como cremosidad, suavidad y ausencia de cristales de hielo (Mauricio, 2022).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación

Esta investigación se desarrolló en el laboratorio de Análisis de Alimentos de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias, de la universidad Nacional de Cajamarca, ubicada en el Distrito, Provincia y Región Cajamarca, geográficamente se encuentra localizado entre las coordenadas 7° 10' 06" S Latitud Sur y 78° 29' 43" W Longitud Oeste, a una altitud de 2683 msnm.

Figura 4 Ubicación de la Universidad Nacional de Cajamarca



Nota: En la (figura 4) se muestra la ubicación geográfica de las instalaciones del laboratorio de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional de Cajamarca, lugar donde se llevó a cabo la fase de análisis fisicoquímico del helado artesanal de betarraga y arándano. Fuente: (Google Maps, 2025).

3.2. Materiales y Equipos

3.2.1. Materia prima e insumos

Se utilizó betarraga (*Beta vulgaris*) y arándano (*Vaccinium myrtillus*) frescos, adquiridos en el mercado local de Cajamarca. Además, se emplearon los siguientes

ingredientes e insumos: leche fresca, leche en polvo, crema de leche, azúcar, estabilizante (CMC) y agua potable.

3.2.2. Equipos

- Balanza digital (marca OHAUS).
- pHmetro (marca EZDO).
- Refractómetro (marca ATAGO)
- Lactodensímetro
- Termómetro digital.
- Licuadora industrial.
- Cocina a gas.
- Máquina batidora de helado.
- Congeladora.

3.2.3. Materiales

- Ollas.
- Jarras.
- Cucharas de acero inoxidable.
- Envases de plástico para almacenamiento.
- Probetas.
- Pipetas
- Vasos de precipitación
- Bureta y soporte universal.
- Papel filtro.
- Embudos.
- Termómetro de inmersión.
- Guantes.

- Mascarillas.
- Gorros desechables.

3.2.4. Reactivos

- Hidróxido de sodio (NaOH) 0.1 N.
- Fenolftaleína al 1%.
- Alcohol etílico al 68%.
- Soluciones buffer para calibración de pH (pH 4 y 7).

3.3. Metodología

3.3.1. Variables

a) Variable independiente: Concentración de betarraga y arándano

- Definición conceptual

La concentración de ingredientes corresponde a la proporción cuantitativa de cada componente incorporado en la formulación de un producto alimenticio, la cual puede influir directamente en sus características sensoriales y fisicoquímicas (Goff & Hartel, 2013).

- Definición operacional

Se define como el porcentaje (%) de betarraga (*Beta vulgaris*) y arándano (*Vaccinium myrtillus*) adicionados a la mezcla base del helado artesanal, establecidos en niveles experimentales previamente determinados para el estudio (Montgomery, 2017)

- Indicadores
 - ✓ betarraga (10 %, 15 %, 20 %)
 - ✓ arándano (20 %, 30 %, 40 %)
- Escala / Instrumento

Formulación experimental y control de porcentajes

b) Variable Dependiente 1: Características sensoriales del helado artesanal

- Definición conceptual

Las características sensoriales son los atributos de un alimento percibidos a través de los sentidos humanos, tales como sabor, color, olor y apariencia general, y constituyen un factor determinante en la aceptación del producto por parte del consumidor (Stone & Sidel, 2012).

- Definición operacional

Se definen como el grado de aceptación del helado artesanal evaluado mediante pruebas sensoriales aplicadas a un panel de evaluadores, utilizando una escala hedónica estructurada para cada atributo sensorial (Lawless & Heymann, 2010).

- Indicadores

Sabor, Color, Olor y Apariencia general

- Escala / Instrumento

Escala hedónica de 5 puntos: (1 = Muy desagradable; 5 = Muy agradable)

c) Variable Dependiente 2: Características fisicoquímicas del helado artesanal

- Definición conceptual

Las características fisicoquímicas corresponden a las propiedades físicas y químicas de un alimento que permiten evaluar su calidad, estabilidad y comportamiento tecnológico (Marshall et al., 2013).

- Definición operacional

Se definen como los valores obtenidos mediante la determinación analítica de pH, acidez titulable y sólidos solubles del helado artesanal, aplicando métodos oficiales estandarizados (AOAC, 2019).

- Indicadores

- ✓ pH
- ✓ Acidez titulable (%)
- ✓ Densidad (g/ml)
- ✓ Sólidos solubles (°Brix)

- Escala / Instrumento

- ✓ pH-metro
- ✓ Titulación ácido-base
- ✓ Densímetro o picnómetro
- ✓ Refractómetro

3.3.2. Matriz Operacionalización

Tabla 6 Matriz de Variables

Tipo de variable	Variable	Definición conceptual	Indicadores	Escala / Instrumento
Independiente	Concentración de betarraga (<i>Beta vulgaris</i>) y arándano (<i>Vaccinium myrtillus</i>) en la formulación del helado artesanal.	La concentración de ingredientes corresponde a la proporción cuantitativa de cada componente incorporado en la formulación de un producto alimenticio, la cual puede influir directamente en sus características sensoriales y fisicoquímicas (Goff & Hartel, 2013).	% de betarraga (10 %, 15 %, 20 %) de arándano (20 %, 30 %, 40 %)	Formulación experimental y control de porcentajes
Dependiente 1	Características sensoriales del helado artesanal	Las características sensoriales son los atributos de un alimento percibidos a través de los sentidos humanos, tales como sabor, color, olor y apariencia general, y constituyen un factor determinante en la aceptación del producto por parte del consumidor (Stone & Sidel, 2012).	Sabor Color Olor Apariencia general	Escala hedónica de 5 puntos (1 = Muy desagradable; 5 = Muy agradable)
Dependiente 2	Características fisicoquímicas del helado artesanal	Las características fisicoquímicas corresponden a las propiedades físicas y químicas de un alimento que permiten evaluar su calidad, estabilidad y comportamiento tecnológico (Marshall et al., 2013).	pH Acidez titulable (%) Densidad (g/ml) Sólidos solubles (°Br)	pH-metro Titulación ácido-base Densímetro o picnómetro Refractómetro

Nota. La operacionalización de las variables permite analizar el efecto de las diferentes proporciones de betarraga y arándano sobre la aceptabilidad sensorial y las propiedades fisicoquímicas del helado artesanal.

3.3.3. Tipo y diseño de investigación

La presente investigación es de **tipo aplicada**, ya que busca generar conocimiento orientado a la solución de un problema práctico mediante la evaluación sensorial y fisicoquímica de un helado artesanal elaborado con diferentes concentraciones de betarraga (*Beta vulgaris*) y arándano (*Vaccinium myrtillus*). Asimismo, el estudio es de **enfoque cuantitativo**, debido a que los datos obtenidos de las evaluaciones sensoriales y los análisis fisicoquímicos son medibles, cuantificables y analizados mediante métodos estadísticos.

Desde el nivel de profundidad, la investigación es de **nivel experimental**, dado que se manipula deliberadamente la variable independiente (concentración de betarraga y arándano) para observar su efecto sobre las variables dependientes (características sensoriales y fisicoquímicas).

El diseño de la investigación es **experimental**, específicamente un **diseño experimental factorial 3×3**, en el cual se evalúan dos factores: la concentración de betarraga y la concentración de arándano, cada uno con tres niveles. Este diseño permite analizar tanto los efectos individuales de cada factor como la interacción entre ambos sobre las variables de respuesta.

Los tratamientos experimentales resultantes corresponden a nueve combinaciones diferentes de betarraga y arándano, las cuales fueron evaluadas mediante análisis sensorial y fisicoquímico. El diseño factorial permite una evaluación eficiente y sistemática de los efectos de las concentraciones de los ingredientes sobre el helado artesanal, proporcionando información confiable para la identificación de la formulación óptima.

3.3.4. Tamaño de unidad experimental

La unidad experimental estuvo constituida por cada lote de helado artesanal elaborado con una combinación específica de concentración de betarraga y arándano, correspondiente a los tratamientos del diseño factorial 3×3. Cada unidad experimental tuvo un volumen aproximado de 1 kg de mezcla, suficiente para la realización de los análisis sensoriales y fisicoquímicos.

3.3.5. Flujograma de elaboración de pulpa de arándano y betarraga.

Recepción: Este es el primer punto que se aplicó para obtener la betarraga y el arándano, que consisten seleccionar la materia prima de calidad.

Pesado: Se requiere de una balanza ubicada en el área de recepción para registrar el peso de la materia prima. En esta etapa consiste en cuantificar la materia prima que entra al proceso para determinar el rendimiento que puede obtener la betarraga y arándano.

Selección: Es una operación importante para el proceso, ya que se tendrá en cuenta que la materia prima seleccionada la cual deberá tener las características de madurez adecuada, color y aroma característico de la betarraga y arándano a procesar, posteriormente a este proceso se dispondrán en un ambiente controlado, para su posterior proceso.

Lavado y Pelado: Una vez que este seleccionada la materia prima se procede a lavar la hortaliza y el fruto con abundante agua y realizar el desinfectado con hipoclorito de sodio con una dosis de (10 gotas por 1lt de agua) posteriormente se pelo la betarraga y el arándano se dejó escurrir en una coladera.

Cortado: Realizado el paso anteriormente mencionado se pasó a cortar en trozos pequeños la betarraga, mientras que el arándano se mantuvo en su tamaño normal.

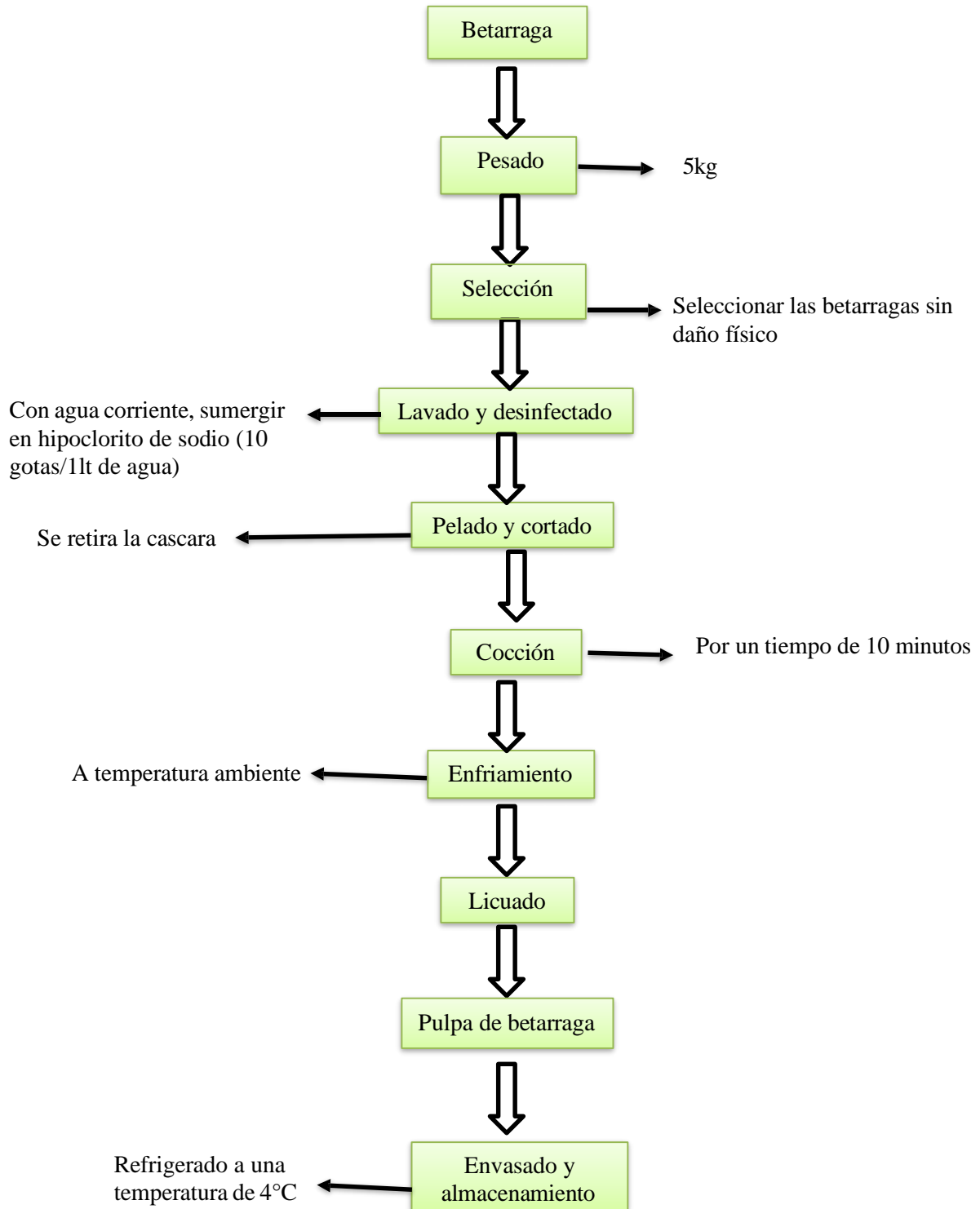
Cocción: Se coció la betarraga y el arándano por separado durante 10 minutos.

Licuada: En esta operación se utiliza una licuadora industrial previamente esterilizada, se procedió a licuarse la pulpa tanto de la betarraga y arándano

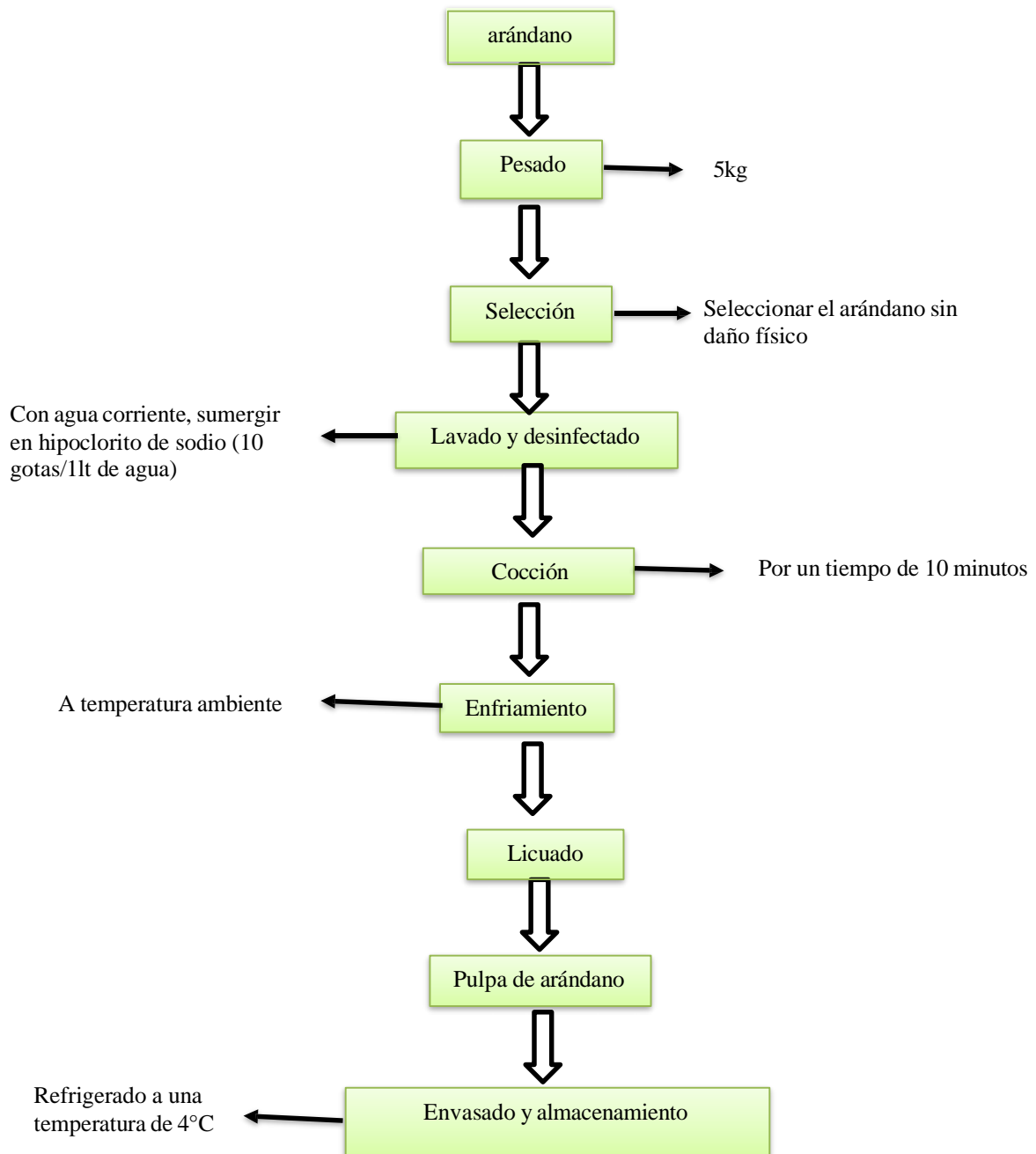
Enfriamiento: después de haber obtenido la pulpa tanto de la betarraga y el arándano, se procedió a enfriar la pulpa a temperatura ambiente.

Envasado: posteriormente después de haber obtenido la pulpa de betarraga y arándano para adicionar a la mezcla del helado se envaso en recipientes esterilizados, fueron almacenados en la refrigeradora a temperatura de 4°C.

Figura 5 Diagrama de flujo de obtención de la pulpa de arándano y betarra



Nota. El flujograma muestra el proceso de obtención de pulpa de betarra para la elaboración del helado artesanal, que incluye las etapas de pesado (5 kg), selección de la materia prima, lavado y desinfección con hipoclorito de sodio, pelado y corte, cocción durante 10 minutos, enfriamiento a temperatura ambiente, licuado y envasado con almacenamiento en refrigeración a 4 °C, garantizando la calidad e inocuidad del producto.



Nota. El flujograma presenta el proceso de obtención de pulpa de arándano para la elaboración del helado artesanal, que comprende las etapas de pesado (5 kg), selección del fruto en adecuado estado físico, lavado y desinfección con hipoclorito de sodio, cocción durante 10 minutos, enfriamiento a temperatura ambiente, licuado y envasado, con almacenamiento en refrigeración a 4 °C para asegurar la calidad e inocuidad del producto.

3.3.6. Descripción de operaciones de la elaboración de helado artesanal

- a) **Recepción:** de la leche, se adquirió del mercado central de Cajamarca, para posteriormente llevarlo a laboratorio de la escuela de Ingeniería en Industrias Alimentarias, para realizar los análisis respectivos y básicos (PH, densidad, °brix y acidez)
- b) **Filtrado:** una vez recibida la materia prima se procedió a filtrar la leche en un tamizador de plástico previamente esterilizado, se realizó este proceso con el fin de eliminar las impurezas presentes en la leche tales como: pelos, tierra, garrapatas, entre otros.
- c) **Dosificación:** en este paso primeramente se tiene todos los ingredientes dosificados de acuerdo a la formula previamente establecida para la pasta base.

Tabla 7 Fórmula para base para lote de 10kg de helado

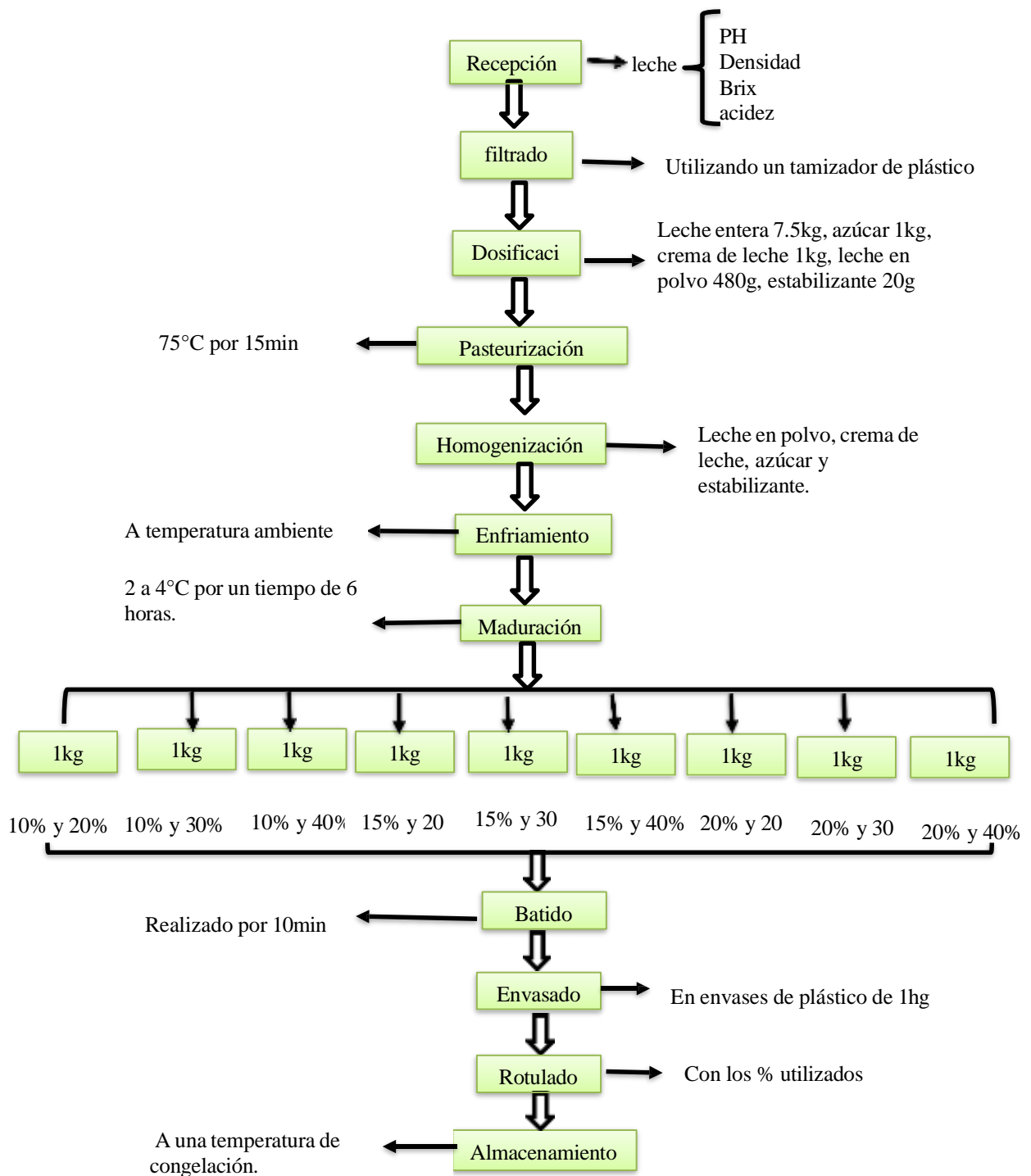
Ingredientes	Porcentaje (%)	Kg
Leche entera	75	7.5kg
Azúcar	10	1kg
Crema de leche	10	1kg
Leche en polvo	4.8	480g
Estabilizante	0.2	20g

Nota. La tabla muestra la formulación base del helado artesanal, detallando los ingredientes, sus porcentajes y las cantidades empleadas. La leche entera constituye el componente principal (75%), seguida del azúcar y la crema de leche (10% cada una), que aportan dulzor y cremosidad al producto. La leche en polvo (4.8%) contribuye al aumento de sólidos totales, mientras que el estabilizante (0.2%) mejora la textura y estabilidad del helado.

- d) **Pasteurización:** se realizó con el propósito de eliminar los microorganismos patógenos presente en la leche, la temperatura y tiempo que se aplicó en este 75°C por un tiempo de 15 minutos, durante este proceso se agregaron los demás ingredientes homogenizados (leche en polvo, crema de leche, azúcar, estabilizante).

- e) **Enfriamiento:** se procedió a enfriar la mezcla con agua fría para que entre a la fase de maduración.
- f) **Maduración:** la mezcla debe estar por seis horas en la cámara de frío a temperatura de 2 a 4°C para obtener la maduración correcta del helado, permitiendo de esta manera q los estabilizantes absorban el agua evitando así la formación de los cristales de hielo después de la congelación.
- g) **Batido:** posterior a la maduración se realizó un batido industrial durante 10 minutos por cada litro de materia base, acá en este proceso se añadió los porcentajes establecidos de betarraga y arándano.
- h) **Envasado:** una vez que se logró obtener el helado por medio del batido, se procedió a realizar el llenado manualmente en envases de plástico de 1 litro, utilizando paletas previamente esterilizadas con el objetivo de obtener una mejor conservación del helado.
- i) **Rotulado:** se procedió a identificar con los porcentajes colocados de betarraga y arándano, cada envase una vez realizado el llenado.
- j) **Almacenamiento:** se procedió a mantenerlo en un congelador a temperatura de - 25°C, para una mejor conservación y calidad del producto

Figura 6 Diagrama de flujo de la elaboración de helado artesanal



Nota:- El flujograma muestra el proceso de elaboración de helado artesanal enriquecido con betarraga y arándano, iniciando con la recepción y filtrado de la leche, seguida de la dosificación de ingredientes y la pasteurización a 75 °C. Posteriormente, la mezcla es homogeneizada y enfiada para pasar a la etapa de maduración a 4 °C durante 6 horas. Luego, se incorporan las diferentes concentraciones de betarraga (10 %, 15 %, 20 %) y arándano (20 %, 30 %, 40 %) antes del batido. Finalmente, el producto es envasado, rotulado y almacenado a temperatura de congelación, garantizando la uniformidad del proceso y la calidad del helado obtenido.

3.3.7. Descripción de los procedimientos experimentales

3.3.7.1. Análisis Físicoquímicos

pH: El pH del helado descongelado se determinó mediante el **método potenciométrico**, utilizando un pH-metro previamente calibrado con soluciones tampón estándar, siguiendo los procedimientos establecidos en los métodos oficiales de análisis de la AOAC.

Acidez titulable: La acidez titulable del helado se determinó mediante el **método volumétrico de titulación ácido–base**, utilizando una solución de hidróxido de sodio (NaOH) 0,1 N como titulante y fenolftaleína como indicador. Los resultados se expresaron como porcentaje de ácido láctico, de acuerdo con los métodos oficiales de análisis de la AOAC.

°Brix: El contenido de sólidos solubles totales (°Brix) del helado se determinó mediante el **método refractométrico**, utilizando un refractómetro calibrado y realizando la medición a una temperatura de 20 °C, de acuerdo con los procedimientos los métodos oficiales de la AOAC.

Densidad: La densidad del helado se determinó mediante el **método densimétrico**, utilizando un lactodensímetro colocado en una probeta, realizando la lectura correspondiente y aplicando la corrección por temperatura, conforme a los procedimientos establecidos en métodos oficiales de análisis para productos lácteos.

3.3.7.1. Análisis Sensorial

Se utilizó un panel de 30 jueces no entrenados (estudiantes de Ingeniería en Industrias Alimentarias). Se evaluaron los atributos de sabor, color, olor y apariencia general usando una escala hedónica de 5 puntos (1: "Me disgusta mucho" a 5: "Me gusta mucho").

3.3.7.2. Análisis estadístico

Los datos fisicoquímicos y sensoriales fueron sometidos a análisis estadístico de Pareto se analizaron mediante superficie de respuesta de efectos principales dos vías esta estrategia nos permitió evaluar el impacto individual de los factores estudiados, así como la posible interacción entre ellos. Para la comparación de medias, se aplicó la prueba de Tukey ($P < 0.05$) para comparación de medias. Utilizando el software IBM SPSS Statistics 25 y Microsoft Excel. Normalidad (Shapiro-Wilk), homogeneidad de varianzas (prueba de Hartley) e independencia de errores (Durbin-Watson).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados

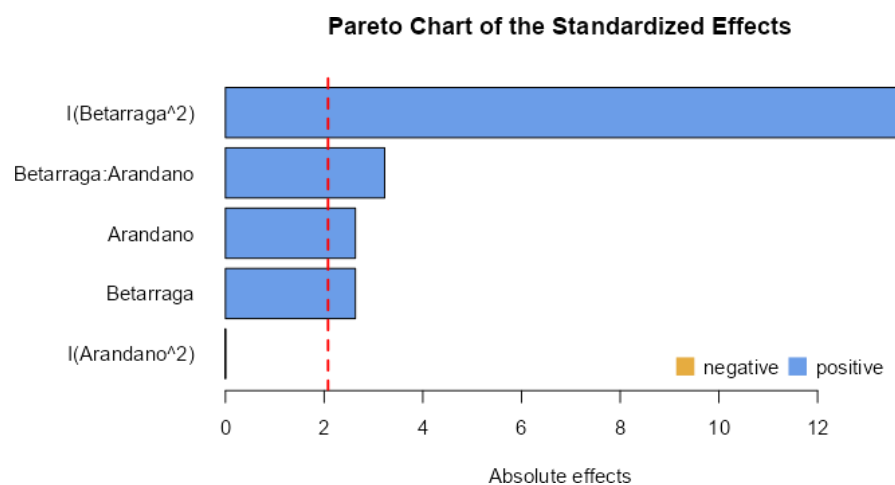
4.1.1. Resultados en relación con el objetivo general: Evaluar el efecto de la concentración de betarraga y arándano en las características sensoriales y fisicoquímicas de un helado artesanal.

Los resultados obtenidos evidencian que la concentración de betarraga y arándano influyó de manera diferenciada en las características sensoriales y fisicoquímicas del helado artesanal. Mediante el análisis estadístico de efectos individuales, interacciones y superficies de respuesta, se comprobó que ciertos parámetros presentaron efectos significativos ($p < 0.05$), mientras que otros no mostraron variaciones relevantes entre tratamientos. Estos efectos se describen en detalle en los apartados siguientes, en función de cada objetivo específico.

4.1.2. Resultados en relación con el primer objetivo específico: Evaluar la concentración adecuada de betarraga (10 %, 15 % y 20 %) y arándano (20 %, 30 % y 40 %) en la formulación de un helado artesanal.

A. Acidez

Figura 7 Pareto para efectos individuales para la acidez

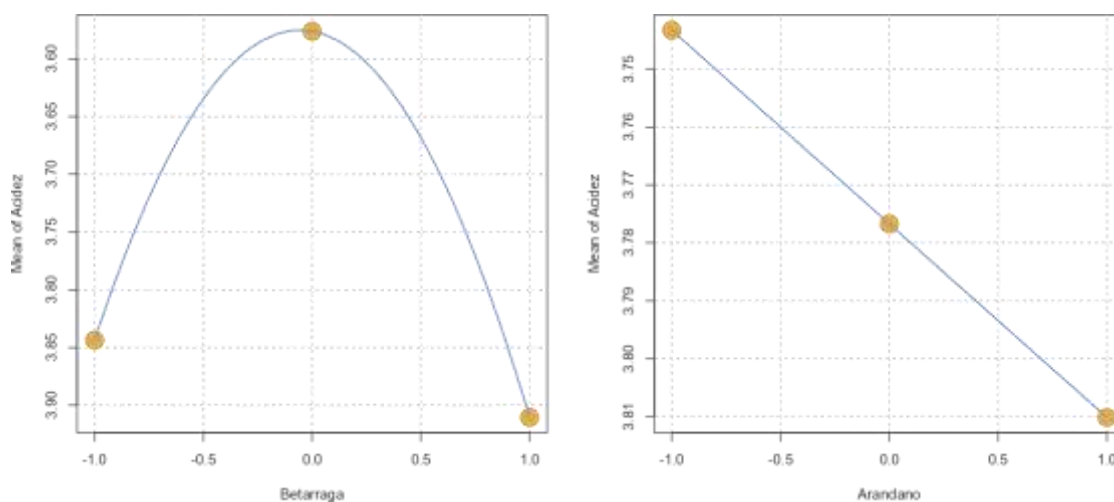


Nota. Elaboración propia

La figura 7 muestra los efectos estandarizados a través de un Pareto donde se observa que el porcentaje de arándano y betarraga tienen un efecto significativo ($p < 0.05$) sobre la acidez, del mismo modo la interacción entre betarraga y arándano también presenta efecto significativo estadísticamente.

La acidez de helado es causada por las proteínas como β -lactoglobulina (β -lg), seroalbúminas e inmunoglobulina G (IgG), por lo que, al incluir proteína animal, la acidez decrece y es mayor cuanto más alto sea el contenido de sólidos no grasos, del mismo modo al incluir fruta a mayor concentración suele implicar más azúcares intrínsecos que equilibran la acidez titulable del producto, dando una percepción de menor acidez (Mamani et al., 2023)

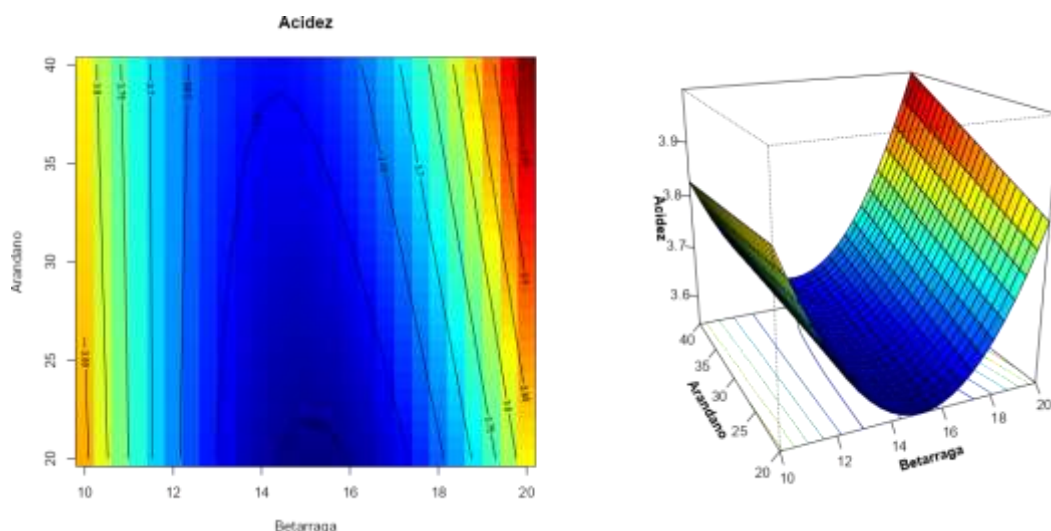
Figura 8 Efectos Individuales para la Acidez



Nota. Elaboración propia

. La figura 8 donde se observan los efectos individuales para los tratamientos de betarraga y arándano; donde se muestra que conforme el porcentaje de concentración de betarraga aumenta la acidez disminuye y luego tiende a aumentar, en cambio el comportamiento para el arándano, conforme aumenta el porcentaje de concentración, la acidez también aumenta.

Figura 9 Superficie de respuesta estimada para la Acidez



Nota. Elaboración propia

La superficie de respuesta estimada (Figura 9) se muestra el ajuste de la superficie de respuesta del análisis realizado para el parámetro de la acidez, donde se observa que los colores más rojizos indican un mayor valor de acidez, mostrando que ese mayor valor de acidez está en base a los mayores porcentajes de concentración de betarraga y de arándano.

La ecuación del modelo y su ajuste estadístico se presentan en la Tabla 8, donde se observa un coeficiente de determinación elevado ($R^2 = 0.910$), lo que indica un buen ajuste del modelo.

Tabla 8 Ecuación de ajuste de la superficie de respuesta para la Acidez.

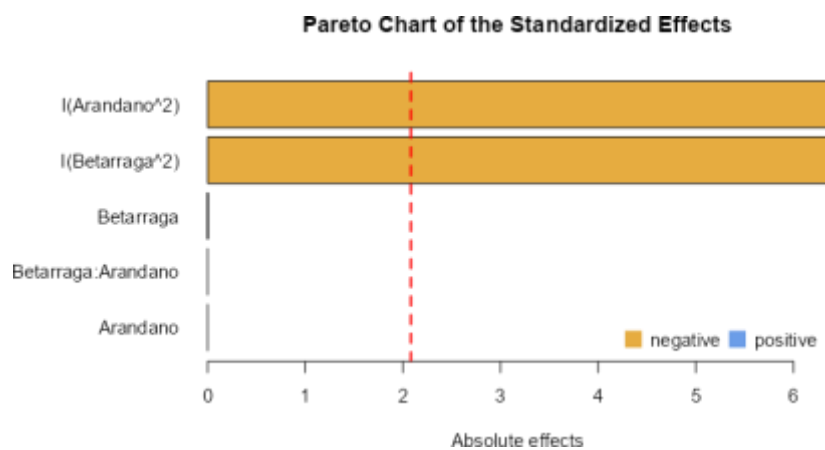
Ecuación del Modelo	R^2	MSE
$Acidez = 6.5340 - 0.3844 \cdot Betarraga - 0.0117 \cdot Arandano + 0.0120 \cdot I(Betarraga^2) + 0.0000 \cdot I(Arandano^2) + 0.0010 \cdot Betarraga \cdot Arandano$	0.910	0.00290

Nota. Elaboración propia

En el presente estudio, la acidez titulable fue significativamente influenciada por la concentración de betarraga y arándano, así como por su interacción. Este comportamiento es parcialmente consistente con lo reportado por Hacibektaşoğlu & Gündoğdu (2024), quienes observaron que la adición de betarraga en helados incrementó el pH y disminuyó la acidez titulable. Sin embargo, mientras dichos autores trabajaron con una formulación fija de 20% de betarraga, en esta investigación se evidenció que el efecto sobre la acidez depende del nivel de concentración y de la combinación con arándano, lo que explica la significancia de la interacción observada.

B. Densidad

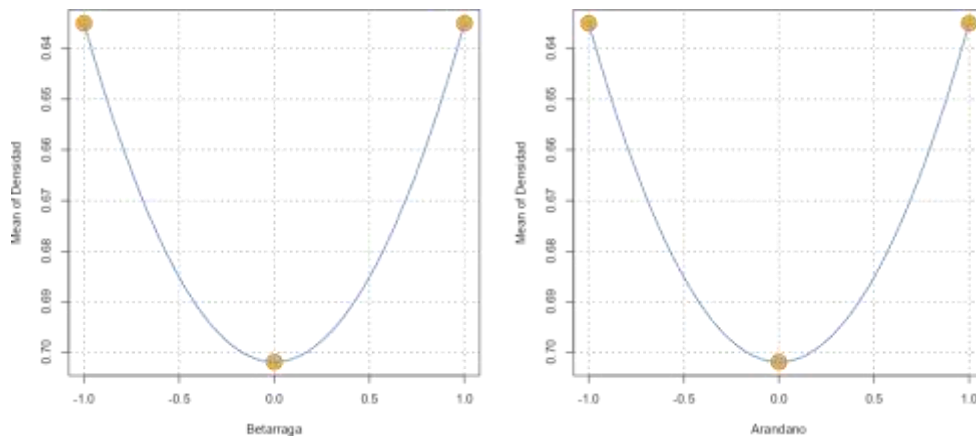
Figura 10 Pareto para efectos individuales para Densidad



Nota. Elaboración propia

La figura 10 muestra los efectos estandarizados para el parámetro densidad a través de un Pareto, donde se observa que el porcentaje de arándano y betarraga no presenta efecto significativo ($p < 0.05$) sobre la densidad de igual forma la interacción entre ambos, esto se debe a que la variabilidad de la densidad en los tratamientos fue mínima.

Figura 11 Efectos Individuales para la densidad

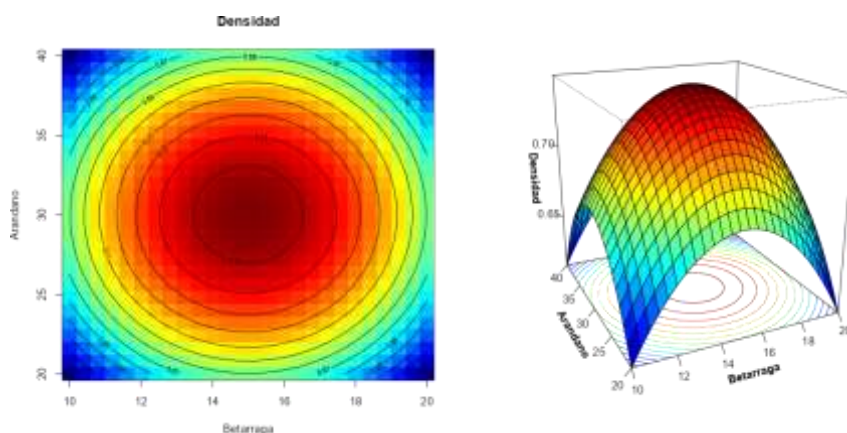


Nota. Elaboración propia

Es por eso que la figura 11 muestra ese comportamiento donde no hay ninguna tendencia observable, cabe mencionar que la densidad de un helado está determinada principalmente por el aire incorporado durante el proceso de mantecación y por la composición de sus ingredientes tanto como grasas, azúcares y sólidos.

La densidad de un helado está estrechamente relacionada con los estabilizadores, estos funcionan a través de la unión del agua y el impedimento estérico, que estabilizan las emulsiones y las burbujas de aire, inhiben el crecimiento de cristales de hielo y reducen la migración de agua libre en la estructura, el arándano contiene compuestos bioactivos, principalmente antocianinas, proantocianidinas y ácidos fenólicos (Agbawodike et al., 2026).

Figura 12 Superficie de respuesta estimada para la densidad



Nota. Elaboración propia

La figura 12 muestra el ajuste de la superficie de respuesta del análisis realizado para el parámetro de la densidad, si bien es cierto que no existe significancia estadísticamente, se observa que los valores mayores de densidad están en los colores rojos y la tendencia central se debe a que la variabilidad fue mínima. La ecuación representativa de la superficie de respuesta se muestra en la tabla 9 en donde también se tiene el ajuste.

Tabla 9 Ecuación de ajuste de la superficie de respuesta para la densidad

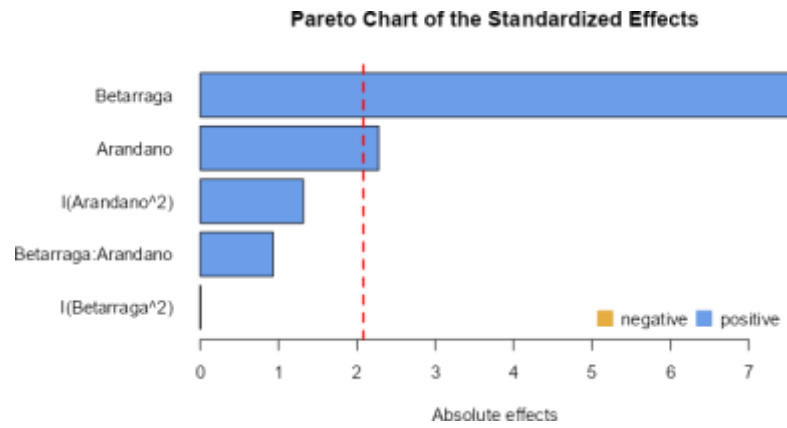
Ecuación del Modelo	R ²	MSE
Densidad=-0.4568+0.0802·Betarraga+0.0401·Arandano-0.0027·I(Betarraga^2)-0.0007·I(Arandano^2)-0.0000·Betarraga·Arandano	0.796	6.54e-4

Nota. Elaboración propia

La densidad no presentó diferencias significativas entre tratamientos, lo que concuerda con Şentürk et al. (2024), quienes señalaron que este parámetro está más relacionado con el sobre batido y la estructura del aire incorporado que con la adición de frutas en bajas o medias concentraciones.

C. pH

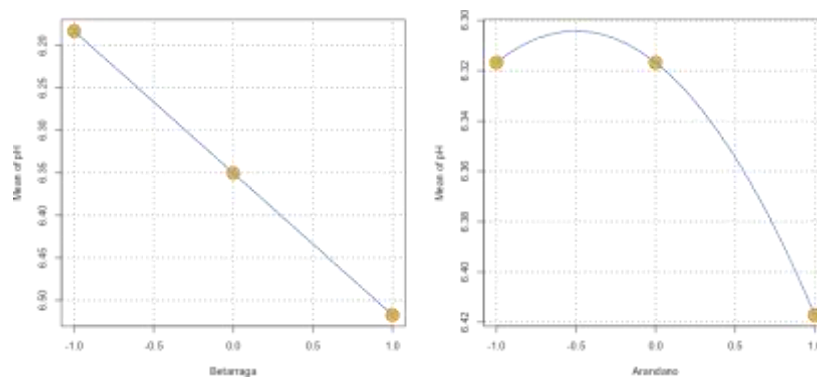
Figura 13 Pareto para efectos individuales para pH



Nota. Elaboración propia

La figura 13 muestra los efectos estandarizados a través de un Pareto donde se observa que el porcentaje de concentración de arándano y betarraga tienen un efecto significativo ($p < 0.05$) sobre el pH, sin embargo, la interacción entre ambos no tiene significancia.

Figura 14 Efectos Individuales para el pH

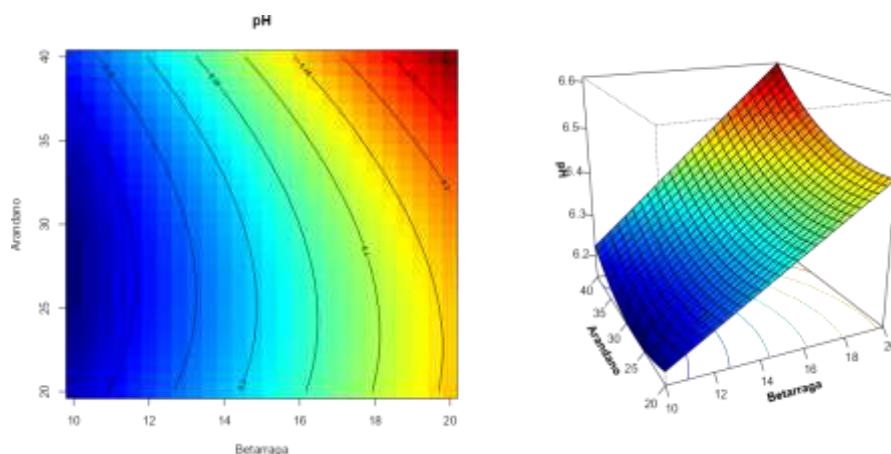


Nota. Elaboración propia

En la figura 14 se observa los efectos individuales para el pH, en donde se observa que conforme aumenta la concentración de betarraga el pH aumenta, lo mismo pasa cuando aumenta la concentración de arándano el pH también aumenta.

El pH de las frutas y verduras usadas en este estudio afectan drásticamente a la composición final del helado, ya que actúan directamente con las proteínas de la leche y afectan la emulsión. El pH de la remolacha en un helado tiende a ser ligeramente ácido (alrededor de 6,1), lo que mantiene la vitamina, su pigmento natural, en un color rojo intenso a violáceo. Si el helado se vuelve más básico, el color cambia a violeta-amarillento, y si es muy ácido, puede tornarse más rosa. El pH del arándano, al ser ácido (generalmente entre 3.1 y 4.4), reduce el pH de la mezcla base del helado, la cual suele ser cercana a la neutralidad (6.3-6.5). Esta disminución aumenta la acidez, estabilizando el color de las antocianinas y aportando un perfil de sabor ácido, crucial para el balance sensorial del helado (Farid & Łopusiewicz, 2026)

Figura 15 Superficie de respuesta estimada para pH



Nota. Elaboración propia

En la figura 15 se muestra el ajuste de la superficie de respuesta del análisis realizado para el parámetro del pH, donde se observa que los colores más rojizos indican un mayor valor de pH que oscila entre 6.45-6.55, mostrando que ese mayor valor de pH está en base a los mayores porcentajes de concentración de betarraga y de arándano. La ecuación representativa de la superficie de respuesta se muestra en la tabla 10 en donde también se tiene el ajuste.

Tabla 10 Ecuación de ajuste de la superficie de respuesta para la pH

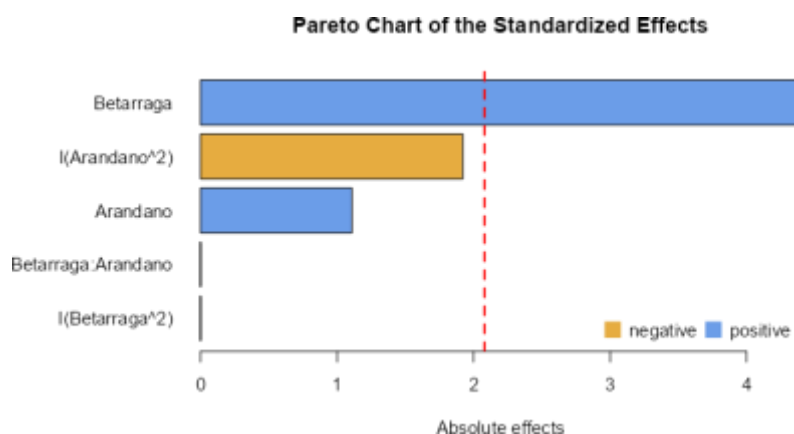
Ecuación del Modelo	R ²	MSE
$\text{pH} = 6.3419 + 0.0184 \cdot \text{Betarraga} - 0.0326 \cdot \text{Arandano} + 0.0000 \cdot I(\text{Betarraga}^2) + 0.0005 \cdot I(\text{Arandano}^2) + 0.0005 \cdot \text{Betarraga} \cdot \text{Arandano}$	0.757	0.00872

Nota. Elaboración propia

Respecto al pH, los resultados mostraron un incremento progresivo conforme aumentaron las concentraciones de betarraga y arándano, evidenciando la influencia de estos ingredientes en la modificación de la acidez de la matriz del helado. Estos resultados difieren con lo reportado por Mauricio (2022) y Gonzales & Hurtado (2024), quienes indicaron que la incorporación de frutas con pH ácido reduce el pH de la matriz láctea del helado. Asimismo, Şentürk et al. (2024) reportaron que la incorporación de arándano puede generar cambios fisicoquímicos en la matriz del helado.

D. Brix

Figura 16 Pareto para efectos individuales para Brix

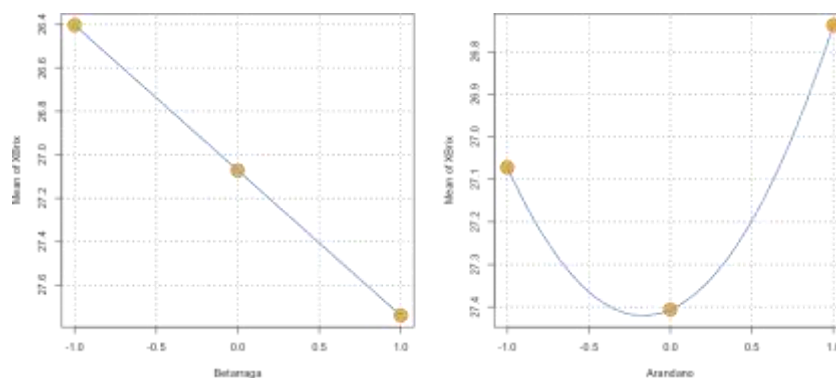


Nota. Elaboración propia

La figura 16 muestra los efectos estandarizados a través de un Pareto donde se observa que el porcentaje de Betarraga tiene un efecto significativo ($p < 0.05$) sobre los grados Brix, en cambio el porcentaje de arándano no presenta significancia estadística al

igual que la interacción entre ambos tratamientos.

Figura 17 Efectos Individuales para Brix

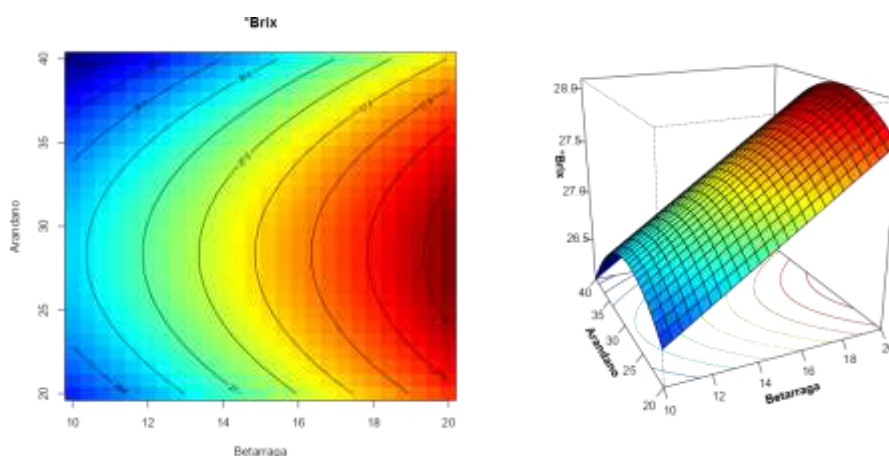


Nota. Elaboración propia

En la figura 17 en donde el brix aumenta al aumentar el porcentaje de concentración de betarraga, no se puede observar lo mismo para el porcentaje de arándano debido a que no presentó significancia estadística, sin embargo, se puede observar una cierta tendencia a disminuir.

El arándano en su composición presenta azúcares simples naturales, siendo la **fructosa, glucosa** los componentes mayoritarios, junto con pequeñas cantidades de sacarosa al igual que la betarraga. Se sabe que la sacarosa afecta indirectamente la estabilidad de la emulsión al aumentar la viscosidad de la mezcla, ya que también interactúa con las proteínas de la leche (como la caseína y las proteínas séricas), lo que afecta su capacidad para estabilizar las gotas de grasa. Además, la sacarosa y otros azúcares invertidos pueden alterar la tensión superficial entre las fases acuosa y grasa, facilitando la dispersión de las gotas de grasa. Finalmente, la sacarosa reduce el punto de congelación, manteniendo una parte de la fase acuosa líquida incluso a temperaturas bajo cero, lo que ayuda a prevenir la desestabilización de la emulsión en estos productos como el helado (Liburdi et al., 2025).

Figura 18 Superficie de respuesta estimada para Brix



Nota. Elaboración propia

En la figura 18 se muestra el ajuste de la superficie de respuesta del análisis realizado para el parámetro de los grados Brix, donde se observa que los colores más rojizos indican un mayor valor de Brix, mostrando que ese mayor valor de acidez está en base a los mayores porcentajes de concentración de betarraga y porcentajes de concentración medios para arándano. La ecuación representativa de la superficie de respuesta se muestra en la tabla 11 en donde también se tiene el ajuste.

Tabla 11 Ecuación de ajuste de la superficie de respuesta para la Brix

Ecuación del modelo	R ²	MSE
$XBrix=21.3902+0.1337 \cdot Betarraga+0.2841 \cdot Arandano+0.0000 \cdot I(Betarraga^2)-0.0050 \cdot I(Arandano^2)+0.0000 \cdot Betarraga \cdot Arandano$	0.539	0.409

Nota. Elaboración propia

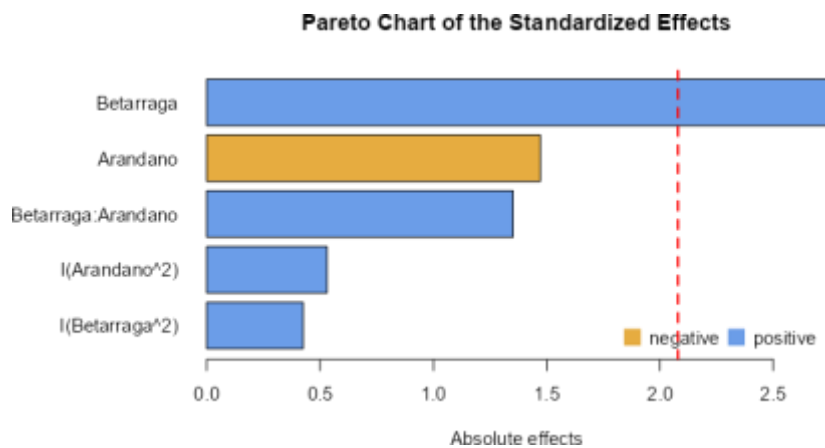
En cuanto a los sólidos solubles (°Brix), el efecto significativo de la betarraga observado en este estudio puede explicarse por su contenido de azúcares naturales como la sacarosa, fructosa y glucosa, los cuales elevan la concentración de sólidos solubles en la mezcla del helado. Este resultado es diferente con lo reportado por Mauricio (2022), quien observó valores de °Brix moderados en formulaciones con alto contenido de pulpa

vegetal, y con Bravo & Herrera (2023), quienes indicaron que los sólidos solubles dependen directamente del tipo de ingrediente incorporado y su composición.

4.1.3. Resultados en relación con el segundo objetivo específico: Determinar las características sensoriales (sabor, color, olor y apariencia general) de los helados elaborados con distintas proporciones de betarraga y arándano.

A. Sabor

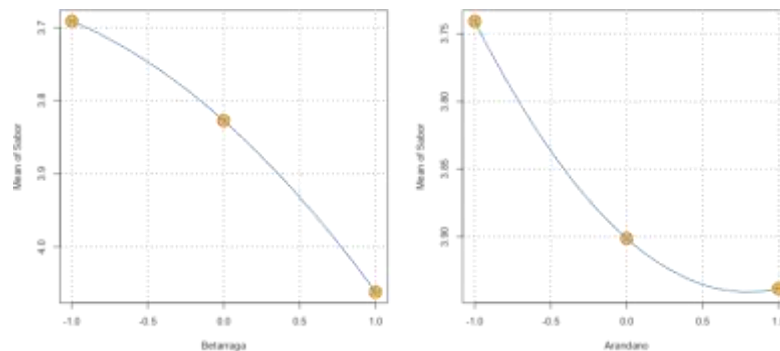
Figura 19 Pareto para efectos individuales para el sabor



Nota. Elaboración propia

La figura 19 muestra los efectos estandarizados para el sabor relacionado al análisis sensorial, a través de un Pareto donde se observa que el porcentaje de betarraga tiene un efecto significativo ($p < 0.05$) sobre el sabor y el tratamiento con concentraciones de arándano no presenta significancia estadísticamente significativa al igual que la interacción entre ambos.

Figura 20 *Efectos Individuales para el sabor*



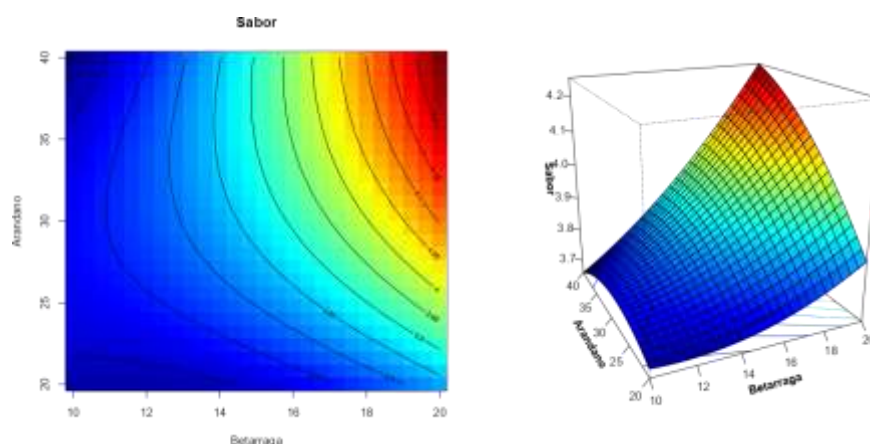
Nota. Elaboración propia

Está plasmado en la figura 20 donde se observan los efectos individuales para los tratamientos de betarraga y arándano; en cuanto a la betarraga se observa que conforme aumenta la concentración la puntuación del gusto del panelista aumenta, en cuanto al arándano no presento significancia, pero se puede observar en la gráfica q a medida que aumenta moderadamente la concentración de betarraga hay mayor aceptación de los panelistas.

El sabor, que abarca tanto las percepciones olfativas como las gustativas, es ampliamente reconocido como un indicador central de la calidad de los alimentos y la aceptación, un perfil de sabor deseable mejora el apetito y la intención de compra, mientras que un sabor pobre puede suprimir el consumo (Ge et al., 2025). En cuanto al sabor la betarraga mostro un efecto significativo en la aceptación del sabor por parte los panelistas, observándose que a medida que aumento su concentración también se incrementó la puntuación otorgada, lo q indica una mayor preferencia sensorial. En cambio, el arándano, esto concuerda con (Putradamni & Pramitasari, 2024) donde menciona que a medida que aumenta el porcentaje de betarraga, disminuye la preferencia de los panelistas por el sabor del producto, esto se debe a que la remolacha contiene compuestos de geosmina, que proporcionan un aroma terroso al postre helado mezclado. Sin embargo, este comportamiento no se observó en la presente investigación, ya que la incorporación de

betarraga genero una mayor aceptabilidad sensorial. Por otro lado, algunos estudios señalan que la betarraga puede presentar ligeros sabores amargos asociados a compuestos fenólicos, lo que podría reducir la aceptación cuando su concentración aumenta; sin embargo (Sacchi et al., 2019) menciona que los compuestos fenólicos al interactuar con las proteínas de la leche mediante enlaces covalentes y no covalentes, produce una disminución de la percepción del amargor. Esta interacción podría explicar la mayor aceptación del sabor observada en el helado elaborado en este estudio.

Figura 21 Superficie de respuesta estimada para el sabor



Nota. Elaboración propia

La figura 21 muestra el ajuste de la superficie de respuesta del análisis realizado para el sabor, se observa que los colores más rojizos indican un mayor valor de puntuación para el sabor, mostrando que ese mayor valor de sabor está en base a los mayores porcentajes de concentración de betarraga y de arándano. La ecuación representativa de la superficie de respuesta se muestra en la tabla 12 en donde también se tiene el ajuste.

Tabla 12 Ecuación de ajuste de la superficie de respuesta para el sabor

Ecuación del Modelo	R ²	MSE
Sabor=3.9053- 0.0889·Betarraga+0.0136·Arandano+0.0020·I(Betarraga^2)- 0.0006·I(Arandano^2)+0.0022·Betarraga·Arandano	0.365	0.0811

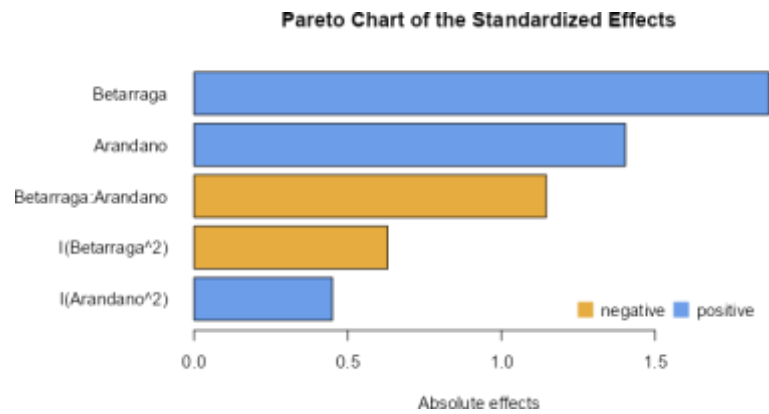
Nota. Elaboración propia

Los resultados sensoriales evidenciaron que la betarraga tuvo un efecto positivo significativo sobre el sabor, olor y apariencia general, especialmente a mayores concentraciones. Estos comportamientos difieren con lo reportado por Putradamni & Pramitasari (2024), quienes indicaron que el incremento del porcentaje de betarraga reduce la preferencia sensorial debido a la presencia de compuestos como la geosmina, responsables del aroma terroso característico de este vegetal.

De manera similar, Ascencio & Cornetero (2024) reportaron que concentraciones moderadas de extracto de betarraga (4%) alcanzaron mayor aceptación sensorial, mientras que concentraciones más altas disminuyeron la preferencia, lo que respalda la necesidad de controlar cuidadosamente el nivel de inclusión de este ingrediente.

B. Color

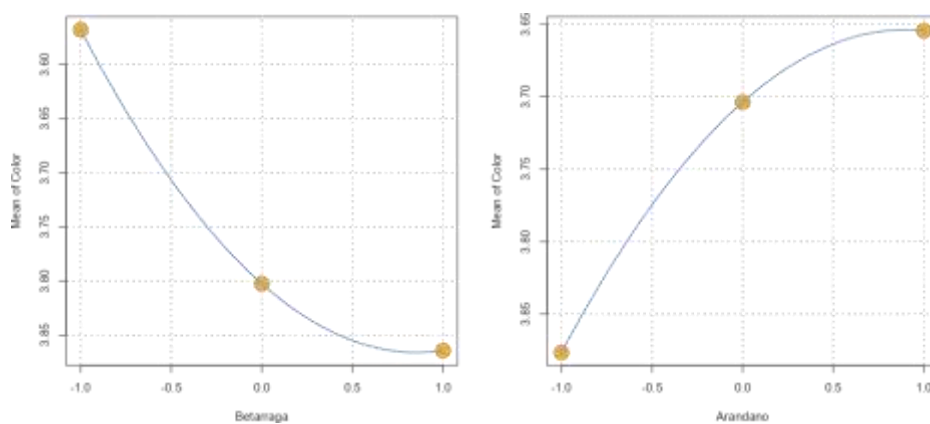
Figura 22 Pareto para efectos individuales para color



Nota. Elaboración propia

La figura 22 muestra los efectos estandarizados a través de un Pareto donde se observa que el porcentaje de concentración de arándano y betarraga no tienen un efecto significativo ($p > 0.05$) sobre el color al igual que la interacción entre ambos. A pesar de que estadísticamente estos tratamientos no mostraron significancia.

Figura 23 Efectos Individuales para color



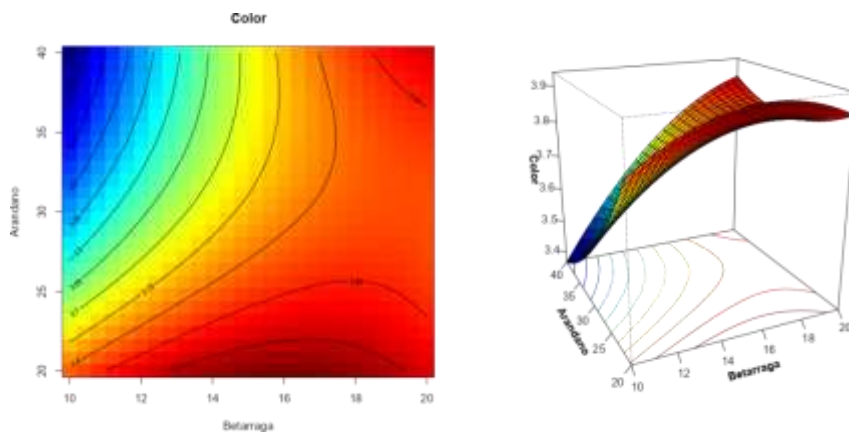
Nota. Elaboración propia

En la figura 23 se puede ver el comportamiento de los efectos individuales, para la betarraga a medida que aumenta la concentración la aceptación de color tiende a aumentar; en cambio para el arándano a medida que aumenta la concentración la aceptación de color

disminuye.

El color es quizás la señal sensorial intrínseca al producto más importante a la hora de establecer nuestras expectativas sobre el probable sabor de los alimentos, numerosas investigaciones han demostrado que cambiar el tono o la intensidad/saturación del color de diversos alimentos y bebidas tiene un impacto, a veces drástico, en las expectativas y, a menudo, en las experiencias de sabor posteriores (Fonseca et al., 2016). En este caso el color con mayor aceptación está relacionado a la betarraga que cuenta con gran cantidad de betaleinas que son responsables de estas tonalidades propias de esta hortaliza. (Wang et al., 2024)

Figura 24 Superficie de respuesta estimada para color



Nota. Elaboración propia

En la figura 24 se muestra el ajuste de la superficie de respuesta del análisis realizado para color, donde se observa que los colores más rojizos indican un mayor valor de aceptación, la tendencia de mayor aceptación se encuentra para valores medios de concentración y arándano. La ecuación representativa de la superficie de respuesta se muestra en la tabla 13 en donde también se tiene el ajuste.

Tabla 13 Ecuación de ajuste de la superficie de respuesta para color

Ecuación del Modelo	R ²	MSE
$\text{Color} = 4.4280 + 0.0667 \cdot \text{Betarraga} - 0.0815 \cdot \text{Arandano} - 0.0035 \cdot I(\text{Betarraga}^2) + 0.0006 \cdot I(\text{Arandano}^2) + 0.0022 \cdot \text{Betarraga} \cdot \text{Arandano}$	0.260	0.113

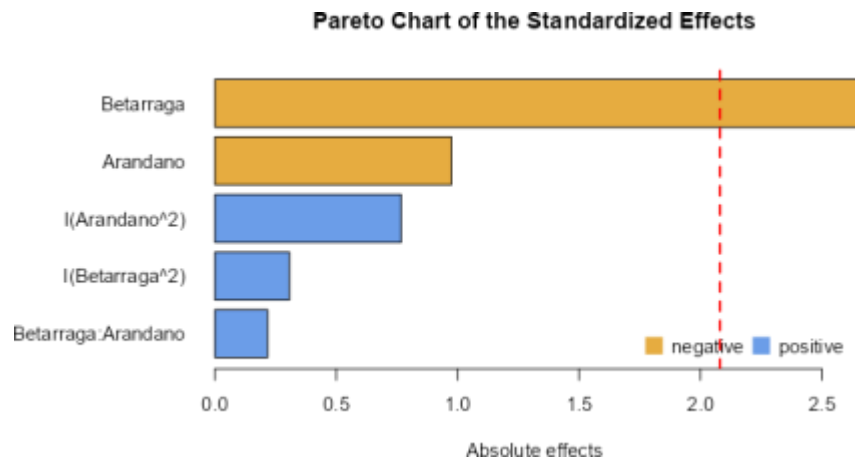
Nota. Elaboración propia

En contraste, el arándano mostró una influencia negativa sobre el color y la apariencia general, lo que indica una menor aceptación por parte de los panelistas. cual difieren con Şentürk et al. (2024) y Gonzales & Hurtado (2024), quienes reportaron una alta aceptación sensorial asociada a las tonalidades intensas proporcionadas por las antocianinas del arándano. Asimismo, García & Alejandro (2021) evidenciaron que formulaciones con proporciones equilibradas de betarraga y arándano alcanzaron altos niveles de aceptación sensorial, destacando la importancia de la combinación entre ambos ingredientes.

Aunque en este estudio el color no presentó diferencias estadísticamente significativas, la tendencia observada coincide con lo reportado por Fonseca et al. (2016) y Wang et al. (2024), quienes indican que el color influye de manera directa en las expectativas y preferencias del consumidor, aun cuando no siempre se refleje en diferencias estadísticas.

C. Olor

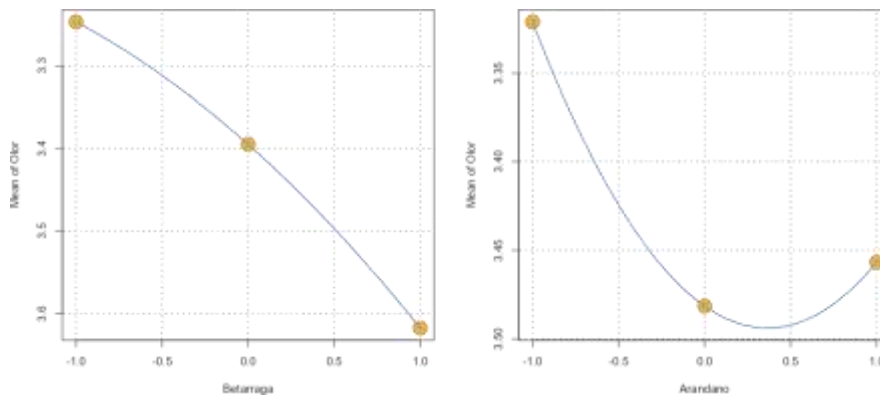
Figura 25 Pareto para efectos individuales de olor



Nota. Elaboración propia

La figura 25 muestra los efectos estandarizados a través de un Pareto donde se observa que el porcentaje de betarraga tiene un efecto significativo ($p < 0.05$) sobre el olor, en cambio los tratamientos con arándano y la interacción entre ambos no presenta significancia.

Figura 26 Efectos Individuales para olor

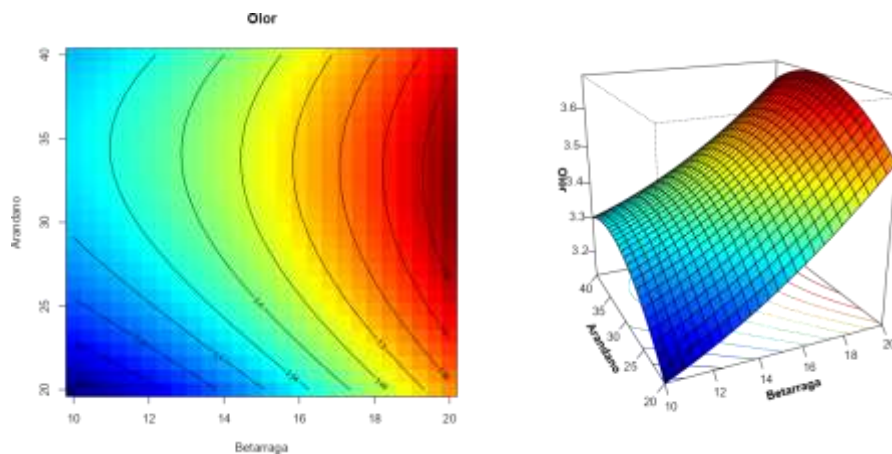


Nota. Elaboración propia

En la figura 26 se cuenta con los efectos individuales para el olor, en donde se observa que conforme aumenta la concentración de porcentaje de betarraga la aceptación de los panelistas aumenta, este mismo comportamiento se observa para el arándano, a pesar de

q no mostro significancia se puede mencionar que conforme aumenta la concentración, la aceptabilidad tiende a aumentar y luego disminuir. La betarraga al igual que el arándano presentan aromas dulzones y muy intensos, para algunos panelistas esto puede resultar agradable y para otro no. Este perfil aromático de la betarraga se debe a la geosmina como ya se mencionó anteriormente es el compuesto volátil propio de este producto.

Figura 27 Superficie de respuesta estimada para olor



Nota. Elaboración propia

En la figura 27 se muestra el ajuste de la superficie de respuesta del análisis realizado para el color, donde se observa que los colores más rojizos indican un mayor valor de aceptación, ese mayor valor de aceptación en cuanto al color se observa a mayores porcentajes de concentración de betarraga y porcentajes medios de concentración de arándano. La ecuación representativa de la superficie de respuesta se muestra en la tabla 14 en donde también se tiene el ajuste.

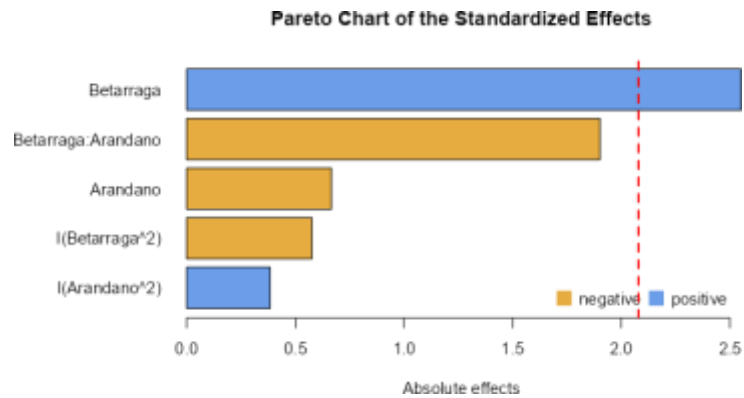
Tabla 14 Ecuación de ajuste de la superficie de respuesta para olor

Modelo - Olor		
Ecuación del Modelo	R ²	MSE
Olor=2.0309+0.0037·Betarraga+0.0679·Arandano+0.0015·I(Betarraga ²)-0.0009·I(Arandano ²)-0.0004·Betarraga·Arandano	0.294	0.0875

Nota. Elaboración propia

D. Apariencia general

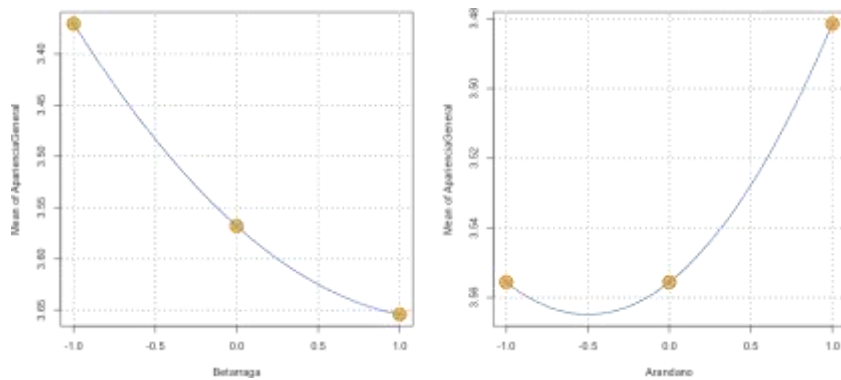
Figura 28 Pareto para efectos individuales para apariencia general



Nota. Elaboración propia

La figura 28 muestra los efectos estandarizados a través de un Pareto donde se observa que el porcentaje de betarraga tiene un efecto significativo ($p < 0.05$) sobre la apariencia general, por lo contrario, el arándano y la interacción entre ambos no presenta significancia estadística.

Figura 29 Efectos Individuales para apariencia general

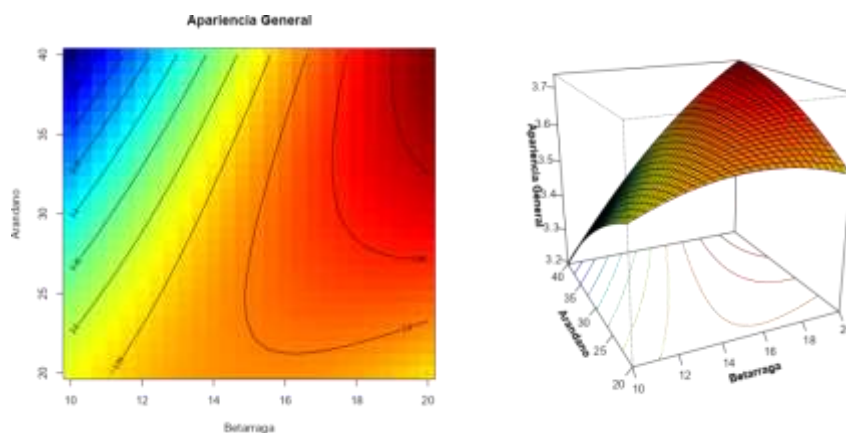


Nota. Elaboración propia

En la figura 29 se observa los efectos individuales para apariencia general, en donde se presencia que cuando el porcentaje de concentración de betarraga aumenta la aceptación de los panelistas también aumenta; en cambio cuando el porcentaje de concentración de arándano aumenta la aceptación también disminuye; a pesar de no mostrar significancia se puede mencionar este comportamiento.

El estudio de la apariencia del producto es un paso importante en la comprensión de los efectos del procesamiento y el impacto posterior en el comportamiento del consumidor; es decir, el color es importante, pero no lo es todo porque hemos evolucionado para responder a la apariencia de los alimentos en su conjunto (Madan et al., 2025). Dado que el mecanismo de la percepción visual es complejo, puede dividirse en varios componentes que interactúan y que, en conjunto, suelen describirse como apariencia total. Sin duda, el más importante de estos componentes es la percepción del color, en este análisis sensorial a los panelistas les agradó más las tonalidades rojizas que corresponde a la betarraga tal como muestra la figura 30.

Figura 30 Superficie de respuesta estimada para apariencia general



Nota. Elaboración propia

En la figura 30 se muestra el ajuste de la superficie de respuesta del análisis realizado para la apariencia general, donde se observa que los colores más rojizos indican una mayor puntuación de aceptación, esos valores se encuentran para altos porcentajes de concentración de betarraga y también alta concentración de arándano. La ecuación representativa de la superficie de respuesta se muestra en la tabla 15 en donde también se tiene el ajuste.

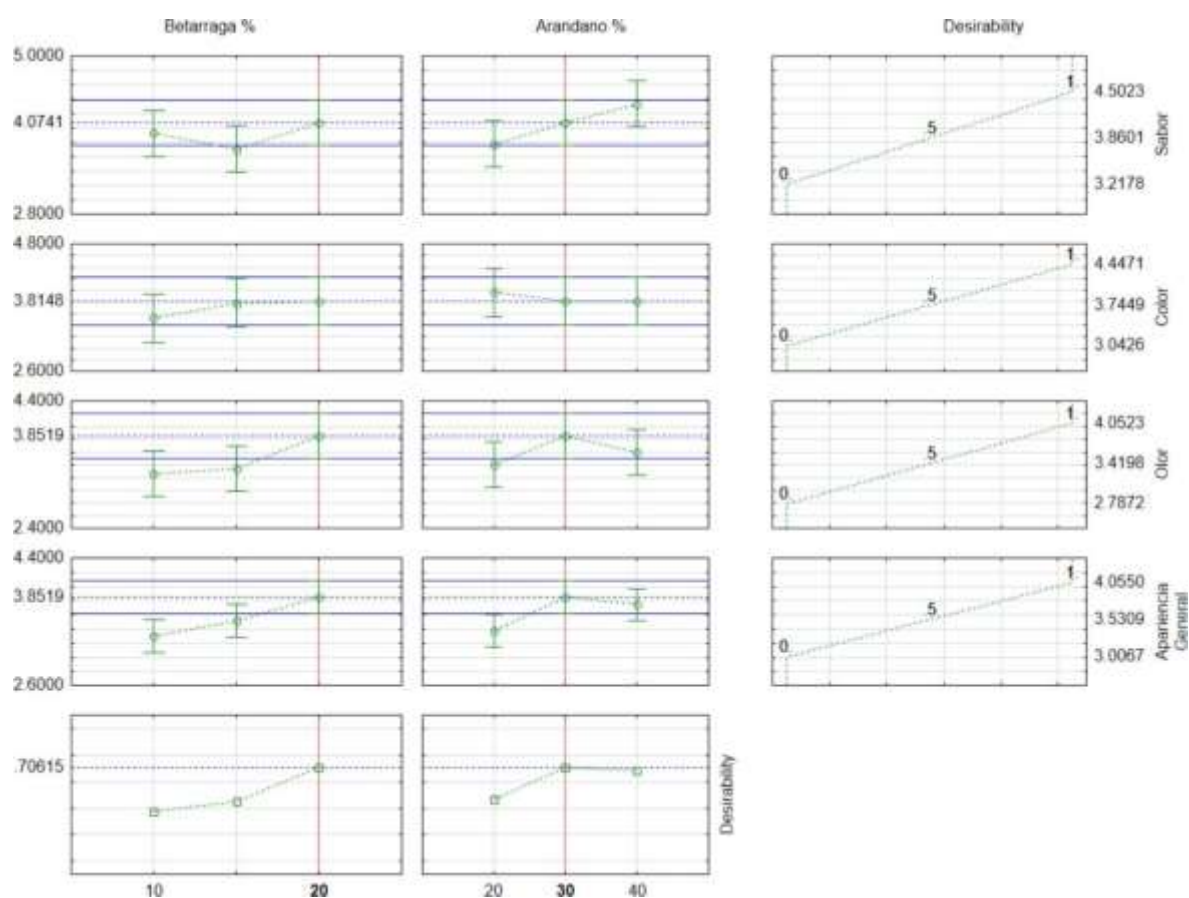
Tabla 15 Ecuación de ajuste de la superficie de respuesta para apariencia general

Ecuación del Modelo	R ²	MSE
$\text{AparienciaGeneral} = 3.6111 + 0.0173 \cdot \text{Betarraga} - 0.0204 \cdot \text{Arandano} - 0.0022 \cdot \text{I}(\text{Betarraga}^2) - 0.0004 \cdot \text{I}(\text{Arandano}^2) + 0.0026 \cdot \text{Betarraga} \cdot \text{Arandano}$	0.345	0.0557

Nota. Elaboración propia

4.1.4. Resultados en relación con el tercer objetivo específico: Determinar si las características fisicoquímicas de la muestra de mayor aceptación sensorial cumplen con los parámetros de calidad establecidos en normas internacionales (AOAC) para helados.

Figura 31 Optimización



Nota. Elaboración propia

La figura 31 muestra la optimización obtenida usando la función de deseabilidad, donde se buscó el mejor tratamiento en base a las características sensoriales, tal como se observa el mejor tratamiento (óptimo) es con 20% de betarraga y 30% de arándano que corresponde al tratamiento 8.

La evaluación fisicoquímica de esta formulación mostró que los valores de pH, acidez titulable y sólidos solubles se encuentran dentro de los rangos establecidos por los métodos oficiales internacionales de análisis de la **Association of Official Analytical Chemists (AOAC)**, confirmando que la muestra con mayor aceptación sensorial cumple con los parámetros de calidad exigidos para helados artesanales.

La formulación óptima identificada (20% de betarraga y 30% de arándano) cumplió con los parámetros fisicoquímicos establecidos por métodos oficiales internacionales de análisis (AOAC), lo que confirma su viabilidad tecnológica. Estos resultados concuerdan con Hacibektaşoğlu & Gündoğdu (2024) y Ascencio & Cornetero (2024), quienes reportaron que helados enriquecidos con betarraga pueden cumplir con estándares de calidad cuando se emplean concentraciones adecuadas. Asimismo, Bravo & Herrera (2023) y Gonzales & Hurtado (2024) demostraron que formulaciones optimizadas sensorialmente también presentan parámetros fisicoquímicos aceptables, lo que refuerza la relación entre aceptabilidad sensorial y estabilidad del producto.

. En conjunto, los resultados confirman que la incorporación de betarraga y arándano en helados artesanales debe realizarse mediante un proceso de optimización. La betarraga aportó efectos fisicoquímicos relevantes y mejoró la aceptación sensorial, mientras que el arándano puede generar efectos menos favorables en ciertas concentraciones. La combinación óptima permitió equilibrar estos efectos y obtener un helado con adecuada calidad sensorial y fisicoquímica.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

1. Se concluye que la concentración de betarraga (*Beta vulgaris*) y arándano (*Vaccinium myrtillus*) influye significativamente en las características sensoriales y fisicoquímicas del helado artesanal.
2. Las diferentes concentraciones de betarraga (10%, 15%, 20%) y arándano (20%, 30%, 40%) influyeron de manera diferenciada en los parámetros fisicoquímicos del helado. La acidez fue afectada por ambos ingredientes y su interacción, el pH por cada ingrediente de forma individual, y los °Brix por la betarraga, mientras que la densidad no presentó diferencias significativas entre tratamientos.
3. Las características sensoriales variaron según las proporciones de betarraga y arándano. La betarraga influyó significativamente en el sabor, olor y apariencia a mayores concentraciones, mientras que el arándano mostró efectos menos favorables en el color y aceptación. Se identificó como formulación óptima el Tratamiento 8 (20% betarraga y 30% arándano), por presentar la mayor aceptación sensorial global.
4. El Tratamiento 8 presentó parámetros fisicoquímicos PH (6.4), acidez titulable (3.85%), y sólidos solubles °Brix (31.68) dentro de los métodos AOAC, confirmando su viabilidad tecnológica. Se concluye que es viable elaborar helado con betarraga y arándano controlando adecuadamente sus concentraciones.

Recomendaciones

1. Se sugiere a futuros investigadores evaluar otras concentraciones intermedias de betarraga y arándano, con el fin de refinar aún más la formulación óptima y mejorar la aceptación sensorial, especialmente en los atributos de sabor y olor.
2. Se sugiere incorporar en investigaciones posteriores el análisis de compuestos bioactivos, como contenido fenólico total y capacidad antioxidante, para complementar la evaluación fisicoquímica y funcional del helado artesanal.
3. Se sugiere realizar estudios de vida útil y estabilidad microbiológica, a fin de determinar el comportamiento del helado durante el almacenamiento y su potencial aplicación comercial.
4. Para mejorar la aceptación sensorial del helado con mayores concentraciones de betarraga, se sugiere evaluar el uso de ingredientes enmascarantes naturales o combinaciones con otras frutas que reduzcan la percepción del aroma terroso característico de este ingrediente.
5. Se sugiere a productores artesanales considerar el uso de la betarraga como ingrediente principal de mejora sensorial, debido a su efecto positivo sobre el color y la apariencia general del helado.
6. Finalmente, se sugiere replicar el estudio a escala piloto o semiindustrial, con el fin de evaluar la reproducibilidad de los resultados y su viabilidad en condiciones reales de producción.

VI. BIBLIOGRAFÍA

Alfonsín, G. (2024). *Helado artesanal*. Editorial Autores de Argentina. https://books.google.com/books/about/Helado_Artesanal.html?hl=es&id=d6OyEAAAQBAJ

Ascencio, K., & Cornetero, L. (2024). Obtención de un helado artesanal de crema con funcionalidad antioxidante empleando extracto de betarraga (*Beta vulgaris*). *Repositorio Institucional*. <http://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/13076>

Atallah, A., Morsy, O., Abbas, W., & Khater, S. (2022). Microstructural, Physicochemical, Microbiological, and Organoleptic Characteristics of Sugar- and Fat-Free Ice Cream from Buffalo Milk. *Foods* 2022, Vol. 11, Page 490, 11(3), 490. <https://doi.org/10.3390/FOODS11030490>

Barbosa, A., Fernandes, W., Costa, W., Nascimento, E., Lanzarin, M., Becker, P., Magave, N. F., & Barros, M. (2021). Development, characterization, and shelf-life of lactose-free artisan ice cream produced with different bases. *Research, Society and Development*, 10(9), e3210912712-e3210912712. <https://doi.org/10.33448/RSD-V10I9.12712>

Bedoya, J., Ramón, C., Gil, M., & Ramírez, C. (2022). Extracción de antioxidantes de los arándanos (*Vaccinium corymbosum*): efecto de solventes verdes sobre polifenoles totales, capacidad antioxidante y comportamiento electroquímico. *TecnoLógicas*, 25(53), e2277. <https://doi.org/10.22430/22565337.2277>

Bell, L., & Williams, C. (2021). Blueberry benefits to cognitive function across the lifespan. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 72(5), 650-652. <https://doi.org/10.1080/09637486.2020.1852192>

Bravo, G., & Herrera, T. (2023). Elaboración de helado dietético de Arándano (*Vaccinium myrtillus*) formulado con aceite y extracto hidrosoluble de Soya (*Glycine max*) [Universidad Nacional de Santa]. En *Repositorio Institucional - UNS*. <http://repositorio.uns.edu.pe/handle/20.500.14278/4341>

Castillo, B. (2022). Bondades nutricionales del aguacate como adición a un alimento tipo helado. *Revista Agrollania de Ciencia y Tecnología*, 21, 99-106. <http://revistas.unellez.edu.ve/index.php/agrollania/article/view/1586>

Chaves, J. (2022). Desarrollo de helados funcionales a partir de aceite de semilla de chía y de calabaza. *Universidad de los Andes Colombia*, 1-10.

Civille, G., Carr, T., & Osdoba, K. (2024). *Sensory Evaluation Techniques* (6.^a ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003352082>

Cvetković, M., Kočić, M., Dabić, D., Ćirić, I., Natić, M., Hajder, Đ., Životić, A., & Fotirić, M. (2022). When Is the Right Moment to Pick Blueberries? Variation in Agronomic and Chemical Properties of Blueberry (*Vaccinium corymbosum*) Cultivars at Different Harvest Times. *Metabolites*, 12(9), 798. <https://doi.org/10.3390/METABO12090798/S1>

Empresas y Management (E&N). (2024). *Se prevé un crecimiento del 2,8 % en industria de helados hasta 2034*. Empresas & Management. <https://www.revistaeyn.com/empresasymanagement/se-preve-un-crecimiento-del-28-en-industria-de-helados-hasta-2034-EH25337021>

Fortune Business Insights. (2024, agosto 25). *Tamaño del mercado de helados, acciones, tendencias, 2032*. Fortune Business Insights. <https://www.fortunebusinessinsights.com/es/ice-cream-market-104847>

García, N., & Alejandro, Y. (2021). Aceptabilidad y actividad antioxidante de jalea de betarraga (*Beta vulgaris*), arándanos (*Vaccinium myrtillus*) y cúrcuma (*Curcuma longa*), fortificado con omega- 3. En *Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión* . <https://repositorio.unjfsc.edu.pe/handle/20.500.14067/5093>

Gonzales, C., & Hurtado, W. (2024). Calidad fisicoquímica y características fisicoquímica, sensorial y nutricional del helado de arándano (*Vaccinium Myrtillus*) y cushuro (*Nostoc Sphaericum*) [Universidad Nacional de Santa]. En *Repositorio Institucional - UNS*.

<http://repositorio.uns.edu.pe/handle/20.500.14278/4592>

Hacıbektaşoğlu, F., & Gündoğdu, E. (2024). Physicochemical, Nutritional, and Antioxidant Properties of Ice Cream Enriched with Red Beetroot (*Beta vulgaris* L.) at Varying Sucrose Levels. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 12(10), 1722-1729. <https://doi.org/10.24925/TURJAF.V12I10.1722-1729.7053>

Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA). (2023). Betarraga. *Beta vulgaris* L. var. *crassa* (Alef.) J. Helm, 1-19. <https://biblioteca.inia.cl/server/api/core/bitstreams/5095238a-41f5-4f78-9761-e1de1456fd04/content>

Kaushik, P. (2023). *Advances in root vegetables research*. 336. https://books.google.com/books/about/Advances_in_Root_Vegetables_Research.html?hl=es&id=i32_EAAAQBAJ

Mauricio, E. (2022). *Efecto de la incorporación de pulpa de mango (Mangifera indica) y camu camu (Myrciaria dubia) en la capacidad antioxidante del helado* [Universidad Nacional De Frontera]. <https://repositorio.unf.edu.pe/server/api/core/bitstreams/cdac76c9-a74b-4026-9e44-5586164d6087/content>

Mercado Latinoamericano de Helado. (2025). *Perspectiva del Mercado Latinoamericano del Helado*. Mercado Latinoamericano de Helado. <https://www.informesdeexpertos.com/informes/mercado-latinoamericano-del-helado>

Meza, A., Vázquez, A., Martínez, M., Gonzáles, L., Coronado, J., Barraza, A., Mejía, M., & Mercado, J. (2021). El muestreo y su relación con el diseño metodológico de la investigación. En *Manual de temas nodales de la investigación cuantitativa. Un abordaje didáctico*. (Mexico). <https://centro-investigacion-innovacion-educativa.bravesites.com/files/documents/306aa3ba-3be8-4e59-ab4d-51508f7513c6.pdf#page=82>

Onuh, J., Dawkins, N., & Aluko, R. (2023). Cardiovascular disease protective properties

of blueberry polyphenols (*Vaccinium corymbosum*): a concise review. *Food Production, Processing and Nutrition*, 5(1), 1-18. <https://doi.org/10.1186/S43014-023-00139-Y/TABLES/2>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2021). *Food security and nutrition in the world the state of transforming food systems for affordable healthy diets*. <https://doi.org/10.4060/ca9692en>

Organización Mundial de la Salud (OMS). (2022). *Reformulation of food and beverage products for healthier diets: policy brief*. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240039919>

Putradamni, A., & Pramitasari, R. (2024). Formula optimization, physicochemical characterization, and sensory evaluation of beetroot-based blended frozen dessert. *Food Chemistry Advances*, 4, 100672. <https://doi.org/10.1016/J.FOCHA.2024.100672>

Ruiz, C., & Herrero, A. (2021). Sensory Analysis and Consumer Research in New Product Development. *Foods* 2021, Vol. 10, Page 582, 10(3), 582. <https://doi.org/10.3390/FOODS10030582>

Şentürk, G., Akın, N., Konak, Ç., & Denктаş, B. (2024). The effects of blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) and jujube fruit (*Ziziphus jujube*) on physicochemical, functional, and sensorial properties, and probiotic (*Lactobacillus acidophilus* DSM 20079) viability of probiotic ice cream. *Food Science & Nutrition*, 12(4), 2747-2759. <https://doi.org/10.1002/FSN3.3955>

Torrico, D., Mehta, A., & Borssato, A. (2023). New methods to assess sensory responses: a brief review of innovative techniques in sensory evaluation. *Current Opinion in Food Science*, 49, 100978. <https://doi.org/10.1016/J.COFS.2022.100978>

Varshney, K., & Mishra, K. (2022). An Analysis of Health Benefits of Beetroot. *International Journal of Innovative Research in Engineering & Management (IJIREM)*, 9(9),

207-210. <https://doi.org/10.55524/ijirem.2022.9.1.39>

Velotto, S., Parafati, L., Ariano, A., Palmeri, R., Pesce, F., Planeta, D., Alfeo, V., & Todaro, A. (2021). Use of stevia and chia seeds for the formulation of traditional and vegan artisanal ice cream. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 26, 100441. <https://doi.org/10.1016/J.IJGFS.2021.100441>

Woldemariam, H., Asres, A., & Gemechu, F. (2022). Physicochemical and sensory properties of ice cream prepared using sweet lupin and soymilk as alternatives to cow milk. *International Journal of Food Properties*, 25(1), 278-287. <https://doi.org/10.1080/10942912.2022.2032733>

Zaldivar, Y., & Montero, J. (2023). Optimization of the production process of artisan ice cream. En *UNED Research Journal* (Vol. 15, Número 1). Universidad Estatal a Distancia, Costa Rica. <https://revistas.uned.ac.cr/index.php/cuadernos/article/view/4603>

AOAC. (2019). *Official methods of analysis* (21st ed.). Association of Official Analytical Chemists.

Goff, H. D., & Hartel, R. W. (2013). *Ice cream* (7th ed.). Springer.

Lawless, H. T., & Heymann, H. (2010). *Sensory evaluation of food: Principles and practices*. Springer.

Marshall, R. T., Goff, H. D., & Hartel, R. W. (2013). *Ice cream* (7th ed.). Springer.

Montgomery, D. C. (2017). *Design and analysis of experiments* (9th ed.). Wiley.

Stone, H., & Sidel, J. L. (2012). *Sensory evaluation practices* (4th ed.). Academic Press.

Agbawodike, J. I., Soler-Sanchez, A. G., Alvi, M. A. U. R., Belteton, S., & Martínez-Monteagudo, S. I. (2026). Mapping structure-function properties of stabilizers in premium ice cream. *LWT*, 239, 118971. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2025.118971>

Farid, M. S., & Łopusiewicz, Ł. (2026). Fermentation-enhanced functional properties of beetroot: From bioactive compounds to novel food products. *Trends in Food Science & Technology*, 167, 105453. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2025.105453>

Fonseca, F. G. A., Esmerino, E. A., Filho, E. R. T., Ferraz, J. P., Cruz, A. G. da, & Bolini, H. M. A. (2016). Novel and successful free comments method for sensory characterization of chocolate ice cream: A comparative study between pivot profile and comment analysis. *Journal of Dairy Science*, 99(5), 3408-3420. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-9982>

Ge, X., Zhou, Y., Li, Q., Tan, Y., Luo, Y., & Hong, H. (2025). Machine learning for food flavor prediction and regulation: Models, data integration, and future perspectives. *Journal of Advanced Research*. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2025.10.018>

Liburdi, K., Crinò, A., Fabrizi, C., & Esti, M. (2025). Preparation and evaluation of sucrose-reduced ice cream: Optimization via physiochemical and sensory study. *International Dairy Journal*, 169, 106339. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2025.106339>

Madan, S., Savani, K., & Johar, G. V. (2025). Over-reliance on aesthetics? The appearance-reveals-character lay theory increases consumers' devaluation of unattractive produce. *International Journal of Research in Marketing*, 42(4, Part B), 1229-1245. <https://doi.org/10.1016/j.ijresmar.2025.06.004>

Mamani, G. H., Sossa, B. M. Q., & Huanca, O. R. T. (2023). Evaluación fisicoquímica y sensorial del helado con tres niveles de yogurt y suero de leche bovina. *CIBUM SCIENTIA*, 2(2), 7-16. <https://doi.org/10.53287/jzki7577nt34b>

Putradamni, A. M., & Pramitasari, R. (2024). Formula optimization, physicochemical characterization, and sensory evaluation of beetroot-based blended frozen dessert. *Food Chemistry Advances*, 4, 100672. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2024.100672>

Sacchi, R., Caporaso, N., Squadrilli, G. A., Paduano, A., Ambrosino, M. L., Cavella, S., & Genovese, A. (2019). Sensory profile, biophenolic and volatile compounds of an artisanal ice cream ('gelato') functionalised using extra virgin olive oil. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 18, 100173. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2019.100173>

Wang, X., Cheng, J., Zhu, Y., Li, T., Wang, Y., & Gao, X. (2024). Intermolecular copigmentation of anthocyanins with phenolic compounds improves color stability in the model and real blueberry fermented beverage. *Food Research International*, 190, 114632. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.114632>

VII. ANEXOS

Anexo 1.

Formulas y estadísticos de supuestos de normalidad

1.1. Normalidad

Hipótesis:

H_0 : Las observaciones se distribuyen normalmente

H_a : Las observaciones no se distribuyen normalmente

Estadístico:

$$\text{Shapiro-Wilk (Wc): } = \frac{b^2}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} < W_{0.95, n}, \text{ Tabular: Se acepta la } H_0 :$$

1.2. Homogeneidad de varianzas

Hipótesis:

H_0 : $\sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \sigma_3^2 = \dots = \sigma_9^2$

H_a : Al menos una σ_i^2 es diferente

Estadístico: F_{MAX} de Hartle

$$F_{MAX} = \frac{\sigma_{Mayot}^2}{\sigma_{Menor}^2} < F_{MAX} (0.95, 9, n) \text{ Se acepta la } H_0 :$$

1.3. Independencia de errores

H_0 : Los ε_{ij} errores no están auto correlacionados

H_a : Los ε_{ij} están auto correlacionados

Estadístico: Durbin-Watson (DW)

$$D = \frac{\sum_{i=2}^t (\varepsilon_t - \varepsilon_{t-1})^2}{\sum_{i=1}^t \varepsilon_i^2} \text{ este valor deberá estar en el intervalo de 1.5 a 3.0}$$

Anexo 2.

Cálculo de eficiencia relativa

$$ER = c + (1-c) \left[\frac{CM_B}{CM_E} \right], \text{ donde: } c = \frac{b(t-1)}{(bt-1)}$$

ER para Sabor:

$$c = \frac{30(9-1)}{(30 \times 9 - 1)} = 0.89$$

$$ER = 0.89 + (0.11)(3.80) = 1.308 > 1$$

Anexo 3.

Tablas de resultados por parámetros fisicoquímicos

	Factor A								
	a_0 (10%)			a_1 (15%)			a_2 (20%)		
Factor B	b_0 (20%)	b_1 (30%)	b_2 (40%)	b_0 (20%)	b_1 (30%)	b_2 (40%)	b_0 (20%)	b_1 (30%)	b_2 (40%)
n ₁	3.8	3.9	3.8	3.6	3.5	3.6	3.8	3.9	4
n ₂	3.7	3.8	3.9	3.7	3.6	3.5	3.7	3.8	3.9
n ₃	3.6	3.9	3.8	3.7	3.7	3.6	3.7	3.9	3.9
n ₄	3.7	3.8	3.9	3.6	3.5	3.5	3.8	3.8	4.0

n = número de repeticiones

De pH:

	Factor A								
	a_0 (10%)			a_1 (15%)			a_2 (20%)		
Factor B	b_0 (20%)	b_1 (30%)	b_2 (40%)	b_0 (20%)	b_1 (30%)	b_2 (40%)	b_0 (20%)	b_1 (30%)	b_2 (40%)
n ₁	6.2	6	6.3	6.3	6.4	6.3	6.4	6.5	6.6
n ₂	6.3	6.1	6.2	6.4	6.3	6.4	6.4	6.5	6.7
n ₃	6.2	6.1	6.1	6.3	6.4	6.3	6.3	6.4	6.6
n ₄	6.2	6	6.2	6.4	6.2	6.2	6.2	6.4	6.7

n = número de repeticiones

Para Densidad

	Factor A								
	a_0 (10%)			a_1 (15%)			a_2 (20%)		
Factor B	b_0 (20%)	b_1 (30%)	b_2 (40%)	b_0 (20%)	b_1 (30%)	b_2 (40%)	b_0 (20%)	b_1 (30%)	b_2 (40%)
n ₁	0.6	0.7	0.6	0.7	0.7	0.7	0.6	0.7	0.6
n ₂	0.7	0.7	0.6	0.6	0.7	0.7	0.5	0.6	0.7
n ₃	0.6	0.6	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	0.7	0.6
n ₄	0.7	0.6	0.6	0.6	0.7	0.6	0.6	0.7	0.6

n = número de repeticiones

Para Brix

	Factor A								
	a_0 (10%)			a_1 (15%)			a_2 (20%)		
Factor B	b_0 (20%)	b_1 (30%)	b_2 (40%)	b_0 (20%)	b_1 (30%)	b_2 (40%)	b_0 (20%)	b_1 (30%)	b_2 (40%)
n ₁	26	27	26	27	28	26	28	27	28
n ₂	27	26	27	26	28	27	28	27	27
n ₃	27	27	26	27	27	27	27	28	28
n ₄	26	27	27	27	27	27	28	27	28

Anexo 4.

Tablas de resultados sensoriales

Para SABOR:

	a_0 (10%)			a_1 (15%)			a_2 (20%)		
	b_0 (20%)	b_1 (30%)	b_2 (40%)	b_0 (20%)	b_1 (30%)	b_2 (40%)	b_0 (20%)	b_1 (30%)	b_2 (40%)
Panelista	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	T ₈	T ₉
01	3	5	4	5	2	5	5	4	3
02	3	4	4	5	5	3	3	4	3
03	3	4	4	4	3	4	4	3	4
04	4	4	3	3	4	4	4	4	4
05	4	4	3	3	4	4	4	4	4
06	2	4	4	5	4	3	3	4	3
07	3	4	4	3	3	3	4	4	4
08	4	4	3	3	3	4	2	4	4
09	4	3	4	5	3	4	3	5	5
10	4	3	3	4	3	4	4	4	4
11	4	4	4	3	3	3	3	4	5
12	5	5	4	5	4	5	4	5	5
13	4	4	4	4	5	5	4	5	5
14	4	4	4	4	4	4	4	5	5
15	4	4	4	3	4	4	4	4	4
16	4	4	5	4	4	4	5	4	5
17	3	4	4	5	5	5	3	5	5
18	4	4	3	5	4	4	4	3	4
19	3	3	3	3	3	3	3	4	4
20	4	5	4	5	4	4	5	4	5
21	2	3	3	3	4	3	3	4	5
22	3	4	2	4	4	3	3	4	5
23	4	4	4	5	5	5	5	5	5
24	4	4	4	3	3	3	3	4	5
25	4	4	4	5	5	5	5	5	5
26	4	4	4	3	3	3	3	4	5
27	1	3	1	2	3	3	3	4	5
28	4	3	4	4	4	4	4	4	4
29	3	5	4	5	4	4	4	3	4
30	4	4	4	4	3	4	5	4	4

Para COLOR:

	a_0 (10%)			a_1 (15%)			a_2 (20%)		
	b_0 (20%)	b_1 (30%)	b_2 (40%)	b_0 (20%)	b_1 (30%)	b_2 (40%)	b_0 (20%)	b_1 (30%)	b_2 (40%)
Panelista	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	T ₈	T ₉
01	4	4	3	4	3	4	5	4	3
02	5	2	2	2	5	2	3	3	2
03	3	4	4	4	3	4	4	3	4
04	3	3	4	4	3	4	4	3	4
05	4	4	3	3	4	4	4	4	4
06	3	2	2	3	4	3	4	4	4
07	3	2	2	3	4	3	4	4	4
08	4	3	4	4	3	3	5	3	3
09	3	4	4	3	4	3	4	4	4
10	5	4	3	4	4	5	3	4	5
11	4	4	4	4	3	3	4	4	4
12	4	4	2	3	2	3	3	3	2
13	4	5	5	5	5	5	4	5	5
14	3	4	4	4	4	5	3	4	4
15	4	4	4	4	4	4	4	5	5
16	4	3	4	4	3	4	4	3	4
17	4	3	3	3	4	4	3	4	4
18	5	4	4	5	5	5	5	5	5
19	4	3	3	4	4	3	4	4	4
20	4	3	4	4	3	4	4	3	4
21	4	4	3	3	3	4	4	3	4
22	4	3	2	5	5	5	3	3	4
23	3	3	4	4	5	4	4	5	5
24	4	4	2	3	2	3	3	3	2
25	3	3	3	4	4	5	4	5	5
26	4	4	2	3	2	3	3	3	2
27	3	3	3	3	4	4	3	4	4
28	4	3	4	4	4	4	4	4	4
29	3	4	3	5	5	3	4	4	3
30	4	3	5	5	3	4	4	3	4

Para OLOR:

	a_0 (10%)			a_1 (15%)			a_2 (20%)		
	b_0 (20%)	b_1 (30%)	b_2 (40%)	b_0 (20%)	b_1 (30%)	b_2 (40%)	b_0 (20%)	b_1 (30%)	b_2 (40%)
Panelista	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	T ₈	T ₉
01	3	4	5	4	4	4	4	5	4
02	2	3	3	4	3	2	2	2	2
03	3	3	3	3	3	3	3	3	3
04	3	3	3	3	3	3	3	3	3
05	3	4	3	3	3	3	3	4	4
06	3	4	4	3	3	3	3	4	3
07	3	4	3	3	3	3	3	3	3
08	3	4	3	3	3	3	3	3	3
09	4	3	3	4	4	3	3	4	4
10	4	3	4	4	3	4	3	4	4
11	3	3	3	3	3	3	4	4	1
12	5	3	5	5	3	5	4	5	5
13	3	4	4	4	4	4	4	4	4
14	3	4	4	4	4	4	5	4	5
15	3	4	4	4	4	4	4	4	4
16	3	3	4	3	3	3	3	3	3
17	3	3	4	3	3	3	3	3	3
18	3	3	4	4	4	4	4	5	5
19	3	2	3	3	4	3	3	4	4
20	3	3	3	3	3	3	3	3	3
21	5	4	4	5	4	5	4	5	5
22	3	3	3	3	3	2	4	4	5
23	4	3	3	3	4	4	3	4	5
24	3	4	4	4	4	3	4	3	5
25	3	3	3	3	3	3	2	3	1
26	2	3	2	2	1	2	2	3	4
27	2	3	4	3	4	4	4	4	4
28	3	5	3	5	4	4	3	3	3
29	3	3	3	3	3	3	4	4	3
30	3	3	3	3	4	4	4	4	4

Para APARIENCIA:

	a_0 (10%)			a_1 (15%)			a_2 (20%)		
	b_0 (20%)	b_1 (30%)	b_2 (40%)	b_0 (20%)	b_1 (30%)	b_2 (40%)	b_0 (20%)	b_1 (30%)	b_2 (40%)
Panelista	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	T ₈	T ₉
01	4	4	3	4	3	5	5	4	4
02	3	4	3	4	5	3	3	4	4
03	3	2	3	4	3	3	3	3	2
04	3	2	2	4	3	2	3	3	3
05	4	3	5	4	3	4	4	5	4
06	3	4	4	4	3	4	3	4	4
07	3	4	4	4	3	4	3	4	4
08	3	4	4	3	3	3	3	3	3
09	4	3	3	4	4	4	3	4	4
10	4	3	3	4	3	3	3	4	4
11	3	2	3	3	2	2	2	2	2
12	4	4	5	5	4	5	4	5	5
13	4	4	3	3	3	4	3	4	4
14	4	4	4	4	4	4	3	5	5
15	5	4	3	4	4	4	4	4	4
16	4	4	4	4	2	3	4	4	4
17	2	2	4	4	5	2	2	4	4
18	4	4	3	4	3	3	3	3	3
19	4	4	5	4	4	4	4	5	5
20	3	2	2	2	3	3	3	3	5
21	3	2	3	3	3	4	2	3	3
22	3	2	3	3	3	2	2	2	3
23	3	2	3	3	2	2	2	3	2
24	3	4	4	4	5	3	4	4	2
25	4	3	4	3	4	3	4	4	4
26	3	4	2	4	3	5	4	5	3
27	4	4	4	5	3	5	5	5	5
28	4	5	4	3	3	2	3	4	4
29	3	4	2	4	3	5	4	5	4
30	5	3	5	5	5	4	4	5	5

Anexo 5.

Proceso de elaboración de un helado con diferentes concentraciones de arándano y betarraga.

1. Recepción de materia prima



2. Pesado de betarraga y arándano



3. Análisis de la leche



4. Limpieza y clasificación de betarraga y arándano



5. Pelado y cortado



6. Pesado de la pulpa y merma



7. Pesado de los insumos



8. Pasteurización y Homogenización



9. Enfriado y maduración



10. Cocción de Arándano y betarraga



11. Batido envasado



12. Incorporación de arándano y betarraga en diferentes concentraciones



13. Almacenamiento



Anexo 6.

Evidencia fotográfica del análisis fisicoquímico a las muestras



Anexo 7.

Evidencia fotográfica de la evaluación sensorial de un helado con diferentes concentraciones de arándano y betarraga.



Anexo 8.

Ficha de análisis sensorial

**FICHA PARA DETERMINAR LA” EVALUACIÓN SENSORIAL DE UN HELADO
CON DIFERENTES CONCENTRACIONES DE ARANDANO Y BETARRAGA” EN
UNA ESCALA HEDÓNICA DE 5 PUNTOS DE ACEPTACIÓN**

FECHA:...../...../2024

SEXO:

RESPONSABLE: Yovana Paola Diaz Ydrogo

INSTRUCCIONES: Frente a usted se presenta nueve muestras de helado con diferentes concentraciones de betarraga y arándano, observe y pruebe cada una de ellas e indique el grado en que le gusta o le disgusta de acuerdo con el puntaje/categoría escriba el número correspondiente a cada muestra.

I. Puntaje	Categoría	Significado			
1	Me disgusta mucho	El sabor, color, olor y apariencia general del helado es extremadamente desagradable, no lo consumiría de nuevo.			
2	Me disgusta	El sabor, color, olor y apariencia general del helado no es agradable, pero podría consumirlo en una situación extrema.			
3	Ni me gusta ni me disgusta	El sabor color, olor y apariencia general del helado es neutral, no me causa placer ni desagrado.			
4	Me gusta	El sabor, color, olor y apariencia general del helado es agradable, disfrutaría consumiéndolo.			
5	Me gusta mucho	El sabor color, olor y apariencia general del helado es extremadamente agradable, es uno de mis favoritos.			
Bloque	Calificación para cada bloque				
	Sabor	Color	Olor	Apariencia general	
T1					
T2					
T3					
T4					
T5					
T6					
T7					
T8					
T9					

Observaciones adicionales:

.....

Anexo 9.

Parámetros de calidad

RESPALDOS NORMATIVOS INTERNACIONALES DE PARÁMETROS DE CALIDAD

Este documento recopila los respaldos normativos internacionales utilizados en la investigación "Evaluación sensorial y fisicoquímica de un helado artesanal de betarraga y arándano". No constituye certificados oficiales emitidos por las entidades, sino un respaldo académico basado en normas y métodos internacionalmente aceptados.

1. Association of Official Analytical Chemists (AOAC)

La AOAC International es una organización reconocida a nivel mundial que establece métodos oficiales para el análisis de alimentos. En esta investigación, los parámetros pH, acidez titulable y sólidos solubles (°Brix) fueron determinados siguiendo los métodos oficiales AOAC, garantizando precisión, validez y reproducibilidad de los resultados.

Parámetros respaldados por AOAC:

- pH en alimentos
- Acidez titulable (%)
- Sólidos solubles (°Brix)

2. International Organization for Standardization (ISO)

La ISO establece normas internacionales para la evaluación sensorial de alimentos. Los atributos sensoriales evaluados en esta investigación se basan en normas ISO y literatura internacional reconocida, asegurando la confiabilidad del análisis sensorial.

Normas ISO aplicables:

- ISO 4121: Análisis sensorial – Escalas de respuesta
- ISO 8586: Selección y entrenamiento de evaluadores sensoriales

3. Literatura científica internacional

Las metodologías sensoriales se sustentan además en textos de referencia internacional como Stone & Sidel (2012) y Lawless & Heymann (2010), ampliamente utilizados en investigaciones científicas sobre evaluación sensorial.

Este respaldo normativo asegura que los parámetros evaluados en la investigación cumplen con estándares internacionales de calidad aceptados académicamente.