

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Escuela Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias

ELABORACIÓN DE UN HELADO A BASE DE LACTOSUERO,
JUGO DE MARACUYÁ (*Passiflora edulis*) Y AZÚCAR
EVALUANDO SU ACEPTABILIDAD SENSORIAL,
CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS
Y REOLÓGICAS

TESIS

Presentada por:

Bach. MARICIELO BARBOZA APOLITANO

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

TACNA - PERÚ

2025

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Escuela Académico Profesional de Ingeniería en Industrias

Alimentarias

TESIS

**“ELABORACIÓN DE UN HELADO A BASE DE LACTOSUERO,
JUGO DE MARACUYÁ (*Passiflora edulis*) Y AZÚCAR
EVALUANDO SU ACEPTABILIDAD SENSORIAL,
CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS
Y REOLÓGICAS”**

TESIS SUSTENTADA Y APROBADA EL 3 DE NOVIEMBRE DEL 2025;
SIENDO EL JURADO CALIFICADOR:

PRESIDENTE :
MSc. ROLANDO CESPEDES ROSSEL

SECRETARIO :
Dr. ABRAHAM ERASMO APAZA CANQUI

VOCAL :
MSc. JUAN ANGULO PACHECO

ASESOR (a) :
Dra. LILIANA DEL CARMEN LANCHIPA BERGAMINI

CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo, Lilitiana del Carmen Lanchipa Bergamini, en mi condición asesor de tesis, acreditada por la Resolución de Facultad N° 9275-2024-FCAG/UNJBG, certifico que el trabajo de tesis titulado ELABORACIÓN DE UN HELADO A BASE DE LACTOSUERO, JUGO DE MARACUYÁ (*Passiflora edulis*) Y AZÚCAR EVALUANDO SU ACEPTABILIDAD SENSORIAL, CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS Y REOLÓGICAS, presentado por el bachiller MARICIELO BARBOZA APOLITANO para optar el título profesional de Ingeniero en Industrias Alimentarias, ha cumplido con lo establecido en el reglamento de originalidad y similitud de trabajos de investigación y producción intelectual.

De acuerdo con la revisión, evaluación y análisis realizados mediante el software de similitud textual TURNITIN, se ha verificado que el trabajo cuenta con un nivel de similitud del 5 %, el cual se encuentra dentro del rango permitido.

Por lo tanto. **CERTIFICO QUE LA SIMILITUD** del **TRABAJO MONOGRÁFICO** está conforme con el nivel **PERMITIDO**, pudiendo continuar con los trámites correspondientes y su publicación en el repositorio institucional.

Se emite el presente certificado con el fin de continuar con los trámites respectivos para la obtención del título profesional.




ASESOR (a) Dra. Lilitiana del Carmen Lanchipa Bergamini
DNI: 00427136
ORCID: 0000-0003-0732-7172




Bach. MARICIELO BARBOZA APOLITANO
DNI: 75317727

DEDICATORIA

A Dios por acompañarme en cada momento de la vida, por enseñarme que todo tiene su tiempo y que con su amor puedo sentirme segura en todo momento.

A mi querido padre Humberto Choque y mis queridas madres María Huamán y María Apolitano por su paciencia, amor y apoyo incondicional, a través de todos estos años, donde me enseñaron lo que es el esfuerzo, la disciplina y la constancia.

Y a mi hermanito Rodrigo por motivarme siempre.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por estar presente en el desarrollo de este trabajo, a través de su consuelo, fortaleza y ánimos recibidos.

A la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann por darme la oportunidad de estudiar, ser una profesional y una Basadrina de corazón.

Y a todos aquellas docentes, amigos y demás personas que supieron brindarme su apoyo y conocimientos teóricos y prácticos hacia mi persona durante el desarrollo de esta investigación, muchas gracias.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xiv
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: EL PROBLEMA	3
1.1 Planteamiento del problema	3
1.2 Formulación y sistematización del problema.....	5
1.3 Delimitación de la investigación	5
1.4 Justificación	6
1.5 Limitaciones.....	7
1.6 Objetivos.....	7
CAPÍTULO II: HIPÓTESIS Y VARIABLES	9
2.1 Hipótesis generales y específicas	9
2.2 Diagrama de variables	9
2.3 Indicadores de las variables	10
2.3.1 Variables independientes	10
2.3.2 Variables dependientes	11
2.3.3 Operacionalización de variables	11
CAPÍTULO III: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	12

3.1	Antecedentes.....	12
3.2	Base teórica.....	16
3.2.1	El helado	16
3.2.2	Helados a base de suero y frutas	19
3.2.3	El lactosuero, composición.....	21
3.2.4	Las proteínas del suero.....	22
3.2.5	Propiedades tecnofuncionales del lactosuero.....	24
3.2.6	El sistema graso, proteína y estabilizantes en el helado	26
3.2.7	El maracuyá	27
3.2.8	La escala hedónica	29
3.2.9	La reología del helado.....	29
3.2.10	Los diseños de mezclas en el desarrollo de alimentos	31
3.2.11	La superficie de respuesta en la industria alimentaria	32
3.3	Base conceptual	34
CAPÍTULO IV: METODOLÓGIA DE LA INVESTIGACIÓN.....		36
4.1	Tipo de investigación	36
4.1.1	Unidad de estudio	36
4.1.2	Población y muestra.....	36
4.2	Método	38
4.2.1	Diseño procedimental.....	38
4.2.2	Procedimientos de investigación	42

4.2.3	Instrumentos de medición	43
4.2.4	Recursos materiales.....	44
4.2.5	Recolección de datos	45
4.2.6	Análisis de datos	45
CAPÍTULO V: TRATAMIENTO DE RESULTADOS.....		46
5.1	Resultados.....	46
5.1.1	Efecto del lactosuero, maracuyá y azúcar sobre las características fisicoquímicas del helado	46
5.1.2	Efecto del lactosuero, jugo de maracuyá y azúcar sobre las características reológicas del helado.	53
5.1.3	Efecto del suero, jugo de maracuyá y azúcar sobre las características sensoriales	57
5.1.4	Optimización	68
5.1.5	El flujo definitivo	72
5.2	DISCUSIÓN	80
5.2.1	Características fisicoquímicas	80
5.2.2	Viscosidad.....	83
5.2.3	Características sensoriales	85
CONCLUSIONES.....		96
RECOMENDACIONES		97
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		98

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de variables para el estudio del helado de maracuyá	10
Figura 2. Grasa, proteína y emulsificantes en el helado	26
Figura 3. Diseño experimental para la evaluación del helado de maracuyá.....	38
Figura 4. Tratamientos o muestras de helado batidas y congeladas (a -5°C)	41
Figura 5. Medición de las características reológicas del helado (mezcla base a 19 °C y helado a 11 °C)	42
Figura 6. Curvas de nivel para los componentes lactosuero de quesería (%), maracuyá (%) y azúcar de caña (%) sobre los grados Brix del helado	48
Figura 7. Curvas de nivel para los componentes Lactosuero de quesería (%), Maracuyá (%) y azúcar de caña (%) sobre la acidez del helado.....	51
Figura 8. Curvas de nivel para los componentes lactosuero de quesería (%), maracuyá (%) y azúcar de caña (%) sobre las proteínas del helado	53

Figura 9. Curvas de nivel para los componentes lactosuero de quesería (%), maracuyá (%) y azúcar de caña (%) sobre la viscosidad del helado	56
Figura 10. Curvas de nivel para los componentes lactosuero de quesería (%), maracuyá (%) y azúcar de caña (%) sobre aceptabilidad de la apariencia.....	59
Figura 11. Curvas de nivel para los componentes lactosuero de quesería (%), maracuyá (%) y azúcar de caña (%) sobre aceptabilidad del olor	60
Figura 12. Curvas de nivel para los componentes lactosuero de quesería (%), maracuyá (%) y azúcar de caña (%) sobre aceptabilidad del sabor	62
Figura 13. Curvas de nivel para los componentes lactosuero de quesería (%), maracuyá (%) y azúcar de caña (%) sobre aceptabilidad del color	64
Figura 14. Curvas de nivel para los componentes lactosuero de quesería (%), maracuyá (%) y azúcar de caña (%) sobre aceptabilidad de la textura	67
Figura 15. Curvas de nivel para los componentes lactosuero de quesería (%), maracuyá (%) y azúcar de caña (%) para las condiciones optimas.....	69

Figura 16. Flujo optimizado de elaboración del helado de lactosuero con maracuyá	73
Figura 17. Perfil sensorial del helado de maracuyá optimizado	74
Figura 18. Helado optimizado de lactosuero y maracuyá.....	78
Figura 19. Análisis reológico del helado optimizado.....	76

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización para el estudio del helado	11
Tabla 2. Composición de las proteínas del suero de leche	23
Tabla 3. Propiedades tecnofuncionales del lactosuero	25
Tabla 4. Composición nutricional de 100 g de jugo de maracuyá	28
Tabla 5. Niveles las variables independientes del helado	37
Tabla 6. Tratamientos según el diseño de mezclas con restricciones (vértices extremos) para 3 componentes	37
Tabla 7. Resultados del análisis fisicoquímico de las muestras del helado en estudio	46
Tabla 8. Resultados del análisis reológico de las muestras de helado en estudio.....	54
Tabla 9. Resultados del análisis sensorial de las muestras del helado en estudio.....	57
Tabla 10. Optimización numérica de las variables en estudio para la elaboración del helado de maracuyá.....	68
Tabla 11. Velocidad de corte y viscosidad aparente de la mezcla base del helado optimizado.....	76

Tabla 12. Composición proximal de las principales materias primas y el helado optimizado	78
Tabla 13. Balance de materia	79

RESUMEN

El objetivo general de esta investigación fue determinar las condiciones óptimas de elaboración de un helado funcional utilizando lactosuero, jugo de maracuyá y azúcar, evaluando sus características fisicoquímicas, reológicas y aceptabilidad sensorial. La metodología empleada fue experimental, con un diseño de mezclas de vértices extremos para los tres ingredientes y análisis mediante la Metodología de Superficie de Respuesta (MSR). Las concentraciones de ingredientes se trataron como variables independientes, y las propiedades del helado como dependientes. Los resultados indicaron que los componentes afectaron significativamente las características fisicoquímicas como grados Brix y acidez, y tuvieron influencia en la viscosidad, aunque el modelo reológico no fue estadísticamente significativo. La aceptabilidad sensorial se evaluó para apariencia, olor, sabor, color y textura. La optimización múltiple según respuestas sensoriales identificó una mezcla óptima de 23 % lactosuero, 31% maracuyá y 23 % azúcar, que maximizó la aceptación general con una deseabilidad de 0,796 asimismo se caracteriza por su bajo contenido en grasa (2,52 %) y un rendimiento del 85 %.

Palabras clave: lactosuero, jugo de maracuyá, aceptabilidad sensorial.

ABSTRACT

The overall objective of this research was to determine the optimal production conditions for a functional ice cream using whey, passion fruit juice, and sugar, evaluating its physicochemical, rheological, and sensory acceptability characteristics. The methodology employed was experimental, with an extreme vertex mixture design for the three ingredients and analysis using the Response Surface Methodology (RSM). Ingredient concentrations were treated as independent variables, and ice cream properties as dependent variables. The results indicated that component concentrations significantly affected physicochemical characteristics such as Brix and acidity, and influenced viscosity, although the rheological model was not statistically significant. Sensory acceptability was evaluated for appearance, odor, flavor, color, and texture. Multiple optimization based on sensory responses identified an optimal blend of 23% whey, 31% passion fruit, and 23 % sugar, which maximized overall acceptance with a desirability of 0,796 and is also characterized by its low fat content (2,52%) and 85% yield.

Keywords: whey, passion fruit juice, sensory acceptability.

INTRODUCCIÓN

El suero de leche, obtenido durante la producción de queso, se presenta en dos tipos: dulce y ácido, conservando aproximadamente el 55% de los nutrientes de la leche. A pesar de sus nutrientes, el suero es considerado un residuo problemático debido a que por cada 10 litros de leche se producen 9 litros de suero, generando desafíos ambientales. Sin embargo, diversas técnicas como la hidrólisis química, fermentación, acción enzimática, ultrasonido y tratamiento térmico han demostrado ser efectivas para convertir las proteínas del suero en péptidos bioactivos. Estos péptidos poseen propiedades funcionales como antihipertensivas, antivirales, anticancerígenas, inmunitarias y antioxidantes, brindando beneficios al sistema cardiovascular, digestivo, endocrino, inmunológico y nervioso (León-López et al., 2022).

Por otro lado Genovese et al. (2022) sostienen que el creciente interés por los alimentos que promueven la salud y la nutrición ha impulsado a los investigadores y a la industria alimentaria a desarrollar helados innovadores y funcionales.

Dado que el helado es el producto lácteo congelado más popular, tiene un gran potencial para mejorar la dieta de las personas al reducir la ingesta de ciertos nutrientes que aumentan el riesgo de obesidad y otras enfermedades. Además, puede aportar componentes beneficiosos y esenciales. Sin embargo, es crucial que la reducción o eliminación de ingredientes comunes del helado, o la adición de ingredientes poco comunes, no afecte las características sensoriales ni la estabilidad de almacenamiento del producto. Por lo tanto, para mantener el atractivo del helado, la industria alimentaria enfrenta desafíos continuos, ya que el helado funcional debe ser tanto sabroso como saludable (Genovese et al., 2022).

Asimismo Oliveira et al. (2017) afirman que las mezclas son cruciales en la industria alimentaria, donde la formulación de un producto depende de la selección de ingredientes y, especialmente, de sus proporciones. Este concepto de "proporciones" es clave para optimizar mezclas con fines tecnológicos, nutricionales y organolépticos, como aumentar la vida útil, cumplir con requisitos de contenido nutricional o lograr las propiedades sensoriales deseadas.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema

El helado es un producto alimenticio congelado de alta demanda a nivel mundial, caracterizado como un postre semisólido elaborado con mezclas de leche, grasa, azúcar y diversos aditivos (Bahramparvar & Mazaheri, 2011). Su consumo generalizado lo convierte en una plataforma idónea para el desarrollo de alimentos funcionales. No obstante, cada ingrediente utilizado en su formulación puede modificar significativamente los atributos fisicoquímicos, reológicos y sensoriales del producto (Patel et al., 2006). En este contexto, la reología desempeña un papel clave, ya que el equilibrio entre viscosidad, elasticidad y textura determina la experiencia de consumo (Kurt et al., 2016).

En paralelo, el lactosuero constituye un subproducto de la industria quesera que representa hasta el 90 % del volumen inicial de la leche, conservando cerca del 55 % de sus nutrientes (León-López et al., 2022). A pesar de su riqueza proteica, su acumulación sin tratamiento adecuado lo convierte en un contaminante ambiental de difícil manejo (Moatsou & Moschopoulou, 2022). Al mismo tiempo, este subproducto ha despertado

interés por su potencial funcional, ya que puede aportar beneficios nutricionales. Sin embargo, también se reporta que podría alterar negativamente propiedades organolépticas, como el color y el sabor, generando notas amargas indeseables (Salem et al., 2016).

Aunque el uso del lactosuero ha sido explorado en bebidas y yogures (Oliveira et al., 2017), su aplicación en helados aún es incipiente. En particular, la combinación con frutas tropicales ácidas como el maracuyá para aprovechar su perfil nutricional y sensorial, no ha sido suficientemente estudiada. Investigaciones como las de Roy et al. (2022) y Salem et al. (2016) analizaron el uso del suero en helados, pero no consideraron la interacción con frutas ni aplicaron diseños de optimización.

En consecuencia, existe una brecha en la literatura científica que justifica evaluar el efecto del lactosuero en conjunto con jugo de maracuyá y azúcar, considerando sus repercusiones sobre propiedades fisicoquímicas, reológicas y sensoriales.

1.2 Formulación y sistematización del problema

Problema general

¿Cuáles son las condiciones óptimas de elaboración de un helado a base de lactosuero, jugo de maracuyá (*Passiflora edulis*) y azúcar evaluando su aceptabilidad sensorial, características fisicoquímicas y reológicas?

Problemas específicos

- i. ¿Cuál es el efecto del lactosuero, maracuyá y azúcar sobre las características fisicoquímicas de un helado?
- ii. ¿Cuál es el efecto del lactosuero, jugo de maracuyá y azúcar sobre las características reológicas de un helado?
- iii. ¿Cuál es la mezcla óptima en la elaboración de un helado a base de lactosuero, maracuyá y azúcar evaluando su aceptabilidad sensorial?

1.3 Delimitación de la investigación

- a) Delimitación temporal: La ejecución de la investigación abarcó el periodo de 12 meses desde el momento de su aprobación.
- b) Delimitación espacial: El estudio se realizó en los laboratorios de análisis fisicoquímico y sensorial de la Escuela Profesional de

Ingeniería en Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann (Tacna, Perú).

- c) Delimitación teórica: El estudio se centra en determinar las condiciones óptimas **de elaboración** del helado a base de lactosuero, la cual será analizada mediante equipo instrumental y panel de catadores semientrenados.

1.4 Justificación

- a) Justificación práctica: Considerando que el lactosuero es un desecho, su emisión se convierte como un potencial contaminante, además considerando su riqueza proteica, no es dable desperdiciar tan valioso recurso y por ello el proponer su forma de aprovechamiento a través del desarrollo de un helado justifica su investigación.
- b) Justificación metodológica: se justifica metodológicamente porque el helado a desarrollar será el resultado de aplicar metodología que buscan optimizar las cualidades que más se deseen maximizar del helado, siendo este resultado capaz de repetirse de manera confiable.
- c) Justificación social: la investigación ofrece una alternativa de aprovechamiento del lactosuero para pequeños productores de

queso quienes podrían diversificar su oferta mediante con un producto innovador y con aceptación en el mercado.

- d) Justificación técnica: este trabajo aporta evidencia sobre la viabilidad de incorporar lactosuero en helados combinados con frutas tropicales, generando conocimiento útil para el desarrollo de nuevos productos en el sector agroalimentario regional.

1.5 Limitaciones

Si bien la investigación alcanzó sus objetivos, se reconoce como limitación el tamaño del panel sensorial, restringido a catadores semientrenados de la universidad, lo que podría limitar la generalización de los resultados a otros segmentos de consumidores. Asimismo, los ensayos se realizaron en condiciones de laboratorio, lo que plantea la necesidad de futuras validaciones a escala piloto e industrial.

1.6 Objetivos

Objetivo general

Determinar las condiciones óptimas de elaboración de un helado a base de lactosuero, jugo de maracuyá (*Passiflora edulis*) y azúcar evaluando su aceptabilidad sensorial, características fisicoquímicas y reológicas.

Objetivos específicos

- i. Determinar el efecto del lactosuero, maracuyá y azúcar sobre las características fisicoquímicas de un helado.

- ii. Explicar el efecto del lactosuero, jugo de maracuyá y azúcar sobre las características reológicas de un helado.

- iii. Establecer la mezcla óptima en la elaboración de un helado a base de lactosuero, maracuyá y azúcar que maximiza su aceptabilidad sensorial.

CAPÍTULO II. HIPÓTESIS Y VARIABLES

2.1 Hipótesis generales y específicas

Hipótesis general

Las concentraciones de lactosuero, jugo de maracuyá (*Passiflora edulis*) y azúcar influirán sobre la aceptabilidad sensorial, características fisicoquímicas y reológicas de un helado.

Hipótesis específicas

- i. Las concentraciones de lactosuero, maracuyá y azúcar afectaran las características fisicoquímicas del helado.
- ii. Las concentraciones de lactosuero, maracuyá y azúcar afectaran las características reológicas de un helado.
- iii. La mezcla de lactosuero, maracuyá y azúcar permitirá optimizar la aceptabilidad sensorial del helado.

2.2 Diagrama de variables

La Figura 1 muestra las variables independientes y dependientes a través de las relaciones Causa-Efecto (Flechas): Las flechas que conectan las causas con el efecto indican que se está investigando cómo cada una

de estas concentraciones influye en la aceptabilidad sensorial, las características fisicoquímicas y las características reológicas del helado.

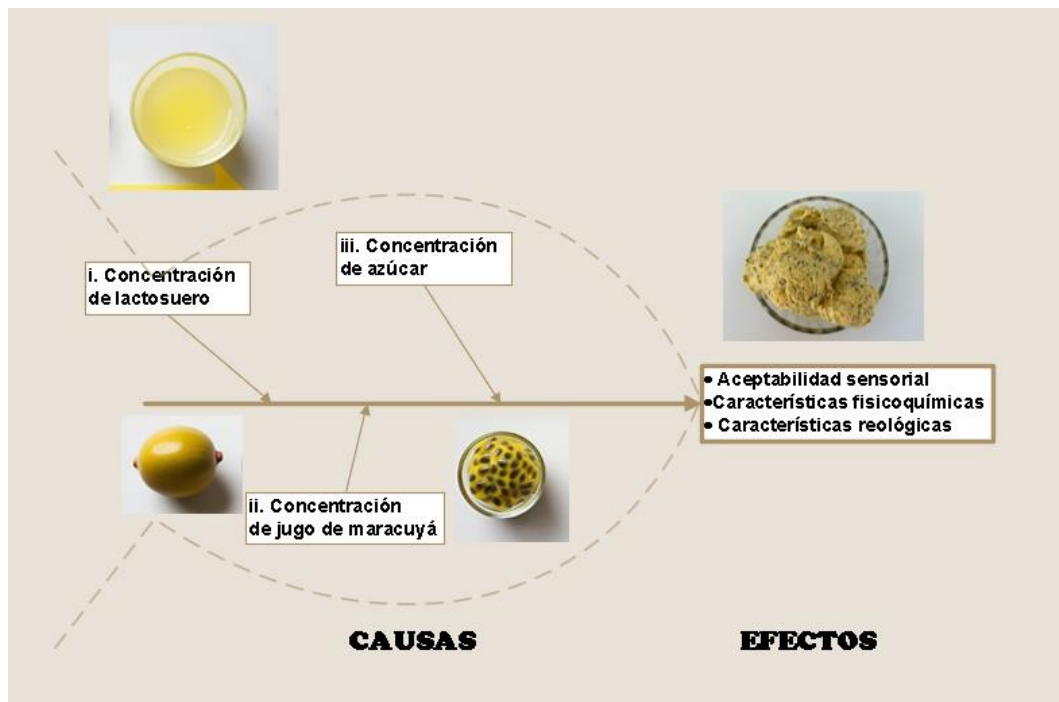


Figura 1. Diagrama de variables para el estudio del helado de maracuyá
Fuente: Elaboración propia (2025)

2.3 Indicadores de las variables

2.3.1 Variables independientes

- i. Concentración de lactosuero
- ii. Concentración de jugo de maracuyá
- iii. Concentración de azúcar

2.3.2 Variables dependientes

- Aceptabilidad sensorial
- Características fisicoquímicas
- Características reológicas

2.3.3 Operacionalización de variables

La Tabla 1 muestra la forma como se operacionalizarán las variables y sus respectivos indicadores para efectuar las respectivas mediciones.

Tabla 1. *Operacionalización para el estudio del helado*

VARIABLES	INDICADORES	UNIDADES	INSTRUMENTO
VARIABLES INDEPENDIENTES			
Lactosuero	Concentración de lactosuero	%	Probeta
Maracuyá	Concentración de jugo de maracuyá	%	Probeta
Azúcar	Concentración de azúcar	%	Balanza
VARIABLES DEPENDIENTES			
Aceptabilidad sensorial	Aceptabilidad sensorial del color, olor sabor y consistencia	--	Ficha en escala hedónica de 9 puntos
Características fisicoquímicas	Sólidos solubles	°Bx	Refractómetro
	Acidez total	% ácido láctico	Equipo volumétrico
	Proteínas	%	Método Biuret
Características reológicas	Viscosidad	cP	Viscosímetro de brokfield

Fuente: Elaboración propia (2025)

CAPÍTULO III

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

3.1 Antecedentes

Roy et al. (2022) en el estudio titulado “Atributos de calidad de helado de alto contenido proteico elaborado mediante la incorporación de aislado de proteína de suero”. Metodología: Evaluaron el efecto de aumentar el contenido de proteína en helado de leche de búfala al 6%, 8% y 10% utilizando aislado de proteína de suero. Variables independientes: Concentración de proteína (6%, 8%, 10%). Variables dependientes: Índice de comportamiento de flujo, coeficiente de consistencia, módulos de pérdida y almacenamiento, exceso de volumen, dureza instrumental, velocidad de fusión, distribución del tamaño de partícula, atributos sensoriales. Conclusión: El diseño experimental permitió observar cómo el aumento de la proteína afecta diversas propiedades reológicas, físicas y sensoriales del helado, demostrando una relación directa entre la concentración de proteína y los cambios en las propiedades del producto. Este hallazgo confirma el potencial del suero como ingrediente funcional. No obstante, su aplicación práctica requiere un control preciso para evitar efectos indeseables como el aumento excesivo de la viscosidad o una textura arenosa, lo cual puede comprometer la aceptabilidad del producto final.

Oliveira et al. (2017) en el estudio titulado “Desarrollo y optimización de una bebida mixta a base de suero de leche y extracto de soja soluble en agua con sabor a chocolate utilizando un diseño simplex-centroide” Metodología: Aplicaron un diseño simplex-centroide para desarrollar una bebida de chocolate combinando suero de leche y extracto de soja soluble en agua. Variables independientes: Diferentes concentraciones de espesantes (carragenina, pectina y almidón, hasta 500 mg/100 mL). Variables dependientes: Propiedades fisicoquímicas, reológicas y sensoriales de las bebidas. Optimización: La metodología de superficie de respuesta encontró la mejor combinación de espesantes con un alto índice de deseabilidad (0,92). Conclusión: El uso del diseño y la metodología de superficie de respuesta permitió identificar la formulación óptima para la bebida con una alta aceptación sensorial y buena intención de compra.

Este estudio valida el uso de suero en formulaciones complejas, mostrando que el diseño experimental no solo permite modelar respuestas múltiples, sino también maximizar calidad sensorial.

Canıylmaz et al. (2016) en el estudio titulado “Optimización de los ingredientes de formulación y del tiempo de maduración para el procesamiento de helados mediante un enfoque de diseño combinado” Metodología: Utilizaron un diseño combinado que integra el diseño de

mezcla y el factor de proceso para estudiar los efectos de diversos estabilizadores en las propiedades sensoriales del helado. Variables independientes: Combinaciones de estabilizadores y tiempo de maduración. Variables dependientes: Evaluación sensorial del sabor-olor, color-apariencia, textura-consistencia y aceptación general. Optimización: Usaron el algoritmo Nelder-Mead Simplex para identificar las mejores formulaciones basadas en la deseabilidad. Conclusión: El diseño experimental permitió optimizar la proporción de ingredientes y el tiempo de maduración para mejorar las propiedades sensoriales del helado.

El estudio destaca que, en helados con ingredientes no convencionales como el lactosuero la interacción entre factores de formulación y proceso es clave en la calidad final.

Granato et al. (2012) en el estudio titulado “Evaluación de la aceptabilidad sensorial y estabilidad física de un postre prebiótico a base de soya desarrollado con jugo de maracuyá” Metodología: Utilizaron un enfoque de diseño factorial para desarrollar un postre prebiótico a base de soya con jugo de maracuyá. Variables independientes: Diferentes combinaciones de proteína de soya (SP), oligofructosa y jugo de maracuyá (PFJ). Variables dependientes: Gusto general, cremosidad, sabor y color, capacidad de retención de agua (WHC) y retrodispersión (BS). Conclusión:

El diseño factorial permitió identificar combinaciones de ingredientes que maximizaron tanto la estabilidad física como la aceptabilidad sensorial del postre.

Este resultado respalda el uso del maracuyá como saborizante funcional. Sin embargo, la base de soya difiere tecnológicamente del suero lácteo, por lo que es necesario adaptar las proporciones y condiciones de procesamiento.

Salem et al. (2016) en la investigación titulada “Efecto de la sustitución parcial de grasa por proteína de suero, avena, germen de trigo y almidón modificado sobre las propiedades sensoriales, la viscosidad y la actividad antioxidante de un helado bajo en grasa” Metodología: Evaluaron el efecto de la sustitución parcial de grasa por proteína de suero, avena, germen de trigo y almidón modificado en helado bajo en grasa. Variables independientes: Sustitución de 1% y 2% de grasa con WP, OT, WG y MS. Variables dependientes: Contenido de fibra, actividad antioxidante, propiedades sensoriales y viscosidad. Conclusión: El diseño experimental permitió demostrar que es posible crear un helado bajo en grasa, alto en fibra y con elevada actividad antioxidante, identificando las combinaciones de ingredientes que mejoraron las propiedades sensoriales y físicas del helado.

El estudio evidencia que, aunque el suero es valioso tecnológicamente, debe usarse con precaución para no comprometer la estabilidad sensorial del producto.

Los estudios mencionados utilizaron diferentes metodologías de diseño experimental (diseño simplex-centroide, diseño combinado, diseño factorial) para evaluar y optimizar formulaciones para helados. Estas metodologías permiten identificar las relaciones entre las variables independientes (ingredientes y sus concentraciones) y las variables dependientes (propiedades físicas, reológicas, sensoriales y nutricionales), proporcionando un enfoque sistemático para desarrollar productos con características deseables y alta aceptación por parte de los consumidores.

3.2 Base teórica

3.2.1 El helado

a) Desde el punto de vista físico

Físicamente, el helado es un sistema coloidal multifásico. Esto significa que es una **mezcla heterogénea** compuesta por varias fases, tal como lo describe la literatura especializada en ciencia de los alimentos:

- **Una solución verdadera:** Los azúcares (sacarosa, lactosa) y las sales minerales están disueltos en el agua de la leche/crema. Esta es la fase continua.
- **Una emulsión:** Pequeñas gotas de grasa (de la leche y la nata) están dispersas e inmiscibles en la fase acuosa. Los emulsionantes (como la lecitina de la yema de huevo) estabilizan esta mezcla. La estabilidad de esta emulsión es crítica para la textura final (Goff, 1997).
- **Una espuma:** Durante el batido, se incorporan burbujas de aire, lo que le da su textura esponjosa y cremosa. El aire puede constituir hasta el 50% del volumen del helado, siendo un factor clave en su rendimiento y percepción de ligereza (Clarke, 2012).
- **Una suspensión:** Pequeños cristales de hielo y, a veces, partículas sólidas como frutas, nueces o trozos de chocolate están suspendidos en la mezcla. El tamaño de estos cristales de hielo, típicamente entre 40 y 50 μm , es determinante para una textura suave (Drewett & Hartel, 2007).

Es decir, el helado es una mezcla heterogénea que combina una solución, una emulsión, una espuma y una suspensión, todo al mismo tiempo. Se le clasifica específicamente como un "aerosol semi-sólido" o una "espuma congelada" debido a su estructura única (Goff et al., 2025).

b) Desde el punto de vista de las propiedades coligativas

Aquí es donde la "solución" dentro del helado toma protagonismo. Las propiedades coligativas dependen únicamente del número de partículas de soluto disueltas en un solvente, no de su identidad (Chang & Goldsby, 2013).

El solvente principal en el helado es el agua. Los solutos disueltos en esta agua (azúcares, sales, etc.) son los responsables de la propiedad coligativa más importante para la fabricación del helado: la depresión del punto de congelación (o descenso crioscópico).

El funcionamiento sucede de la siguiente manera: El agua pura se congela a 0°C. Cuando se disuelve azúcar y otras sustancias en el agua, el punto de congelación de la solución desciende por debajo de 0°C. La magnitud de este descenso (ΔT_f) es proporcional a la molalidad de la solución ($\Delta T_f = K_f m$), lo que explica por qué mezclas más dulces (con más azúcar) son más blandas a la misma temperatura, porque un punto de congelación más bajo se traduce en menos hielo a una temperatura dada (Chang & Goldsby, 2013) y esto incide en:

La textura cremosa: Al bajar el punto de congelación, no toda el agua se convierte en hielo a la vez cuando enfriamos la mezcla. En su lugar, se forman millones de cristales de hielo muy pequeños. Si no fuera por este efecto, se formarían unos pocos cristales grandes, dando una textura

granulosa y desagradable, como un hielo raspado. El control de la cinética de congelación es esencial para obtener la microestructura deseada (Drewett & Hartel, 2007).

Punto de endurecimiento: El helado sale de la máquina mantecadora a una temperatura donde aún es blando (por ejemplo, -5°C). Luego se endurece en un congelador a -18°C . A esta temperatura, la "solución" restante, que es muy concentrada (ya que gran parte del agua se ha congelado), se vuelve un jarabe viscoso o una fase vítrea que une los cristales de hielo y las burbujas de aire, dándole la consistencia final. La cantidad de agua no congelada a una temperatura dada es una función directa de las sales y azúcares disueltos (Goff et al., 2025).

3.2.2 Helados a base de suero y frutas

De acuerdo con Danesh et al. (2017) las proteínas del suero lácteo pueden sustituir la grasa en la producción de helado. Estas proteínas mejoran la textura y el sabor del helado al interactuar con el agua y los compuestos de sabor. Su capacidad para retener agua reduce la formación de hielo y mejora la suavidad del producto final. Además, cuando están desnaturalizadas, forman redes con las micelas de caseína, aumentando la viscosidad de la mezcla y mejorando la resistencia a la fusión.

El helado es una mezcla multifásica convencionalmente basada en leche y que contiene glóbulos de grasa, burbujas de aire, espuma y cristales de hielo dispersos en la fase sérica de proteínas, sales y azúcares (Biasutti et al., 2013). Se le pueden añadir ingredientes para enriquecer y fortificar la formulación, como frutas, semillas o componentes funcionales (probióticos y prebióticos) (Ambrósio-Ugri & Akashi, 2013).

La saborización del helado con maracuyá es interesante desde el punto de vista de la salud, ya que el consumo de esta fruta se asocia con reducciones en los niveles de glicemia, triglicéridos y colesterol (Acham et al., 2018).

Un aspecto importante de la producción de helado de suero es la posibilidad adicional de uso de suero de leche como subproducto de la fabricación de queso. Se demostró que la introducción de ingredientes proteicos en la composición del helado a base de concentrados de suero hidrolizado aumenta significativamente la tixotropía de las mezclas de helado (Panghal et al., 2018).

3.2.3 El lactosuero, composición

Moatsou y Moschopoulou (2022) afirman que, en la formación de la masa del queso, se requiere la eliminación del suero, es decir, el agua y las sustancias solubles de la leche: proteínas, minerales, lactosa y vitaminas. Es bien sabido que el suero, además de ser una grave amenaza ambiental, es un valioso sustrato para la formación de nuevos productos con excelentes actividades funcionales y biológicas.

La composición del lactosuero no es uniforme y varía considerablemente según factores como el tipo de ganado, la dieta del animal, la leche de origen y las técnicas de procesamiento. En términos generales, el lactosuero fresco está compuesto por aproximadamente 94,2% de agua y un 50% de los sólidos totales de la leche original. Los constituyentes principales de estos sólidos incluyen la lactosa (alrededor de 4,3 - 4,4 g/dL o 40 - 50 g/kg), que es el componente más abundante, seguida de proteínas (0,8-1,08 g/dL o 7-14 g/kg), minerales (0,5% o 4-8 g/kg) y grasa (0,1% o 0-5 g/kg) (Shinde et al., 2018).

Existen dos clasificaciones principales de lactosuero: dulce y ácido, que se diferencian por el método de coagulación de la caseína. El lactosuero dulce se obtiene de la coagulación por cuajo y presenta un pH

igual o superior a 5,6. Por otro lado, el lactosuero ácido, resultante de la acidificación directa de la leche, como en la producción de queso cottage o yogur griego, tiene un pH igual o inferior a 5,1 (Madureira et al., 2007; Shinde et al., 2018).

3.2.4 Las proteínas del suero

Boland (2011) indica que las proteínas de suero se presentan comúnmente como concentrados (80% de proteína) y aislados (90% de proteína). Son un subproducto del procesamiento de productos lácteos como el queso y la caseína, y su origen influye en la composición proteica y mineral. Estas proteínas son esenciales nutricionalmente, especialmente en fórmulas infantiles y como fuente de aminoácidos de cadena ramificada para la nutrición muscular. Además, tienen beneficios funcionales como la gelificación, la capacidad de retener agua y estabilizar espumas y emulsiones. Nuevas tecnologías están mejorando su funcionalidad, lo que podría generar nuevos ingredientes de proteína de suero.

Shinde et al. (2018) afirma que las proteínas del lactosuero (Tabla 2) constituyen una mezcla heterogénea y funcionalmente diversa, destacando por su alto valor nutricional y propiedades bioactivas. Su perfil incluye fracciones mayoritarias:

- β -lactoglobulina (45-57%), la más abundante, con peso molecular de 18 400 Daltons, capaz de transportar compuestos lipofílicos.
- α -lactoalbúmina representa aproximadamente el 3,5 % de la leche bovina y el 22 % de la fracción proteica del suero (Layman et al., 2018).
- Glicomacropéptido (GMP) (15-20%), presente solo en suero dulce, con funciones saciantes y cardioprotectoras (Yalçin, 2006).
- Inmunoglobulinas (4-10%) y albúmina sérica bovina (3,5-10%), importante en la defensa inmune.

Tabla 2. Composición de las proteínas del suero de leche

Fracción	Proteína del Suero	Contenido Aproximado [%]	Peso Molecular (Dalton)
Fracción Principal	β -lactoglobulina	45-57	18,4
	α -lactoalbúmina	15-25	14,2
	Albúmina sérica bovina	3,5 - 10	69
	Inmunoglobulinas	4-10	150 000 – 900 000
	Glicomacropéptido (GMP)	15 - 20	700
Fracción Menor	Lactoferrina	3	77
	Lactoperoxidasa	0,4	78
	Lisozima	Trazas	14
	Factores de crecimiento	Trazas	7 000 – 8 000

Fuente: Shinde et al. (2018)

Entre las fracciones minoritarias (<4%) figuran la lactoferrina (antimicrobiana), lactoperoxidasa (antibacteriana), lisozima y factores de crecimiento, todas con roles biológicos específicos. Esta composición única, con pesos moleculares que oscilan entre 700 y 900 000 Daltons, confiere al lactosuero propiedades emulsionantes, gelificantes y antioxidantes, fundamentales para aplicaciones en alimentos funcionales, nutracéuticos e ingredientes industriales (Shinde et al., 2018).

3.2.5 Propiedades tecnofuncionales del lactosuero

Las propiedades tecnofuncionales del lactosuero hacen referencia a cómo sus componentes (especialmente las proteínas) se comportan y contribuyen tecnológicamente en la elaboración de alimentos, más allá de su valor nutricional. En otras palabras, es el conjunto de características que permiten al lactosuero modificar textura, estabilidad, estructura y otras cualidades sensoriales o físicas en matrices alimentarias (Aponte et al., 2023).

Las propiedades tecnofuncionales del lactosuero han sido descritas por diversos autores en función de la estructura molecular de sus proteínas y su comportamiento en matrices alimentarias. Por ejemplo, la capacidad de emulsificación y formación de geles ha sido ampliamente estudiada por

Smithers, (2008), mientras que Mazorra y Moreno (2019) y Aponte et al. (2023) y Colmenares et al. (2023) destacan su utilidad en aplicaciones funcionales como bebidas, helados y productos cárnicos. La retención de agua y formación de espuma han sido documentadas por Chacón et al. (2017) en el contexto de formulaciones panificadas y postres aireados.

Tabla 3. Propiedades tecnofuncionales del lactosuero

Propiedad	Descripción técnica	Aplicaciones comunes
Solubilidad ¹	Alta en pH neutro; permite fácil dispersión en soluciones	Bebidas proteicas, fórmulas infantiles
Emulsificación ²	Capacidad para estabilizar mezclas de aceite/agua	Aderezos, postres lácteos, helados
Formación de geles ²	Proteínas como β -lactoglobulina pueden formar estructuras gelificadas	Yogures, dulces, imitaciones de carne
Retención de agua ³	Aporta jugosidad y reduce sinéresis	Embutidos, panes, productos congelados
Formación de espuma ³	Genera estructuras aireadas y estables	Postres batidos, merengues
Capacidad de espesamiento ⁴	Incrementa viscosidad de sistemas fluidos	Cremas, sopas, batidos

Fuente: Mazorra y Moreno (2019) ¹, Smithers (2008) ²; Chacón et al. (2017) ³, Aponte et al. (2023)

3.2.6 El sistema graso, proteína y estabilizantes en el helado

En la elaboración del helado, la grasa no se separa del agua debido a las proteínas de la leche y los emulsionantes. Las proteínas forman una membrana en las gotas de grasa, evitando que se unan (Figura 2). Los emulsionantes permiten que la grasa se mezcle con el agua, pero también ayudan a desemulsionar parte de la grasa para capturar aire. El aire incorporado durante la fabricación afecta la densidad y rapidez de derretido del helado, siendo los de mayor calidad los que contienen menos aire (Brunning, 2015).

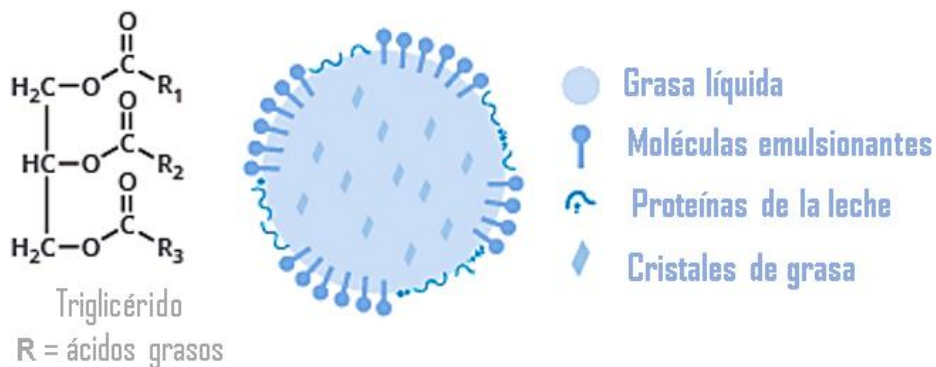


Figura 2. Grasa, proteína y emulsificantes en el helado

Fuente. Brunning (2015)

Las grasas son importantes para la cremosidad del helado. Las proteínas de la leche forman una membrana alrededor de las gotitas de grasa, lo que dificulta que entren en contacto entre sí. Los emulsionantes reemplazan parte de la proteína de la leche en la superficie de la gotita de

grasa. A medida que se elabora el helado, parte de la grasa de la gotita se solidifica y las "agujas" de grasa que se forman ayudan a que las gotitas se agrupen parcialmente. Estas agrupaciones, junto con las proteínas de la leche, ayudan a estabilizar las burbujas de aire en el helado (Brunning, 2015).

Mykhalevych et al. (2024) afirman que la adición de ingredientes de proteína de suero en la composición del helado es apropiada no solo con el propósito de expandir la gama de productos enriquecidos con proteínas sino también para prevenir la congelación excesiva de agua libre en mezclas y helado durante el procesamiento a baja temperatura; para asegurar la formación de burbujas de aire finamente dispersas en el espesor del producto durante la congelación; y para proporcionar al producto características atractivas para el consumidor mejorando la resistencia a la fusión, el desbordamiento y el sabor.

3.2.7 El maracuyá

La planta de maracuyá es una trepadora originaria de América del Sur y países del norte de África. Son abundantes en Argentina, Australia, Brasil, India, Indonesia, Vietnam y otros. Las frutas son de temporada; Los frutos inmaduros son verdes, mientras que los frutos maduros son de color crema a amarillo a violeta oscuro, con una piel fina, suave y firme, con una pulpa

dulce, aromática y jugosa, con pequeñas semillas cubiertas de mucílago (Bhat & Paliyath, 2016).

Los frutos maduros se utilizan para preparar jugos o se consumen directamente con adición de un poco de azúcar. Sin embargo, el maracuyá tiene amplias aplicaciones en el mercado y se utiliza como agente aromatizante en la preparación de pasteles, helados, mermeladas, postres, batidos, etc. Desde el punto de vista nutricional (Tabla 4), la fruta es una rica fuente de fibra dietética, vitamina C y licopeno.

Tabla 4. Composición nutricional de 100 g de jugo de maracuyá

Componente	Valor
Agua (g)	85,62
Energía (kcal)	51,00
Proteínas (g)	0,39
Grasas totales (g)	0,05
Carbohidratos (g)	13,69
Fibras (g)	0,20
Azúcares (g)	13,40

Fuente: Jiménez (2010)

Se sabe que las subfracciones y los componentes flavonoides de la fruta exhiben propiedades ansiolíticas (contra la ansiedad). Se informa que la ingesta oral de extracto de cáscara de maracuyá morada reduce el dolor y la rigidez además de mejorar la función física en personas que padecen osteoartritis de rodilla (Bhat & Paliyath, 2016).

3.2.8 La escala hedónica

Según Stone et al. (2021) para medir el gusto y la preferencia por un producto, la escala hedónica de 9 puntos es probablemente el método sensorial más útil. Este método ocupa un nicho único para la evaluación sensorial. Desde su desarrollo se ha utilizado ampliamente con una amplia variedad de productos y todavía se utiliza hoy en día con un éxito considerable. La escala es fácilmente comprensible para los consumidores novatos con una instrucción mínima, los resultados han demostrado ser notablemente estables y las diferencias de productos (en cuanto al gusto) son reproducibles con diferentes grupos de sujetos. No es sorprendente que la escala hedónica de 9 puntos sea utilizada ampliamente por muchas empresas en todo el mundo con un éxito considerable en términos de confiabilidad y validez de los resultados. Aunque se siguen planteando preguntas sobre la escala o se presentan estudios que afirman la superioridad de algún método alternativo, pero no se ha demostrado ninguna evidencia de la superioridad de algún método alternativo, y la mayoría de los profesionales utilizan la escala hedónica de 9 puntos.

3.2.9 La reología del helado

El helado es un sistema alimenticio complejo formado por agua, grasa, azúcar y proteína, que se mezclan en proporciones específicas y se

someten a un proceso de congelación. La forma en que estos componentes interactúan y se comportan en diferentes condiciones y pasos de procesamiento determina las propiedades reológicas del helado (Karaca et al., 2009).

La reología del helado es un aspecto crítico para su producción y control de calidad. Las propiedades reológicas más relevantes en helados incluyen la viscosidad, el límite elástico, la tixotropía y la viscoelasticidad. La viscosidad expresa la resistencia del producto al flujo, mientras que el límite elástico indica la fuerza mínima requerida para que la matriz comience a deformarse. La tixotropía, por su parte, se refiere a la disminución de la viscosidad en función del tiempo bajo un esfuerzo constante, lo cual influye en la suavidad percibida durante el consumo. Finalmente, la viscoelasticidad describe la combinación de comportamientos viscosos y elásticos que confieren al helado su estructura característica (Pon et al., 2015).

La evaluación de estas propiedades resulta esencial, pues no solo permite comprender cómo se comporta la mezcla durante el procesamiento y almacenamiento, sino que también posibilita identificar la relación entre formulación y aceptación del producto. En este sentido, el control reológico puede ser determinante para la estabilidad de la espuma, la resistencia a la fusión y la calidad sensorial del helado final (Balthazar et al., 2017).

3.2.10 Los diseños de mezclas en el desarrollo de alimentos

El diseño de experimentos (DoE) es una herramienta estadística que se utiliza para planificar y optimizar experimentos y se considera una tecnología de calidad para lograr la excelencia de los productos (Orives et al., 2014). Entre los diversos diseños experimentales (DE) destacan los diseños de mezcla (MD). En los MD se mezclan dos o más componentes en diferentes proporciones y se registran las características de los productos resultantes. Las respuestas son independientes de los estados físicos, dependiendo únicamente de las proporciones de los ingredientes presentes en las mezclas (Jain et al., 2019).

En los MD, la respuesta depende sólo de la mezcla y no de la cantidad total de la mezcla. La suma de las proporciones de una mezcla en diferentes componentes o ingredientes es siempre 1% o 100% (Hill et al., 2006). En un experimento con q componentes, las proporciones de los ingredientes pueden denotarse por x_1, x_2, \dots, x_q , donde $x_i \geq 0$ para $i = 1, 2, \dots, q$ y $\sum_{i=1}^q x_i = 1$, donde x_i representa la proporción del i -ésimo componente. Esta ecuación elimina un grado de libertad de las proporciones y el espacio factorial es, por lo tanto, un simplex regular ($q - 1$) dimensional (Cornell, 2002).

La optimización de productos se puede lograr con técnicas estadísticas, como los diseños experimentales que se utilizan para minimizar el número de experimentos en el proceso de optimización de productos. Los diseños experimentales de mezclas son útiles para productos alimenticios que requieren más de un ingrediente en los que la suma de los diferentes niveles o proporciones de todos los componentes sea siempre uno o 100% (Rodríguez & Campderrós, 2017).

3.2.11 La superficie de respuesta en la industria alimentaria

La metodología de superficie de respuesta (RSM) se ha empleado como una herramienta estadística para optimizar los parámetros de proceso en la industria alimentaria. Además, establece relaciones entre variables independientes y respuestas mediante ecuaciones de regresión (Ashenafi et al., 2023).

La metodología de superficie de respuesta (RSM) comprende un conjunto de técnicas estadísticas y matemáticas valiosas para desarrollar, mejorar y optimizar procesos. También desempeña un papel crucial en el diseño, desarrollo y formulación de nuevos productos, así como en la mejora de los diseños de productos ya existentes (Myers et al., 2016).

Las aplicaciones más extensas de RSM se encuentran en el mundo industrial, incluida la industria alimentaria, en situaciones en las que múltiples variables de entrada influyen potencialmente en las características de calidad del producto o el proceso. RSM se ha utilizado ampliamente para modelar y optimizar las operaciones de procesamiento de alimentos y la formulación de productos. Las principales operaciones como el secado, la extrusión, la fermentación, el horneado y la cocción, se han modelado y optimizado mediante RSM (Yolmeh & Jafari, 2017).

Por otro lado, la variabilidad biológica y natural en la composición de los alimentos representa una de las principales fuentes de incertidumbre en los modelos, se enfatiza que, para hacer predicciones precisas sobre la calidad alimentaria, es fundamental tener en cuenta la variabilidad en los parámetros del modelo. La falta de atención adecuada a esta variabilidad y al grado de incertidumbre en las estimaciones de los parámetros puede conducir a predicciones imprecisas. Por ello Van Boekel (2008) recomienda el uso de técnicas estadística, como simulaciones de Monte Carlo, para manejar esta incertidumbre y mejorar la robustez de los modelos.

3.3 Base conceptual

- a. Acidez total: Acidez total "TA", también llamada acidez titulable, es la cantidad total de todos los iones de hidrógeno disponibles en una solución, es decir, los iones que están libres en solución (como H⁺) y aquellos que están unidos a ácidos y aniones no disociados (por ejemplo, ácidos y aniones tartáricos) (Chateau, 2023).
- b. Efecto halo: En la percepción de un producto, el efecto halo se produce cuando la evaluación de una cualidad específica de un atributo del producto impacta o sesga fuertemente la percepción de otras características del mismo producto. Diversos estudios han demostrado efectos halo en la percepción de productos alimenticios (Lee et al., 2013; Sörqvist et al., 2015).
- c. Grados brix: La medición del grado Brix determina el contenido puro de sacarosa en las muestras. El grado Brix se representa mediante la siguiente ecuación: 1 grado Brix (Bx) = 1 g de sacarosa /100 g de solución (Mettler, 2023).
- d. Mezcla: Una mezcla se compone por una o más sustancias en composición variable. Hay dos tipos de mezclas: heterogéneas y homogéneas. Las mezclas heterogéneas tienen componentes que se distinguen a simple vista, mientras que las mezclas homogéneas parecen ser completamente uniforme (Sal-Khan, 2024).

- e. Sólidos solubles: Los sólidos solubles son sustancias que se disuelven en un líquido determinado formando una solución (Byju's, 2023).
- f. Viscosidad: Es la resistencia de un fluido (líquido o gas) a un cambio de forma o movimiento por efecto de partes vecinas entre sí. La viscosidad denota oposición al flujo (Britannica, 2024).
- g. Viscosidad aparente: Es el valor de viscosidad obtenido para un fluido no newtoniano a una tasa de cizallamiento específica. A diferencia de la viscosidad absoluta de los fluidos newtonianos, este valor no es constante, sino que depende de las condiciones de flujo o medición aplicadas (Rao, 2014).

CAPÍTULO IV

METODOLÓGIA DE LA INVESTIGACIÓN

4.1 Tipo de investigación

- a) Tipo de investigación: Experimental, prospectivo, transversal y analítico. Por tanto, el nivel es explicativo.
- b) Diseño de la investigación: Tipo experimental.

4.1.1 Unidad de estudio

Muestra de helado elaborado con una mezcla de lactosuero, jugo de maracuyá y azúcar como ingredientes principales.

4.1.2 Población y muestra

Para establecer las muestras en estudio, se escogió a través del diseño del tipo de la metodología de superficie de respuesta, que mediante los rangos de estudio para las variables a investigar en el helado, se escogió el diseño de mezclas con restricciones (77 %) del tipo vértices extremos (Tabla 5) para establecer los tratamientos (Tabla 6), que fueron las k muestras o poblaciones en estudio (Gutiérrez & De la Vara, 2012).

Tabla 5. Niveles las variables independientes del helado

Variables	Rango de estudio	
	Límite inferior	Límite superior
X1: Concentración de lactosuero	13	23
X2: Concentración de jugo de maracuyá	25	35
X3: Concentración de azúcar	23	38

Fuente: Elaboración propia (2025)

Tabla 6. Tratamientos según el diseño de mezclas con restricciones (vértices extremos) para 3 componentes

Tratamientos	X1: Lactosuero (%)	X2: Jugo de maracuyá (%)	X3: Azúcar (%)
1	23	31	23
2	23	25	29
3	19	35	23
4	13	35	29
5	14	25	38
6	13	26	38
7	23	31	23
8	23	25	29
9	19	35	23

Fuente: Elaboración propia (2025)

4.2 Método

4.2.1 Diseño procedimental

El procedimiento para la investigación del helado de lactosuero y maracuyá se muestra en la Figura 3.

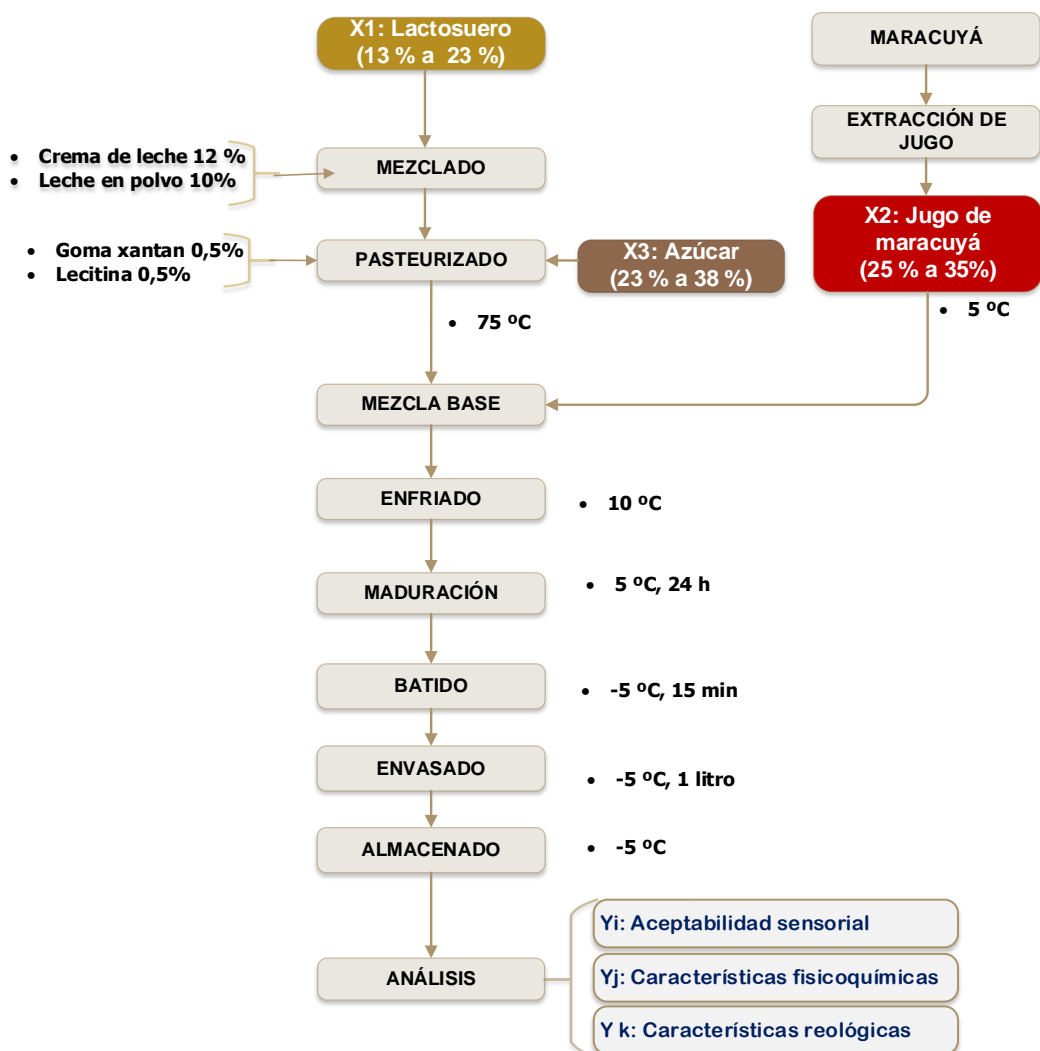


Figura 3. Diseño experimental para la evaluación del helado de maracuyá.
Fuente: Elaboración propia (2025)

El presente diseño experimental tiene como objetivo evaluar el efecto de tres variables independientes X1: lactosuero (13 – 23 %), X2: jugo de maracuyá (25 – 35 %) y X3: azúcar (23 – 38 %), sobre las propiedades sensoriales, fisicoquímicas y reológicas del helado formulado en estudio, a continuación, se describen las principales operaciones:

- a) Preparación de materias primas y mezclado inicial: Se utilizó lactosuero dulce de quesería, el cual es valorizado por su contenido de proteínas solubles, lactosa y minerales (Motta-Correa & Mosquera, 2015). Este ingrediente es mezclado con crema de leche y leche en polvo, para complementar el perfil nutricional y mejorar la textura del helado (Arbuckle, 1986). Por otro lado, se realizó la extracción del jugo de maracuyá (*Passiflora edulis*), una fruta rica en compuestos bioactivos, como vitamina C, carotenoides y polifenoles, que aportan características antioxidantes al producto (Beserra et al., 2011).

- b) Formulación y pasteurización: Los ingredientes líquidos son mezclados y se incorporan los aditivos establecidos para el experimento como goma xantana (polisacárido con efecto espesante y estabilizante), lecitina (emulsionante que promueve una distribución homogénea de la grasa) y el azúcar. La mezcla es sometida a una pasteurización hasta

75 °C lo cual garantiza la reducción microbiana y mejora la funcionalidad proteica, facilitando la formación de una emulsión estable (Walstra et al., 2005), obtenido como resultado la denominada mezcla base.

- c) Enfriamiento y maduración: La mezcla base pasteurizada se enfrió con la adición del jugo de maracuyá refrigerado (5°C), enfriando la mezcla hasta 10 °C para evitar la degradación térmica para luego someterla a un proceso de maduración a 5 °C por 24 horas, etapa en la cual se desarrollan las propiedades funcionales de los estabilizantes y se mejora la textura y viscosidad del sistema (Muse & Hartel, 2004).
- d) Batido y congelación: La mezcla madurada es batida a –5 °C durante 15 minutos, facilitando la incorporación de aire (overrun) y el inicio de la congelación (Figura 4). Este proceso es fundamental para definir la estructura y la percepción sensorial del helado, ya que afecta la suavidad, la firmeza y la percepción del dulzor (Clarke, 2012).
- e) Envasado y almacenamiento: El producto semi-congelado fue envasado en recipientes de 1 litro a –5 °C, y luego almacenado a esa misma temperatura para garantizar su estabilidad estructural y microbiológica hasta el momento del análisis.



Figura 4. Tratamientos o muestras de helado batidas y congeladas (a -5°C)

Fuente: Elaboración propia (2025)

- f) Evaluación del producto final: Finalmente, el helado fue sometido a una serie de evaluaciones experimentales: Aceptabilidad sensorial, mediante pruebas hedónicas realizadas con panelistas semientrenados, evaluando atributos como sabor, textura, color y aroma (Stone & Sidel, 2004). Características fisicoquímicas, incluyendo parámetros como, acidez titulable, contenido de sólidos totales y proteínas que permiten conocer la estabilidad del producto. Características reológicas, evaluadas mediante análisis de viscosidad, que indican el comportamiento mecánico del helado (Figura 5) durante su consumo y manipulación (Steffe, 1996).



Figura 5. Medición de las características reológicas del helado (mezcla base a 19 °C y helado a 11 °C)

Fuente: Elaboración propia (2025)

4.2.2 Procedimientos de investigación

a. Caracterización proximal de materias primas y producto final

- Proteína (método Kjeldahl), A.O.A. C, 1981.
- Humedad (método por pérdida de peso); A.O.A.C, 1981.
- Grasa (método Soxhlet), A.O.A.C, 1981.
- Fibra bruta (método por hidrólisis ácida y alcalina), A.O.A.C, 1981.
- Cenizas (método por calcinación), A.O.A.C, 1981.
- Carbohidratos (por diferencia) A.O.A.C, 1981.

b. Análisis de las características sensoriales de los tratamientos

- Prueba de aceptación sensorial: apariencia, color, olor, y sabor con la prueba hedónica según escala estructurada, ejecutada con 19 panelistas semientrenados (Alumnos de 4to y 5to año ESIA) (Anexo 1).

c. Análisis de las características fisicoquímicas de los tratamientos

- Acidez titulable (A.O.A.C., 1981).
- Sólidos solubles, por refractómetro.
- Determinación de proteínas por el método de Biuret.

d. Análisis de las características reológicas de los tratamientos

- Análisis de viscosidad (aparente): con reómetro Brookfield Heng.

e. Análisis de balance de masa del producto final optimizado

- Relación p/p de peso de producto final en base a la suma del peso de las materias primas.

4.2.3 Instrumentos de medición

Para la medición de las variables en estudio se usarán mecanismos e instrumentos de medición cuantitativos, exactos tal como se mostraron

en Tabla 2 de operacionalización de variables y no requieren de las pruebas de validez y confiabilidad pues fueron validados por los fabricantes.

4.2.4 Recursos materiales

- a. Materiales y equipos de laboratorio disponibles.
 - Bureta de vidrio.
 - Manómetro “hechizo”.
 - Matraz de vidrio PIREX 100 ml.
 - Potenciómetro marca ALLIED FISHER CENTIFIC, rango de pH de 0 - 14, Modelo 800; USA.
 - Refractómetro de mano, marca WARSZAWA, rango de longitud de 0-95. Polonia. Piceta
 - Termómetro (0 a 100°C).
 - Vasos de precipitado de 50, 100, 250 ml.
 - Maquina batidora para crema de helados.

- b. Materiales de proceso básico para obtención de jugo.
 - Maracuyá variedad amarilla.
 - Frascos de plástico de 1 l.
 - Cucharas.
 - Recipientes de acero inoxidable.

4.2.5 Recolección de datos

Para registrar las características de cada una de las variables respuesta se utilizaron datos recopilados a través de los registros de la medición de los experimentos previamente planeados.

4.2.6 Análisis de datos

Para analizar los datos recopilados se aplicó la metodología de superficie de respuesta MSR que permitió seleccionar, modelar y optimizar el diseño experimental previamente establecido (diseño de mezclas) mediante el estudio de las relaciones entre las variables independientes (Componentes del helado) y cada respuesta (características sensoriales, reológicas y fisicoquímicas). Por lo tanto, después de ejecutar los tratamientos del diseño de mezclas, la MSR estimó un modelo polinomial de segundo grado con todos los datos compilados. En este estudio, se utilizó ANOVA para observar la importancia de los efectos de los factores principales lineales y cuadráticos y los efectos de los factores de interacción bidireccional al 5 % de significancia. Para los cálculos de coeficientes del modelo, el análisis de varianza para los gráficos de curvas de nivel, y para el cálculo de efectos se utilizó el programa Minitab 19 y proceso de optimización se utilizó el programa Design expert V 13.

CAPÍTULO V TRATAMIENTO DE RESULTADOS

5.1 Resultados

5.1.1 Efecto del lactosuero, maracuyá y azúcar sobre las características fisicoquímicas del helado

La Tabla 7 presenta los resultados del análisis fisicoquímico: sólidos solubles, acidez y proteínas de las muestras de helado por efecto de los ingredientes, lactosuero, jugo de maracuyá y el azúcar.

Tabla 7. Resultados del análisis fisicoquímico de las muestras del helado en estudio

Muestras	Lactosuero (%)	Maracuyá (%)	Azúcar (%)	Sólidos solubles (°Brix)	Acidez (%)	Proteínas (%)
1	23	31	23	39	0,171	2,82
2	23	25	29	44	0,127	2,41
3	19	35	23	39	0,177	2,39
4	13	35	29	43,5	0,187	2,11
5	14	25	38	54	0,134	2,00
6	13	26	38	52	0,135	1,95
7	23	31	23	40	0,153	2,15
8	23	25	29	43	0,128	2,13
9	19	35	23	38	0,164	2,15

Fuente: Elaboración propia (2025)

5.1.1.1 Sólidos solubles

El análisis del experimento enfocado en los sólidos solubles del helado, medido principalmente como grados brix (principalmente azúcares). Este análisis usa también un modelo de Superficie de Respuesta (RSM) para determinar el impacto de tres ingredientes sobre el dulzor/concentración del helado (Anexo 2). Resulto con un $R^2 = 0,9849$: Excelente ajuste. El modelo explica el 98,49 % de la variabilidad en los grados Brix. R^2 ajustado = 0,9697: Muy cercano al R^2 , lo que indica un modelo robusto sin sobreajuste. Y un R^2 predicho = 0,5939 valor aceptable, pero significativamente más bajo. Sugiere que el modelo podría perder algo de precisión en nuevas combinaciones. El p-valor del modelo = 0,0007 resultado Altamente significativo. El modelo es estadísticamente sólido. Adema de un coeficiente de variación C.V. = 2,30 %: Muy bajo, indica alta precisión experimental. Además de Adeq Precision = 19,21: Valor mucho mayor a 4, lo cual demuestra una buena señal/ruido del modelo.

El Azúcar (C) resulto con el mayor efecto positivo sobre los grados Brix (coef. = 54,16), como es esperable. Lactosuero (A) y Maracuyá (B): También incrementan los grados Brix de forma significativa. Interacciones (AB y AC): No significativas ($p > 0,6$), sugieren que los efectos son principalmente aditivos.

En la Figura 6 presenta el diagrama de curvas de nivel para visualizar cómo varían los sólidos solubles según las proporciones de las proporciones relativas de lactosuero, maracuyá y azúcar. Las curvas de nivel describen puntos de igual valor de grados brix. Donde las zonas con mayor concentración de azúcar se asocian con los niveles más altos de grados brix, seguidas por lactosuero y maracuyá.

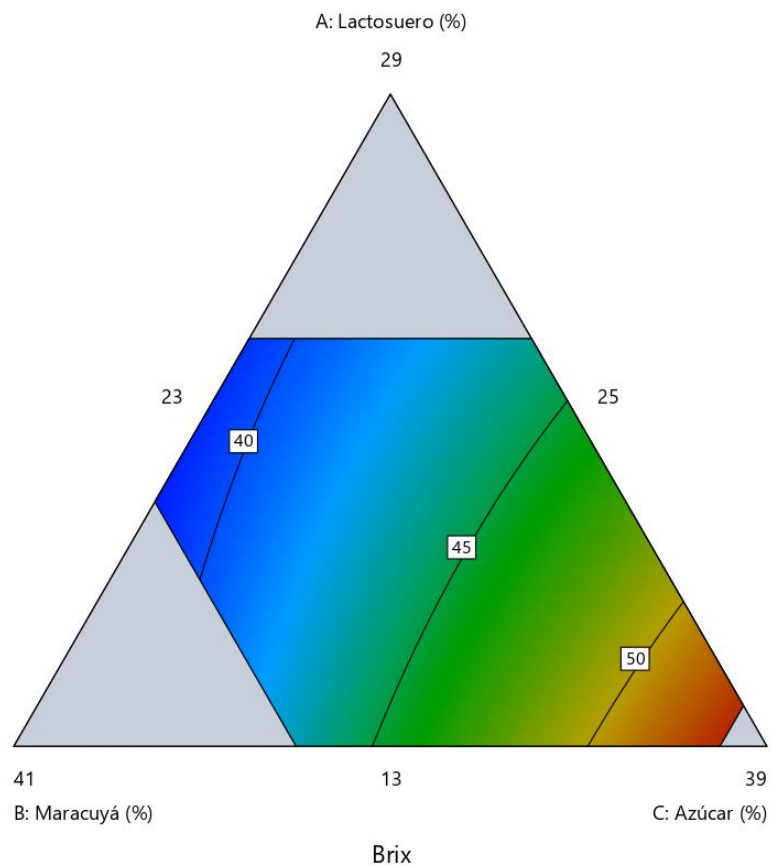


Figura 6. Curvas de nivel para los componentes lactosuero de quesería (%), maracuyá (%) y azúcar de caña (%) sobre los grados Brix del helado

Fuente: Desarrollado con el software Design Expert13.0

Por lo tanto, el azúcar es el principal responsable del aumento de los sólidos solubles, alcanzando valores máximos de 50 °Brix en zonas con alta proporción (38 %), mientras que el lactosuero contribuye moderadamente, con valores intermedios de 45 °Brix en áreas con mayor contenido (29 %). El jugo de maracuyá aporta menos sólidos solubles, resultando en mínimos de 40 °Brix en zonas donde predomina (35 %).

5.1.1.2 Acidez

El modelo de superficie de respuesta para la acidez del helado basado en lactosuero, maracuyá y azúcar muestra una buena capacidad explicativa (Anexo 3), con un coeficiente de determinación R^2 de 0,9284, lo que indica que el 92,84 % de la variabilidad en la acidez puede ser explicada por el modelo. El R^2 ajustado (0,8568) también es alto, lo cual confirma la relevancia del modelo sin indicios de sobreajuste. Sin embargo, el R^2 predicho es relativamente bajo (0,2794), lo que sugiere una capacidad limitada para predecir valores futuros fuera del rango experimental. El valor p del modelo es significativo ($p = 0,0147$), lo que demuestra que el modelo en su conjunto tiene validez estadística. Además, la falta de ajuste no es significativa ($p = 0,4882$), lo que indica que el modelo se ajusta bien a los datos experimentales.

En este estudio, los tres componentes (lactosuero, jugo de maracuyá y azúcar) contribuyen positivamente a la acidez. El maracuyá, con un coeficiente de 0,2165, tiene el mayor impacto, lo cual es lógico dado su perfil naturalmente ácido. El lactosuero también contribuye notablemente (coef. = 0,1753), ya que contiene ácido láctico y otros compuestos ácidos residuales. Sorprendentemente, el azúcar (coef. = 0,1347) también tiene un efecto positivo, posiblemente por su influencia en la solubilidad y la actividad del agua, lo cual puede modular la percepción de acidez. Las interacciones AB y AC son negativas, pero no significativas, lo cual sugiere que los efectos son principalmente aditivos.

La Figura 7 de curvas de nivel representa visualmente cómo varía la acidez del helado en función de las proporciones de lactosuero, maracuyá y azúcar. Las curvas indican zonas con valores similares de acidez. En general, las áreas de mayor acidez se encuentran donde hay un aumento conjunto de maracuyá y lactosuero, mientras que los valores más bajos se observan en regiones con menor concentración de maracuyá. Esta visualización permite identificar combinaciones óptimas de ingredientes para alcanzar niveles deseados de acidez, favoreciendo tanto el control del sabor como la estabilidad del producto.

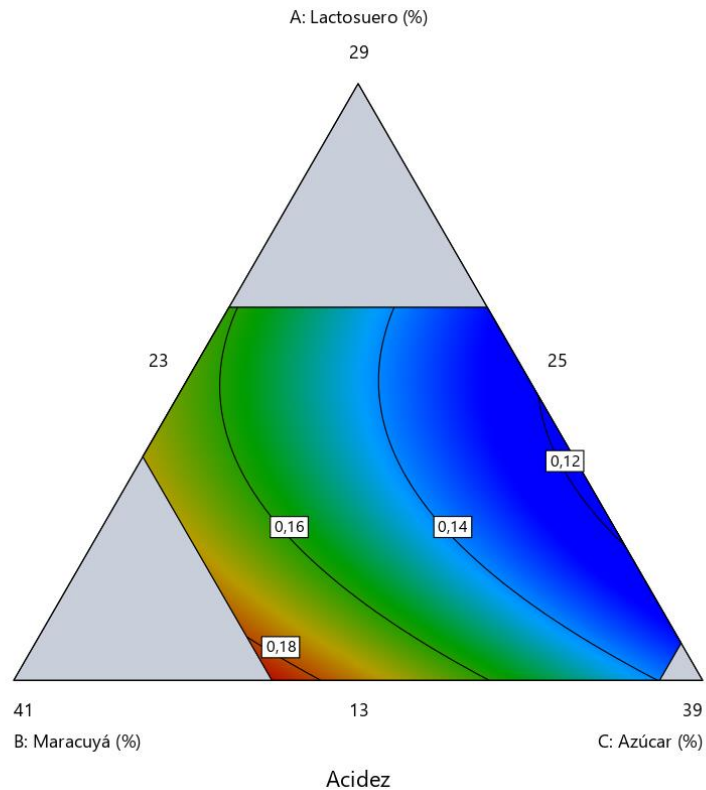


Figura 7. Curvas de nivel para los componentes Lactosuero de quesería (%), Maracuyá (%) y azúcar de caña (%) sobre la acidez del helado

Fuente: Desarrollado con el software Design Expert13.0

5.1.1.3 Proteínas

El análisis de superficie de respuesta evaluó el efecto de tres ingredientes (lactosuero, maracuyá y azúcar) sobre el contenido de proteínas (%) del helado. A nivel estadístico (Anexo 4), los resultados indican que el modelo no es significativo (valor $p = 0,5233$), lo que sugiere que la variabilidad explicada por el modelo no es suficientemente alta como para ser considerada estadísticamente relevante. El $R^2 = 0,4845$ del

modelo explica aproximadamente el 48,45% de la variación, lo cual es moderado, pero no ideal. R^2 ajustado = -0,0310 y R^2 predicho = -1,1823: Ambos valores indican una falta de ajuste del modelo a los datos, particularmente para la predicción. C.V. (Coeficiente de variación) = 12,18 %: Si bien los coeficientes individuales para el lactosuero (2,97), el jugo de maracuyá (2,17) y el azúcar (1,98) fueron positivos (lo que indica una tendencia a incrementar el porcentaje de proteínas), las interacciones entre componentes y el modelo en su conjunto carecieron de significancia estadística.

A pesar de la no significancia del modelo, el análisis gráfico de las curvas de nivel (Figura 8) permitió identificar tendencias. La región que maximiza el contenido de proteínas se localiza donde la proporción de lactosuero es máxima (23 %) y las de maracuyá y azúcar son mínimas. Este hallazgo es coherente desde el punto de vista teórico, ya que el lactosuero constituye la principal fuente de proteínas en la formulación. Por lo tanto, para obtener un helado con mayor contenido proteico, se recomienda emplear la mayor proporción posible de lactosuero, tal como lo establece el diseño experimental.

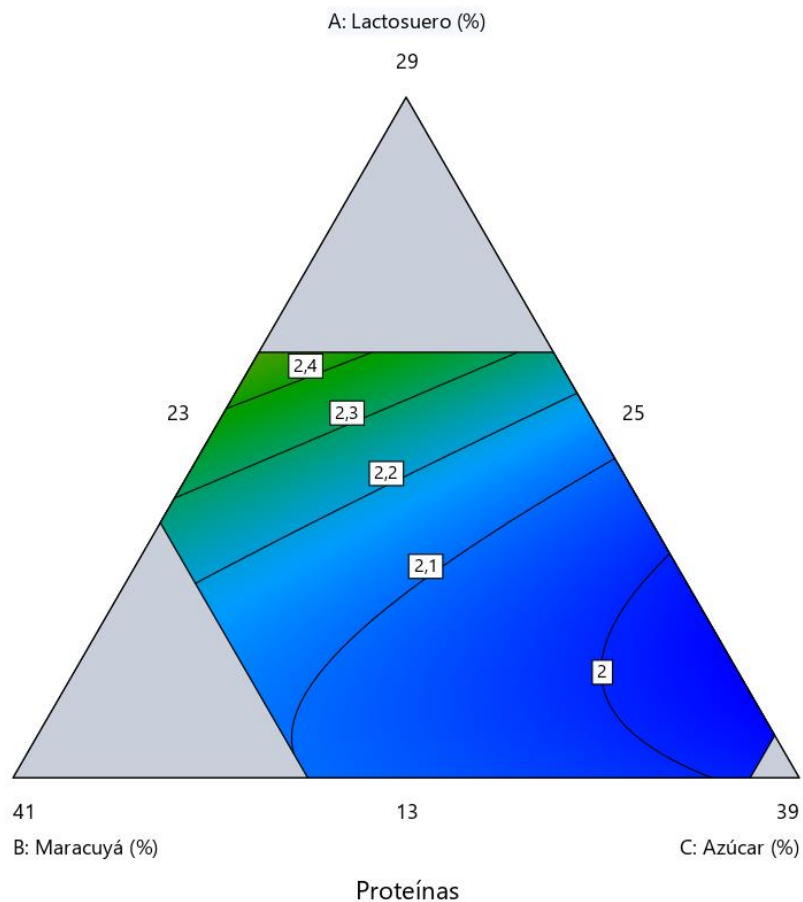


Figura 8. Curvas de nivel para los componentes lactosero de quesería (%), maracuyá (%) y azúcar de caña (%) sobre las proteínas del helado

Fuente: Desarrollado con el software Design Expert13.0

5.1.2 Efecto del lactosero, jugo de maracuyá y azúcar sobre las características reológicas del helado.

La Tabla 8 muestra los resultados de la viscosidad de las muestras de helado (a temperatura de 11 °C) por efecto de los ingredientes propuestos como son el lactosero el jugo de maracuyá y el azúcar.

Tabla 8. Resultados del análisis reológico de las muestras de helado en estudio

Muestras	Lactosuero (%)	Maracuyá (%)	Azúcar (%)	Viscosidad (Cp)
1	23	31	23	30 066,7
2	23	25	29	26 933,3
3	19	35	23	55 066,7
4	13	35	29	46 200,0
5	14	25	38	58 400,0
6	13	26	38	54 766,7
7	23	31	23	40 000,0
8	23	25	29	38 333,3
9	19	35	23	38 800,0

Fuente: Elaboración propia (2025)

El Análisis de Superficie de Respuesta (RSM) para evaluar cómo tres ingredientes (lactosuero, jugo de maracuyá, azúcar) afectan la viscosidad del helado (Anexo 5). muestra un $R^2 = 0,7071$ es decir el modelo explica aproximadamente el 70,7 % de la variación en la viscosidad. Y un R^2 ajustado = 0,5313 Algo más bajo, sugiere que el modelo puede estar sobreajustado o que algunas variables no son tan significativas. Además de un R^2 predicho = 0,0856 valor muy bajo, indica poca capacidad predictiva fuera de los datos del experimento. Aunque el p-valor del modelo = 0,0841 resulta no significativo al 5 %, pero es cercano, ello sugiere que

es posible mejora con más datos o un diseño refinado. Individualmente el efecto del azúcar fue poco significativo por sí sola, aunque tiene el mayor efecto estimado en la viscosidad, seguido por maracuyá y lactosuero. Por otro lado, la Interacción AB (lactosuero x maracuyá) presento un efecto positivo, pero estadísticamente no significativo ($p = 0,2486$).

La falta de ajuste del modelo indica que no es significativo ($p = 0,7668$) lo cual es positivo; indica que el modelo se ajusta razonablemente a los datos sin sobreajustar. Y el coeficiente de variación C.V. = 17,77 % es aceptable en estudios de alimentos, aunque idealmente debería estar por debajo de 10%.

El comportamiento que se verifica en la Figura 9 es que el lactosuero tiene un efecto moderado sobre la viscosidad, con valores intermedios (40 000 cP) en zonas de alta proporción y baja azúcar, mientras que el jugo de maracuyá disminuye la viscosidad debido a su alto contenido de agua, alcanzando mínimos de 35 000 cP en áreas con mayor proporción. El azúcar es el principal incrementador de la viscosidad, alcanzando máximos de 55 000 cP en zonas con alta concentración, donde domina el comportamiento reológico del helado.

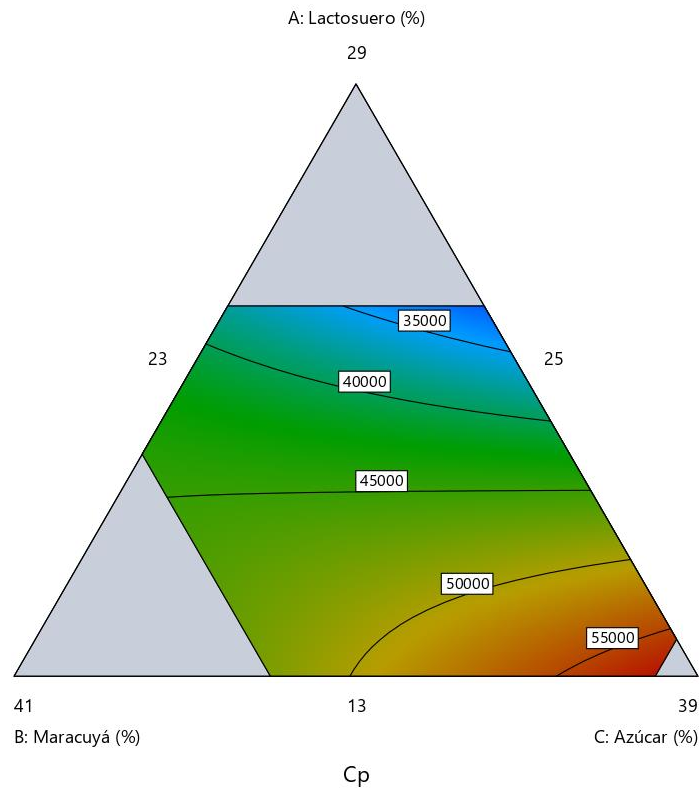


Figura 9. Curvas de nivel para los componentes lactosuero de quesería (%), maracuyá (%) y azúcar de caña (%) sobre la viscosidad del helado

Fuente: Desarrollado con el software Design Expert13.0

La medición con viscosímetro Brookfield a una velocidad fija determina viscosidad aparente, ya que el helado es un fluido no newtoniano cuya resistencia al flujo varía con el esfuerzo cortante aplicado. Su estructura coloidal heterogénea (cristales de hielo, burbujas de aire, proteínas) impide una viscosidad absoluta constante, característica exclusiva de fluidos newtonianos.

5.1.3 Efecto del suero, jugo de maracuyá y azúcar sobre las características sensoriales

En la Tabla 9 se muestra los valores promedio de aceptabilidad sensorial correspondientes a los atributos de apariencia, olor, sabor, color y textura de las muestras de helado por efecto de los ingredientes propuestos como son el lactosuero, el jugo de maracuyá y el azúcar.

Tabla 9. Resultados del análisis sensorial de las muestras del helado en estudio

Muestras	Lactosuero (%)	Maracuyá (%)	Azúcar (%)	Apariencia	Olor	Sabor	Color	Textura
1	23	31	23	7,32	7,00	7,11	6,95	6,47
2	23	25	29	6,11	6,26	6,26	6,11	5,11
3	19	35	23	6,74	6,84	6,74	6,42	6,26
4	13	35	29	6,16	6,74	6,32	6,63	6,16
5	14	25	38	6,16	6,47	5,47	6,05	5,58
6	13	26	38	6,21	6,21	5,68	6,37	5,84
7	23	31	23	6,84	6,47	6,79	6,84	6,74
8	23	25	29	6,79	6,05	6,79	7,05	6,68
9	19	35	23	6,68	6,63	5,63	6,79	6,68

Fuente: resultados obtenidos con la participación de 19 panelistas semientrenados

5.1.3.1 Aceptabilidad sensorial de la apariencia

El estudio se basó en una escala hedónica de 9 puntos para evaluar la aceptabilidad sensorial de la apariencia del helado formulado con lactosuero, jugo de maracuyá y azúcar. El análisis estadístico (Anexo 6)

revelo un coeficiente de determinación de $R^2 = 0,7513$: El modelo explica un 75,13 % de la variabilidad en la aceptabilidad de la apariencia, lo que indica un ajuste adecuado. R^2 ajustado = 0,5026: Aún se mantiene aceptable, aunque más conservador, indicando que parte de la variabilidad está bien explicada por el modelo. C.V. = 4,50%: Muy bajo, lo cual demuestra alta precisión en los datos sensoriales. Aunque el modelo completo no es estadísticamente significativo ($p 0,1548 > 0,05$), hay una tendencia importante especialmente en los efectos lineales. Lactosuero (coef. 7,59), maracuyá (6,12) y azúcar (6,22) presentan efectos positivos importantes, lo cual sugiere que, a mayor concentración de estos componentes, mayor aceptabilidad visual. Las interacciones (AB y AC) no resultaron significativas.

La Figura 10 de curvas de nivel representa gráficamente la interacción entre los tres ingredientes sobre la apariencia sensorial del helado: Las áreas con mayores valores de la escala hedónica (más cercanas al 9) indican zonas donde los jueces percibieron mejor la apariencia del helado. Dado que todos los ingredientes tienen coeficientes positivos, es esperable que las zonas más naranjas en la figura se encuentren en proporciones medias-altas de los tres ingredientes. Las curvas revelan combinaciones ideales donde se optimiza la apariencia

visual como color, homogeneidad, brillo que son cualidades clave para la primera impresión del consumidor.

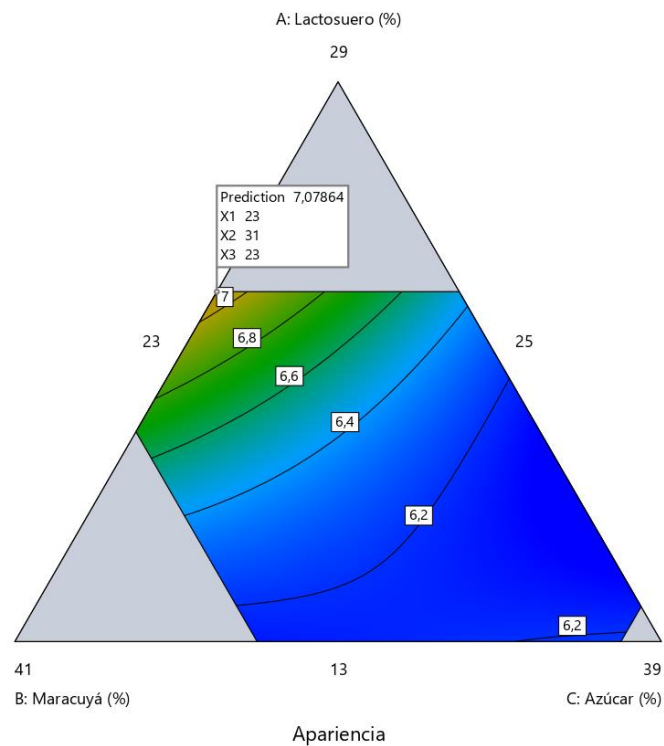


Figura 10. Curvas de nivel para los componentes lactosuero de quesería (%), maracuyá (%) y azúcar de caña (%) sobre aceptabilidad de la apariencia

Fuente: Desarrollado con el software Design Expert13.0

5.1.3.2 Aceptabilidad sensorial del olor

El análisis estadístico de los resultados sensoriales del helado formulado con lactosuero, maracuyá y azúcar (Anexo 7) revela un modelo de mezcla con R^2 de 0,6699 indicando que el 48,8% de la variabilidad en la aceptabilidad del olor se explica por los componentes analizados. Sin

embargo, el R^2 ajustado (0,3398) y el valor p no significativo (0,2549) sugieren limitaciones en la capacidad predictiva del modelo, señalando la posible influencia de factores no considerados en el diseño experimental.

La Figura 11 presenta el diagrama ternario que evalúa la aceptabilidad del olor del helado hecho con lactosuero, jugo de maracuyá y azúcar, el degradado de colores indica la aceptación sensorial en una escala de 9 puntos, con valores superior estimado de a 6,8.

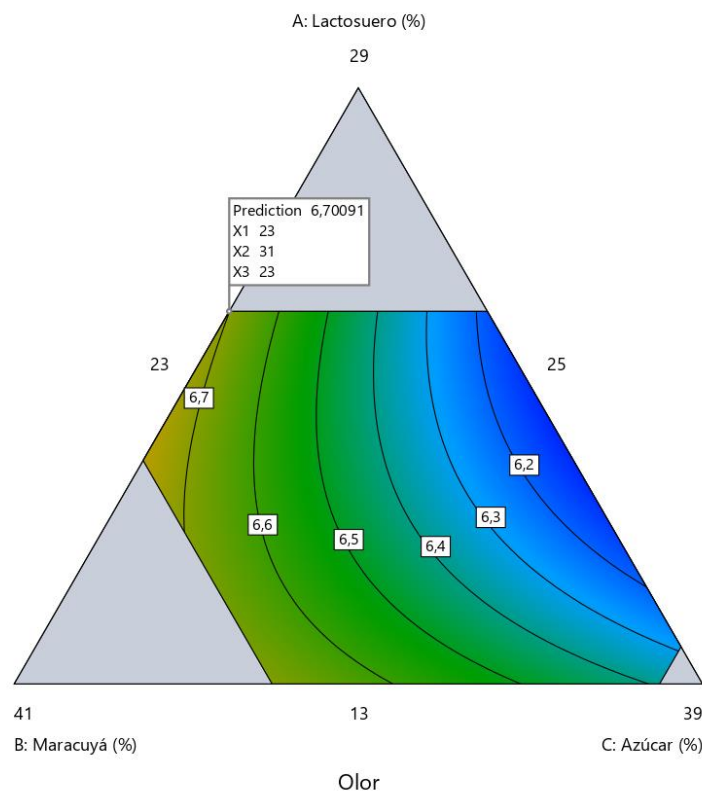


Figura 11. Curvas de nivel para los componentes lactosuero de quesería (%), maracuyá (%) y azúcar de caña (%) sobre aceptabilidad del olor

Fuente: Desarrollado con el software Design Expert13.0

Las áreas con mayor aceptabilidad (6,8) tienen alto contenido de lactosuero ($\approx 29\%$), medio de jugo de maracuyá ($\approx 23\%$) y bajo de azúcar ($\approx 23\%$), mientras que las zonas con menor aceptabilidad ($\approx 6,0$) están cerca del vértice del azúcar, sugiriendo que su alto contenido reduce la percepción positiva del olor.

5.1.3.3 *Aceptabilidad sensorial del sabor*

El análisis sensorial del helado formulado con lactosuero, maracuyá y azúcar revela que el componente con mayor contribución individual a la aceptabilidad es el lactosuero (7,32 puntos), seguido del jugo de maracuyá (6,48) y el azúcar (5,49) en la escala hedónica de 9 puntos. El Análisis estadístico (Anexo 8) revela que el modelo de mezcla presentó un R^2 de 0,573, indicando que el 57,3 % de la variabilidad en la aceptabilidad se explica por los componentes analizados.

La Figura 12 de la superficie de respuesta evalúa la aceptabilidad del sabor del helado en la escala hedónica de 9 puntos. Las áreas con mayor aceptación ($\approx 6,6$ a $7,1$ puntos) están en la parte superior izquierda del diagrama ternario, correspondientes a formulaciones con alto contenido de lactosuero ($\approx 23\%$), bajo azúcar ($\approx 23\%$) y niveles intermedios de maracuyá ($\approx 31\%$).

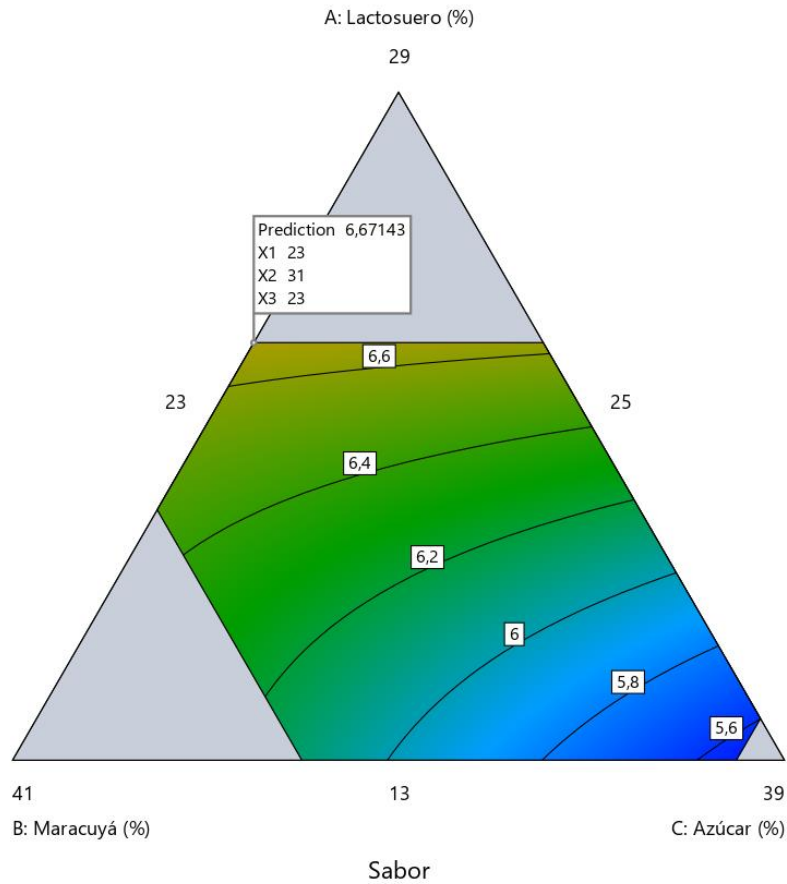


Figura 12. Curvas de nivel para los componentes lactosuero de quesería (%), maracuyá (%) y azúcar de caña (%) sobre aceptabilidad del sabor

Nota: Desarrollado con el software Design Expert13.0

En contraste, las regiones con menor aceptabilidad ($\approx 5,6$ puntos) se concentran cerca del vértice de alto contenido de azúcar ($\approx 38\%$) es decir, un bajo contenido de azúcar y altos niveles de lactosuero mejoran la aceptación del sabor, pero un exceso de azúcar la reduce.

5.1.3.4 Aceptabilidad sensorial del color

El análisis de la aceptabilidad sensorial del color (Anexo 8) del helado a base de lactosuero, jugo de maracuyá y azúcar revela que, individualmente, cada componente (lactosuero, maracuyá y azúcar) contribuye positivamente a la aceptabilidad del color, con coeficientes estimados de 8,19, 6,90 y 6,24, respectivamente. Sin embargo, las interacciones entre lactosuero y maracuyá (AB), y entre lactosuero y azúcar (AC), muestran coeficientes negativos (-3,40 y -3,80), indicando un efecto sinérgico negativo en la aceptabilidad del color. Los valores de p (0,5176 para el modelo, 0,3332 para la mezcla lineal, 0,4227 para AB y 0,4078 para AC) sugieren que estos efectos no son estadísticamente significativos al nivel de 0,05, es decir no impactan significativamente la aceptabilidad del color. el modelo tiene un R^2 de 0,4883, explicando el 48,83 % de la variabilidad, El R^2 ajustado (-0,0234) y el R^2 predicho (-1,6019) indican que el modelo no es robusto y no predice bien la variabilidad.

La Figura 13 presenta una superficie de respuesta que ilustra la variación en la aceptación sensorial del color del helado en función del lactosuero, jugo de maracuyá y azúcar. La aceptabilidad del color, según la escala hedónica de 9 puntos, varía desde “me gusta moderadamente ≈ 6 ” hasta “me gusta mucho ≈ 7 ”.

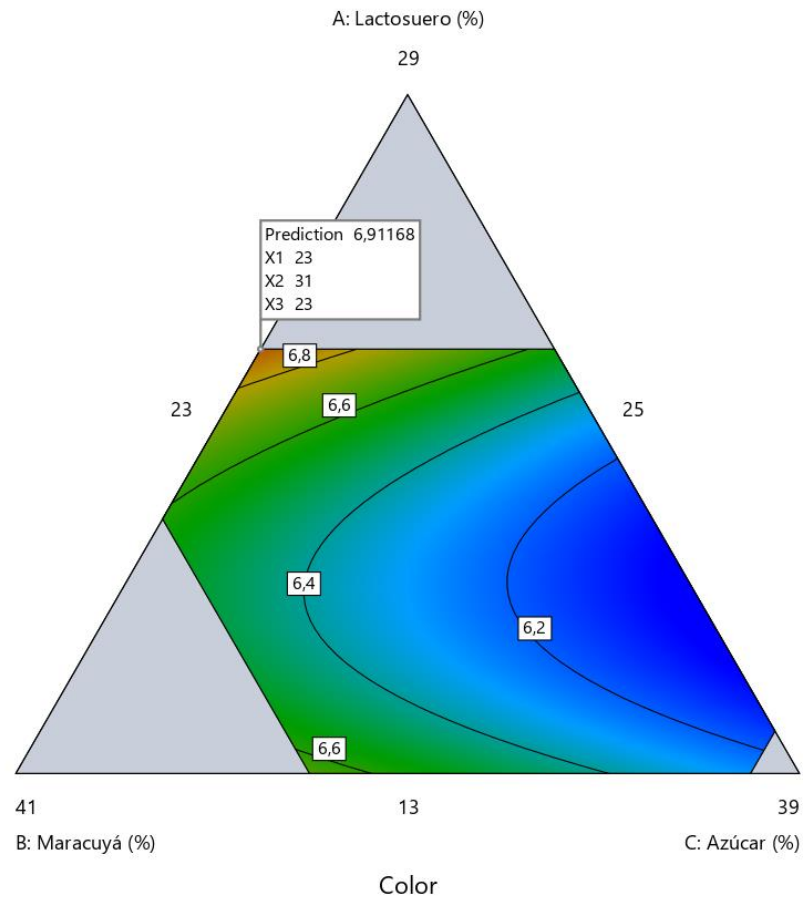


Figura 13. Curvas de nivel para los componentes lactosuero de quesería (%), maracuyá (%) y azúcar de caña (%) sobre aceptabilidad del color

Fuente: Desarrollado con el software Design Expert13.0

Las mayores puntuaciones de aceptabilidad ($\approx 6,8 - 7,0$) se encuentran en la región con alto contenido de lactosuero ($\approx 23\%$), bajo azúcar ($\approx 23\%$) y niveles intermedios de maracuyá ($\approx 31\%$). Las puntuaciones bajas ($\approx 6,0 - 6,2$) se ubican en la región con alto contenido de azúcar ($\approx 38\%$) y bajos niveles de lactosuero y maracuyá. Es decir, la

aceptación del color mejora con alto contenido de lactosuero y bajo de azúcar, mientras que el exceso de azúcar altera el aspecto visual. El jugo de maracuyá tiene un efecto positivo en cantidades moderadas.

5.1.3.5 Aceptabilidad sensorial de la textura

Los coeficientes estimados del modelo para la aceptabilidad de la textura, revelan que el lactosuero presenta el mayor efecto individual con un valor de 7,08, seguido del maracuyá con 6,44 y finalmente el azúcar con 5,73. No obstante, al examinar los intervalos de confianza al 95 %, se observa que el lactosuero presenta una amplitud considerable (0,54 a 13,62), lo que sugiere una alta incertidumbre en la estimación de su efecto real. Por otro lado, las interacciones binarias AB (lactosuero-maracuyá) y AC (lactosuero-azúcar) exhiben coeficientes negativos de -0,95 y -2,93 respectivamente, aunque sus intervalos de confianza son sumamente amplios e incluyen el valor cero, indicando que estos efectos de interacción no son estadísticamente diferentes de cero.

El modelo presenta estadísticos presenta un limitado coeficiente de determinación: el R^2 de 0,4587 indica que apenas el 45,87 % de la variabilidad en la aceptabilidad de la textura es explicada por el modelo, mientras que el R^2 ajustado negativo (-0,0827) evidencia que el modelo no

mejora la predicción en comparación con utilizar simplemente la media de las observaciones. El análisis de varianza (ANOVA) confirma estas limitaciones al mostrar que el modelo global no es estadísticamente significativo ($F = 0,8473$, $p = 0,5619$). Asimismo, ni la mezcla lineal ($p = 0,3282$) ni las interacciones AB ($p = 0,8833$) y AC ($p = 0,6795$) resultaron significativas. No obstante, es positivo que la prueba de falta de ajuste no fuera significativa ($p = 0,8958$), lo cual indica que, aunque el modelo no explica adecuadamente la respuesta, al menos no existe un patrón sistemático de desajuste que sugiera la necesidad de términos de mayor orden.

El análisis de las curvas de nivel (Figura 14) muestra que la máxima aceptabilidad de la textura (6,6) se localiza en la región superior izquierda del espacio experimental, correspondiente a formulaciones con 23 % de lactosuero, 31 % de maracuyá y 23 % de azúcar, como indica el punto de predicción óptima. Las curvas de nivel muestran una tendencia descendente desde esta zona, evidenciando que la aceptabilidad disminuye progresivamente hacia valores de 6,4, 6,2, 6,0 y 5,8 conforme aumenta la proporción de azúcar y disminuye el contenido de maracuyá. La región de mayor aceptabilidad (zona amarillo-naranja) se concentra en formulaciones con niveles moderados de lactosuero y maracuyá, mientras que las zonas con mayor contenido de azúcar (región azul-verde)

presentan las menores puntuaciones de aceptabilidad sensorial, sugiriendo que concentraciones elevadas de azúcar afectan negativamente la percepción de textura del helado.

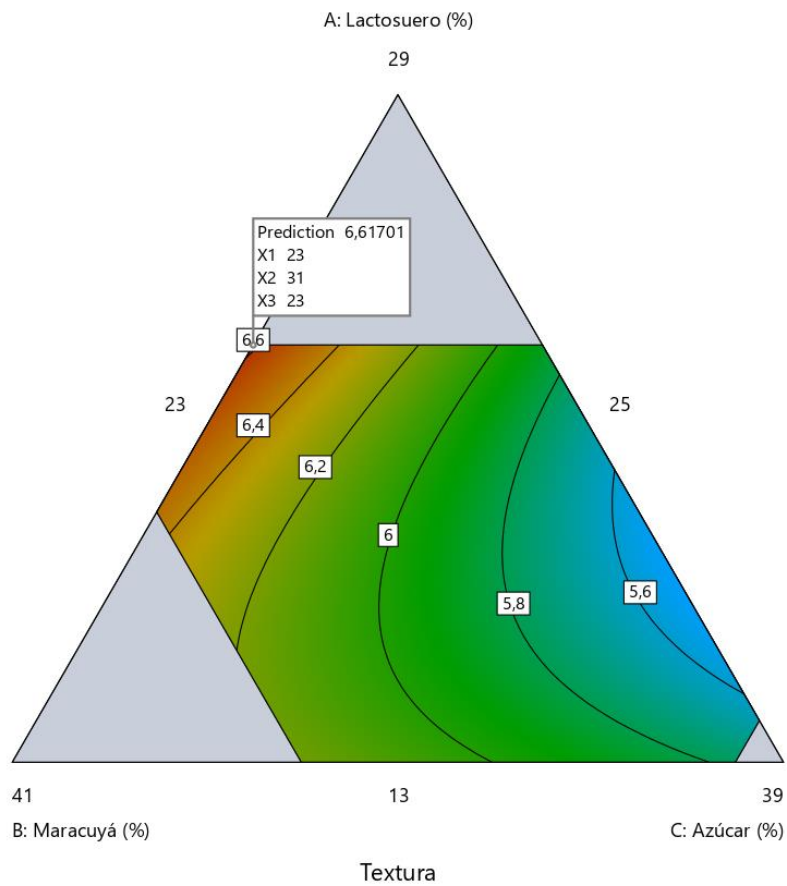


Figura 14. Curvas de nivel para los componentes lactosero de quesería (%), maracuyá (%) y azúcar de caña (%) sobre aceptabilidad de la textura

Fuente: Desarrollado con el software Design Expert13.0

5.1.4 Optimización

La optimización basada en múltiples respuestas sensoriales, que incluye: Apariencia, olor, sabor, color y textura, evaluados en escala hedónica de 9 puntos. Lactosuero, maracuyá y azúcar como factores variables. Índice de deseabilidad (Desirability) como medida integrada de optimización multivariable. Según la Tabla 10, la solución óptima resulto con un valor de deseabilidad de 0,796 lo que indica una combinación óptima de ingredientes.

Tabla 10. Optimización numérica de las variables en estudio para la elaboración del helado de maracuyá

Factores	Criterio	Li	Ls	Óptimo
Lactosuero (%)	en rango	13	23	23
Maracuyá (%)	en rango	25	35	31
Azúcar (%)	en rango	23	38	23
Sólidos solubles (°Brix)	en rango	38	54	39,301
Acidez (%)	en rango	0,127	0,187	0,161
Proteínas (%)	en rango	1,95	2,82	2,477
Viscosidad (cP)	en rango	26 933,3	58 400	37 707,3
Apariencia	maximizar	6,11	7,32	7,079
Olor	maximizar	6,05	7,05	6,701
Sabor	maximizar	5,47	7,11	6,671
Color	maximizar	6,05	7,05	6,912
Textura	maximizar	5,11	6,74	6,617
Desirability				0,796

Fuente: Elaboración propia (2025)

Las curvas de nivel de deseabilidad visualizan la combinación de ingredientes que maximizan las múltiples respuestas sensoriales. En el punto óptimo (alto deseability = 0,796), la Figura 15 muestra una la zona de mejor aceptabilidad sensorial simultánea (sombreado anaranjado).

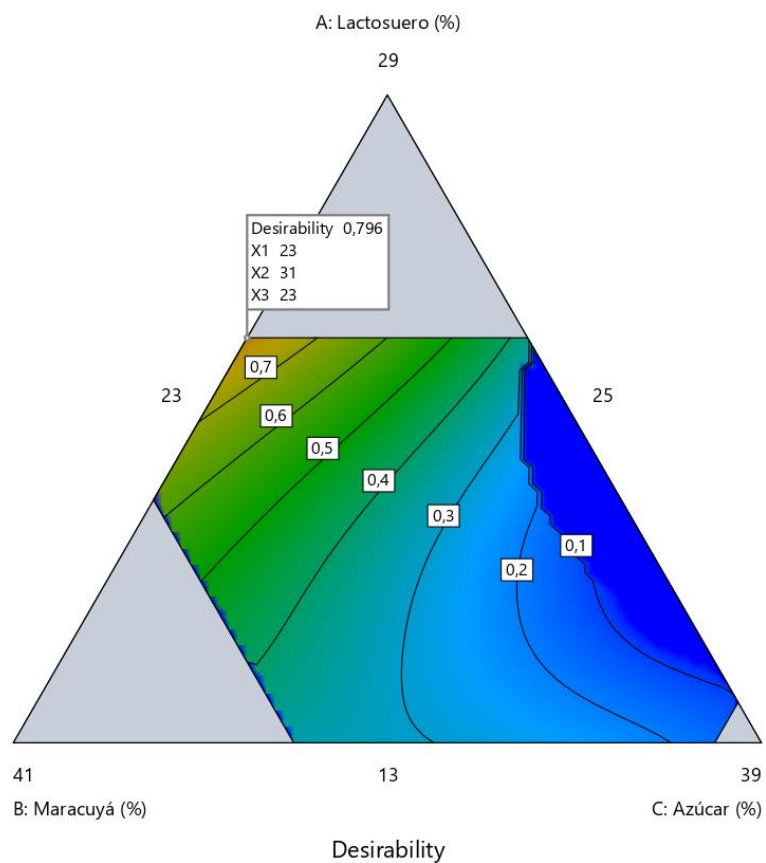


Figura 15. Curvas de nivel para los componentes lactosuero de quesería (%), maracuyá (%) y azúcar de caña (%) para las condiciones optimas

Fuente: Desarrollado con el software Design Expert13.0

El comportamiento de la optimización sensorial múltiple muestra que el lactosuero (23 %) aporta proteínas funcionales que estabilizan la emulsión y mejoran textura y apariencia. También contribuye a la cremosidad sin necesidad de grasas adicionales. El maracuyá (31 %) aporta su color y aroma intensos mejoran significativamente el color y olor percibidos del helado. Además, el ácido natural resalta el sabor y el azúcar (23 %) aporta el dulzor, mejora el sabor y contribuye a la textura al reducir el punto de congelación. La integración de estos ingredientes genera un producto sensorialmente balanceado, nutritivo y atractivo.

Análisis correlacional:

Considerando que las evaluaciones sensoriales resultaron no significativas, se procedió a complementar el análisis estadístico con el análisis de correlación de Pearson (Anexo 11) a fin de determinar posibles tendencias entre las respuestas analizadas y mejorar o confirmar las tendencias halladas como aparentemente no significativas

Correlaciones Fuertes ($r > 0,8$):

- Olor vs. Textura ($r = 0,907$, $p = 0,001$): Esta correlación sugiere que los panelistas asociaron positivamente el olor característico del maracuyá con una textura cremosa y suave. Esto podría deberse a

que el aroma frutal enmascaró posibles defectos de textura o generó una expectativa sensorial positiva.

- Color vs. Acidez ($r = 0,877$, $p = 0,002$): El color amarillo intenso del maracuyá está directamente relacionado con su acidez natural. Esta correlación confirma que el jugo de maracuyá no solo aportó pigmentos, sino también acidez, afectando simultáneamente ambas propiedades.

Correlaciones moderadas ($r = 0,7 - 0,8$):

- Apariencia vs. Olor ($r = 0,774$, $p = 0,014$) y Apariencia vs. Textura ($r = 0,752$, $p = 0,019$): La apariencia del helado estuvo influenciada por el olor y la textura, indicando que los panelistas percibieron de manera integral estos atributos.
- Apariencia vs. Sólidos Solubles ($r = -0,693$, $p = 0,038$): Una correlación negativa moderada sugiere que a mayor contenido de azúcar (y por ende, mayor °Brix), la apariencia fue menos aceptada. Posiblemente, un exceso de azúcar afectó el color o la homogeneidad visual del helado.

Otras correlaciones relevantes:

- Sabor vs. Proteínas ($r = 0,678$, $p = 0,045$): El contenido de proteínas del lactosuero mejoró la percepción del sabor, posiblemente debido a su capacidad de retener compuestos volátiles y modular la liberación de sabores.
- Viscosidad vs. Sólidos Solubles ($r = 0,567$, $p = 0,111$): Aunque no significativa al 5 %, esta tendencia positiva indica que el azúcar contribuyó al aumento de la viscosidad, coincidiendo con lo reportado en los resultados.

5.1.5 El flujo definitivo

El proceso de elaboración del helado (Figura 16) inicia con una mezcla de lactosuero (23 %), crema de leche, leche en polvo, goma xantana y lecitina, seguido de pasteurización a 75°C durante 10 minutos. Posteriormente, se agrega el jugo de maracuyá (X2) y el azúcar (X3) para formar la mezcla base, que se enfría a 10°C, se refrigera a 5°C por 24 horas, se bate a -5°C durante 15 minutos, y finalmente se envasa y almacena a -5°C. Este flujo garantiza estabilidad y calidad del producto.

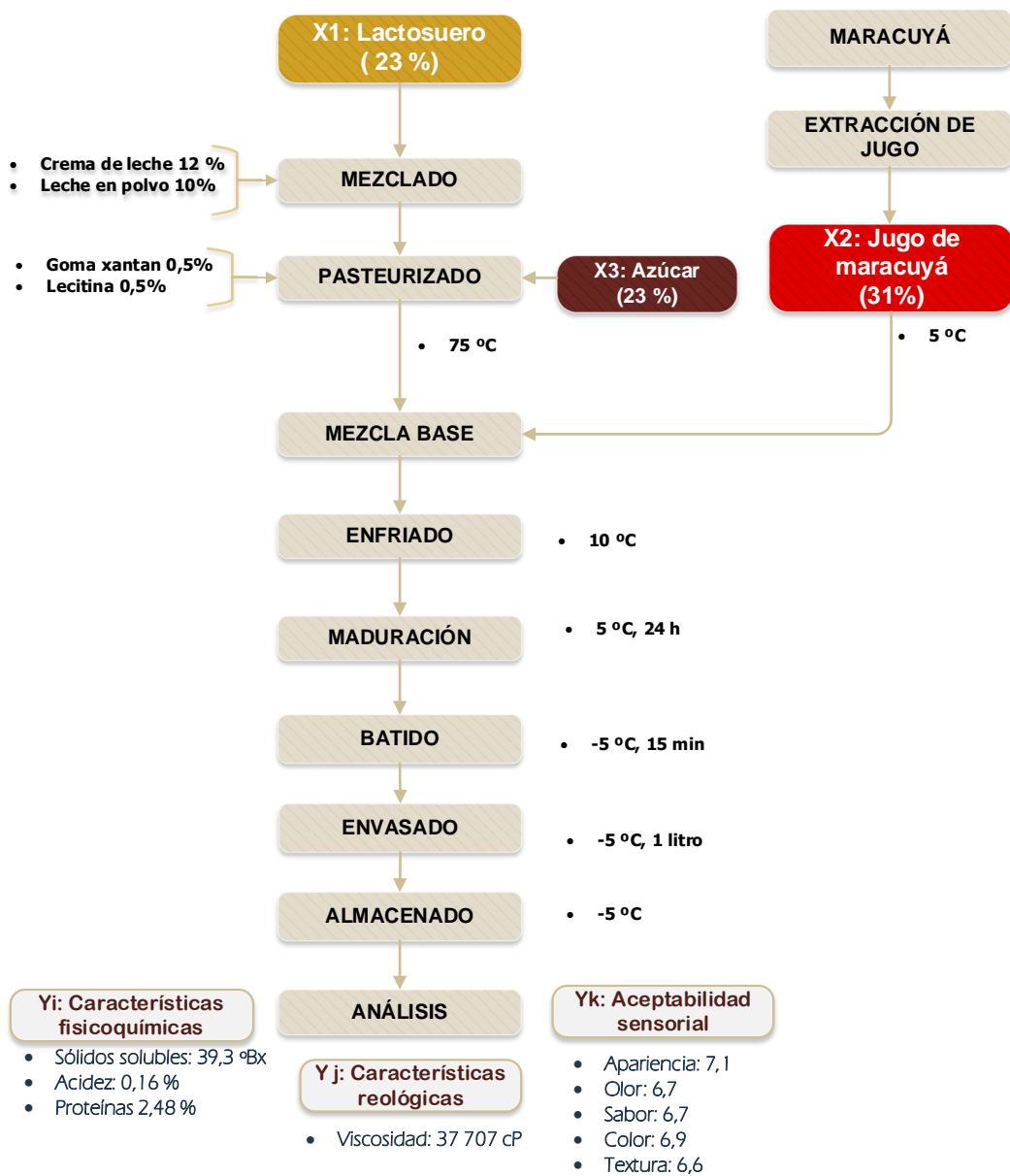


Figura 16. Flujo optimizado de elaboración del helado de lactosero con maracuyá

Fuente: Elaboración propia (2025)

- **Aceptabilidad del helado optimizado**

Los resultados de los atributos sensoriales en base a la Escala hedónica de 9 puntos dieron como resultado un perfil sensorial (Figura 17) con aceptabilidad de la apariencia: 7,1 calificando como "Me gusta mucho". El olor 6,7 calificando como "Me gusta moderadamente" a "Me gusta mucho". Sabor 6,7 categorizando entre "Me gusta moderadamente" a "Me gusta mucho". Textura con 6,6 calificando como "Me gusta moderadamente". Además, el valor de Desirabilidad 0,796 indica una alta aceptabilidad sensorial, destacando la apariencia como el atributo mejor valorado. La textura, aunque ligeramente inferior, sigue siendo aceptable.

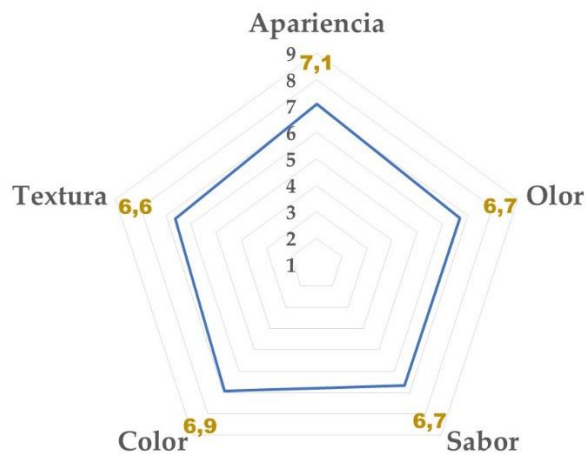


Figura 17. Perfil sensorial del helado de maracuyá optimizado
Fuente: Elaboración propia (2025)

- **Características fisicoquímicas del helado optimizado**

Los resultados fisicoquímicos en contrastación con la norma NTP 202.057:2006 (Revisada 2018) revela en los Sólidos Solubles (Brix): 39,3°Bx que estos valores elevados son típicos en helados debido al contenido de azúcar y sólidos lácteos. La norma permite altos niveles de sólidos para garantizar cuerpo y textura, aunque se recomienda equilibrio para evitar excesiva dulzura. Las proteínas con 2,48 % cumple con los requisitos mínimos para productos lácteos, aportando estructura y estabilidad al helado. Asimismo el contenido de acidez del helado optimizado de 0,16 % no supera el recomendado por la FDA y eCFR (2025) que sugieren un máximo de 0,17 % para helados y natillas congeladas. Por lo tanto, el producto cumple con los parámetros fisicoquímicos esenciales de la norma peruana e internacional.

- **Características reológicas del helado optimizado**

La Tabla 11 muestra los valores de viscosidad aparente obtenidos de la muestra optimizada del helado de maracuyá en condición de mezcla base a 19 °C. asimismo, la Figura 19 muestra el comportamiento reológico al ajustar la ecuación de potencia a la mezcla base del helado optimizado de maracuyá medida a 19 °C, a fin de determinar las características del tipo de fluido.

Tabla 11. Velocidad de corte y viscosidad aparente de la mezcla base del helado optimizado

RPM ¹	U cP ²	X= N rps (1/s)	Y= U (Pa.s ⁻¹)
2,5	58 320	0,04	58,32
3	37 800	0,05	37,80
6	21 400	0,10	21,40
10	13 020	0,17	13,02
20	7 050	0,33	7,05
30	4 440	0,50	4,44
60	2 880	1,00	2,88

Fuente: Lecturas con viscosímetro digital brokfield ^{1,2}: RPM = revoluciones por minuto, rps = revoluciones por segundo, U cp = viscosidad aparente.

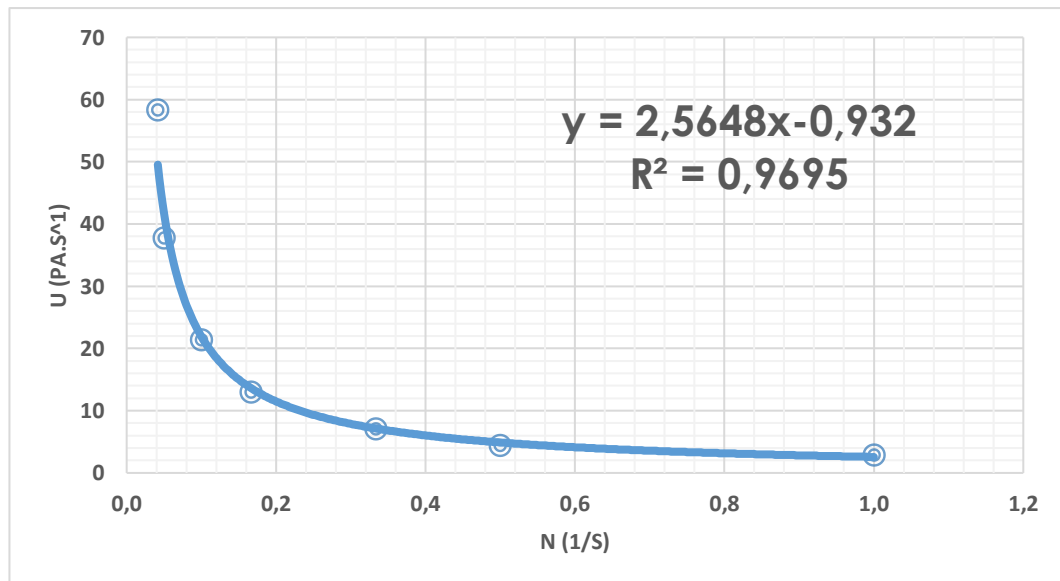


Figura 18. Análisis reológico del helado optimizado

Fuente: Datos de lectura de Tabla 11.

El comportamiento reológico de la mezcla base de helado de maracuyá a 19 °C presenta un comportamiento pseudoplástico o adelgazante por cizalla, cómo se observa en la Figura 19 con $n = 0,0683$ ($n < 1$). Esto significa que la viscosidad disminuye al aumentar la velocidad de corte. El coeficiente $R^2 = 0,9695$ indica un ajuste excelente del modelo de la Ley de Potencia a los datos experimentales. Este comportamiento pseudoplástico es típico y deseable en helados, ya que facilita el bombeo y la extrusión durante el procesamiento, mejorando la manejabilidad del producto. Estos resultados confirman que el valor de viscosidad aparente del helado optimizado de 37 707 cP se correlaciona con un comportamiento de fluido pseudoplástico.

- **Composición proximal del helado optimizado**

Según la Tabla 12 el "helado optimizado" (Figura 18) presentado, con 2,52% de grasa y 2,82 % de proteína, es un producto que podría clasificar dentro de categorías como "Helado de Leche" según la NTP peruana, o "Milk Ice" (Helado de leche) según el CODEX, siempre y cuando cumpla con los requisitos específicos de grasa láctea mínima (que podría ser de 2.5% o similar para estas categorías) y sólidos lácteos no grasos/proteínas lácteas (el 2,82 % de proteína láctea es un buen indicativo).

Tabla 12. Composición proximal de las principales materias primas y el helado optimizado

Componentes (%)	Maracuyá	Lactosuero	Azúcar	Helado optimizado
Proteínas	0,40	0,90	0,00	2,82
Humedad	80,62	92,54	0,18	58,26
Grasa	0,20	0,70	0,00	2,52
Fibra	0,03	0,00	0,00	0,04
Cenizas	0,65	0,40	0,60	2,63
Carbohidratos	18,10	5,46	99,22	33,73

Fuente: Elaboración propia (2025)



Figura 19. *Helado optimizado de lactosuero y maracuyá*

Fuente: Elaboración propia (2025)

- Balance de materia del helado optimizado

La Tabla 13 muestra el balance de materia para el helado optimizado elaborado a nivel de laboratorio considerando a las materias primas e ingredientes que conforman la mezcla final enfriada como base para el cálculo del rendimiento, que resulto en un 85 %.

Tabla 13. Balance de materia

Operaciones	Ingreso	Salida	Continua
Mezclado			
Lactosuero (ml)	230	0	230
Azúcar (g)	230	0	230
Crema (g)	120	0	120
Goma (g)	5	0	5
Lecitina (g)	5	0	5
Leche en polvo (g)	100	0	100
Pasteurizado (g)	690	0	690
Mezcla base	690	0	690
Maracuyá(ml)	310	0	310
Enfriado (g)	1 000	0	1 000
Maduración (g)	1 000	0	1 000
Batido (g)	1 000	150	850
Envasado (g)	850	0	850
Almacenado (g)	850	0	850
Rendimiento (g)			85,0%

Fuente: Elaboración propia (2025)

5.2 DISCUSIÓN

5.2.1 Características fisicoquímicas

5.2.1.1 Sólidos solubles

Los sólidos solubles constituyen un parámetro de calidad determinante puesto que se relacionan directamente con el dulzor, el cuerpo y el punto de congelación del helado. Un mayor valor Brix indica mayor cantidad de sólidos solubles, afectando tanto la textura como la estabilidad del helado. El azúcar es responsable del aumento más fuerte en Brix. Además de dulzor, ayuda a modular la cristalización del agua. El lactosuero, aunque con menor contenido de azúcares que la leche, contiene sólidos solubles como proteínas y lactosa que también suman a Brix. Y la Maracuyá Contribuye con azúcares naturales y compuestos ácidos, alterando ligeramente el perfil sensorial.

Aime et al. (2001) indicaron que las variaciones en proteínas y azúcares afectan propiedades como viscosidad y dulzor. Confirmaron que el contenido de azúcar es el principal determinante de Brix y dulzor en helados funcionales. Por otro lado Goff (1997) analizó el papel de proteínas lácteas (como el lactosuero) en la estructura de helados. Apoya que el lactosuero contribuye tanto a la viscosidad como a los sólidos solubles, afectando Brix y textura. Goh et al. (2006) investigaron sustitutos y

adiciones saludables (como frutas y fibras) en formulaciones de helado. Consideran a la Maracuyá como fuente de pectinas y compuestos solubles que puede contribuir tanto a la textura como a los grados Brix, en línea con el estudio.

El modelo estadístico para grados Brix es robusto, con alta significancia y predictibilidad. Tecnológicamente, los resultados validan la influencia clave del azúcar, con contribuciones adicionales de lactosuero y maracuyá. Estos hallazgos están bien respaldados por la literatura científica, lo que refuerza la validez del modelo y la formulación experimental.

5.2.1.2 Acidez

Muse y Hartel (2004) demostraron cómo los componentes ácidos, incluyendo frutas, pueden modificar la microestructura y estabilidad del helado. Coincide con los hallazgos actuales al destacar que frutas ácidas como el maracuyá influyen fuertemente en la acidez, modificando además la sinéresis y textura del producto congelado.

Homayouni et al. (2008) evaluaron el impacto de jugos ácidos (como granada y naranja) en la acidez y aceptabilidad del helado. Encontraron

que jugos ricos en ácidos orgánicos, similar al maracuyá, elevan significativamente la acidez, afectando la percepción sensorial, especialmente en lo que respecta a la frescura del sabor.

Aime et al. (2001) enfatizan que tanto los componentes lácteos como los edulcorantes influyen en la percepción de acidez y dulzor, lo cual se alinea con el efecto observado del lactosuero y azúcar. Ellos encontraron que un balance adecuado entre estos ingredientes puede mejorar la aceptación sensorial general del producto, incluso si la acidez es moderadamente elevada. Desde el punto de vista tecnológico, la acidez es un parámetro clave en productos lácteos congelados, ya que afecta el sabor, la estabilidad microbiológica y la percepción sensorial del producto.

5.2.1.3 Proteínas

Los resultados obtenidos demuestran que, para maximizar el porcentaje de proteínas en el helado, es necesario aumentar la proporción de lactosuero en la mezcla, mientras que incrementos en maracuyá o azúcar tienden a disminuir el contenido proteico. Así, la formulación óptima para un helado con mayor contenido proteico se encuentra en la región donde el lactosuero es el componente predominante, y tanto el jugo de maracuyá como el azúcar están en proporciones menores.

Al respecto Marshall et al. (2003) y Muse & Hartel (2004) afirman que el lactosuero mejora la textura, dureza y estabilidad de los helados, aumentando su contenido proteico sin afectar el sabor. Parra (2009) destaca su alto valor biológico, por el contenido de un 26% de aminoácidos esenciales, mientras que Soukoulis et al. (2009) observaron comportamientos sinérgicos entre proteínas y azúcares que mejoran la aireación y estabilidad del helado.

5.2.2 Viscosidad

En relación con la viscosidad y las propiedades reológicas, se constató que los modelos empleados no alcanzaron significancia estadística, aunque se identificaron tendencias relevantes en función de las proporciones de los ingredientes. Esta situación difiere de lo señalado por Salem et al. (2016) quienes reportaron una influencia clara de las proteínas de suero en la viscosidad de helados bajos en grasa. Una explicación posible radica en que la interacción con el ácido presente en el maracuyá pudo haber interferido con la formación de redes proteicas estables, lo que plantea la necesidad de explorar el comportamiento reológico del suero en combinación con matrices frutales de alta acidez.

Por otro lado Goff (1997) analizó cómo los ingredientes afectan la microestructura y reología del helado. Resalta el impacto del contenido de sólidos y azúcares en la viscosidad, muy alineado con el efecto significativo del azúcar observado en el modelo obtenido. Asimismo, Muse & Hartel (2004) al evaluar ingredientes como las proteínas y azúcares afectan la estabilidad del helado, encontraron que las proteínas del lactosuero tienen un rol clave en formar estructuras viscosas estables, reforzando los efectos observados en el experimento.

La viscosidad aparente (Figura 19) del helado optimizado (37 707 cP a 11°C) indica según Rao (2014) un comportamiento de fluido no newtoniano, específicamente pseudoplástico ($n=0,068$) o de tipo Herschel-Bulkley, donde la viscosidad disminuye al aumentar el esfuerzo cortante. Los sólidos solubles (39,3 °Brix) y las proteínas del lactosuero (2,48 %) contribuyen a una estructura coloidal que imparte resistencia al flujo, pero la presencia de partículas en suspensión (cristales de hielo, burbujas de aire) y biopolímeros (goma xantana) hace que la viscosidad dependa de la tasa de cizallamiento. No es un fluido newtoniano, pues su viscosidad absoluta no es constante, sino que varía con las condiciones de procesamiento y medición, es decir que las lecturas medidas se analizaron como viscosidades aparentes.

5.2.3 Características sensoriales

5.2.3.1 Aceptabilidad de la apariencia

Tharp y Young (2012) Resaltaron la importancia de la apariencia como primer criterio de aceptación, vinculando color y textura superficial con una percepción positiva, especialmente en productos con frutas tropicales. Peres et al. (2024) en helados de mango, hallaron que la apariencia mejoraba con azúcares naturales y bases lácteas que estabilizan color, coincidiendo con el rol positivo del lactosuero y azúcar. Adhikari et al. (2020) destacaron cómo la homogeneidad y color uniforme son fundamentales en la aceptabilidad visual, lo cual se ve reflejado en este estudio al observarse altos niveles de aceptación con proporciones balanceadas.

5.2.3.2 Aceptabilidad del olor

Las curvas de nivel muestran que la combinación lactosuero-maracuyá presenta un efecto antagónico significativo (coeficiente AB = -3,40), donde incrementos simultáneos de ambos componentes reducen la aceptabilidad del olor. Esta interacción podría relacionarse con la formación de complejos proteína-ácido: las caseínas del lactosuero (80 % de su composición proteica) podrían precipitarse ante el pH ácido del maracuyá ($\approx 3,5$), generando compuestos volátiles no deseables.

Soukoulis et al. (2009) en su revisión sobre reducción de azúcar en helados, destacan que valores inferiores al 10 % requieren compensación con edulcorantes no calóricos, lo que justifica el coeficiente moderado del azúcar (6,24) en este modelo y su papel como balanceador de acidez.

Güven et al. (2003) afirman que, en helados con suero de leche y frutas, reportaron que altos niveles de suero pueden afectar negativamente el perfil sensorial si no se balancea bien. Esto se alinea con los efectos negativos de la interacción AB y AC.

Las curvas de nivel sugieren una zona óptima entre 12-18 % de lactosuero, 5-8 % de maracuyá y 6-9 % de azúcar, donde se mantiene la aceptabilidad del olor > 6,5 puntos. Estos rangos coinciden con las recomendaciones de Aime et al. (2001) para sistemas lácteo-frutales, que destacan la importancia de mantener relaciones lactosuero:fruta $\leq 3:1$ para evitar interacciones proteína-ácido críticas. El desafío tecnológico principal radica en estabilizar las proteínas del suero mediante tratamientos térmicos controlados (72°C/15 s) antes de la incorporación del componente ácido.

5.2.3.3 Aceptabilidad del sabor

La combinación lactosuero-maracuyá muestra un efecto antagónico significativo (-1,42 puntos), evidenciado en las curvas de nivel donde incrementos simultáneos de ambos componentes reducen la aceptabilidad global. Esto podría relacionarse con interacciones proteína-ácido que afectan la percepción sensorial, donde el exceso de proteínas del suero lácteo (80% caseína) y la acidez del maracuyá (pH ~3.5) generan posibles sinergias no deseadas.

Cais-Sokolinska (2018) en su estudio con helados de suero lácteo demuestran que concentraciones del 15-20% mejoran la textura y aceptabilidad, coincidiendo con el alto coeficiente individual del lactosuero en este estudio. (da Silva et al., 2020) demostraron que optimizar la proporción de maracuyá (17,7 %) en el helado es fundamental, ya que las interacciones con los componentes lácteos alteran la percepción de acidez y estabilidad, similar a los efectos observados en helados a base de suero por (Kamińska-Dwórznička et al., 2022) y (Sakkas et al., 2023) en formulaciones con suero ácido. (Soukoulis et al., 2009) en su revisión sobre reducción de azúcar en helados, destacan que valores inferiores al 10% requieren compensación con edulcorantes o fibra, lo que justifica el coeficiente moderado del azúcar en este modelo.

Clarke (2012) discute ampliamente cómo los azúcares y ácidos de frutas como el maracuyá que afectan la percepción del sabor. Destaca que, aunque estas frutas mejoran la frescura sensorial, su combinación con ingredientes lácteos debe ser cuidadosamente equilibrada para evitar dominancia o enmascaramiento, lo cual coincide con las dificultades estadísticas vistas en el estudio.

Goff y Hartel (2013) afirman que los componentes lácteos como el lactosuero influyen tanto en la textura como en el sabor del helado. Apoyan el uso de modelos de superficie de respuesta (RSM) para optimizar la formulación, tal como se realizó en el presente estudio, y señalan que una interacción mal balanceada entre ingredientes puede llevar a resultados sensoriales no óptimos. Aime et al. (2001) demostraron que la reducción de grasa mediante ingredientes alternativos como proteínas de suero modificaba la textura y el sabor, pero era posible mantener la aceptabilidad sensorial mediante ajustes finos de formulación. Esta necesidad de balanceo refleja lo observado en el presente estudio con lactosuero, maracuyá y azúcar.

5.2.3.4 Aceptabilidad del color

Aunque los resultados no muestran una significancia estadística fuerte, resaltan tendencias importantes y la necesidad de un equilibrio cuidadoso en la formulación del helado. La comparación con investigaciones internacionales subraya la complejidad de optimizar las propiedades sensoriales de los helados y la importancia de considerar las interacciones entre los componentes. Goff & Hartel (2013) destacan que el color en helados depende críticamente de la concentración de frutas y azúcares, coincidiendo con los altos coeficientes del maracuyá (6,90) y azúcar (6,24) en este estudio. Sin embargo, enfatizan que interacciones complejas con proteínas (como el lactosuero) pueden afectar la percepción visual, lo que explica los coeficientes negativos observados en AB y AC.

Soukoulis et al. (2009) analizaron helados con suero de leche y frutas, reportando que altos niveles de lactosuero pueden diluir pigmentos naturales, reduciendo la intensidad del color. Esto respalda los hallazgos de que el lactosuero (VIF=30 indicando multicolinealidad) tiene un efecto limitado o negativo en la aceptabilidad del color. Cruz et al., (2009) evaluaron helados con jugos tropicales, observando que el azúcar no solo endulza, sino que también estabiliza los pigmentos frutales. Esto coincide con el alto coeficiente del azúcar aquí, aunque su estudio sugiere que un

10-15% de azúcar optimiza el color, mientras que este modelo no identifica un rango óptimo claro debido a la baja predictividad ($R^2=0,4883$).

Aunque los resultados coinciden con lo reportado en la literatura, la baja significancia estadística indica que se requieren más réplicas o la incorporación de variables adicionales, como el pH o el tipo de pigmentos. Los autores mencionados subrayan la importancia del equilibrio entre la fruta y el azúcar, y destacan que el lactosuero debe dosificarse con cuidado para no afectar el color.

5.2.3.5 Aceptabilidad de la textura

El lactosuero muestra el coeficiente individual más alto (7,08), destacando su papel positivo en la percepción de textura, probablemente por su contenido de proteínas lácteas (80 % caseína) que contribuyen a la estructura del gel. La interacción lactosuero-azúcar sugiere un efecto antagónico, donde aumentos simultáneos reducen la aceptabilidad. Esto podría relacionarse con la capacidad del azúcar para modificar la hidratación de las proteínas, afectando la viscosidad y formación de cristales de hielo. Las curvas de nivel evidencian una zona crítica cuando el lactosuero supera el 15 % combinado con maracuyá >10 %, donde la

textura se percibe como "arenosa" por posible precipitación de proteínas ante el pH ácido del maracuyá ($\approx 3,5$).

Cais-Sokolinska (2018) en helados con 12-18 % de lactosuero reportaron mejoras en cremosidad, coincidiendo con su alto coeficiente individual aquí. No obstante, advierten que concentraciones >20 % generan textura granulosa, explicando la necesidad de optimizar su proporción con componentes ácidos. Kamińska-Dwórznička et al. (2022) confirmaron que los estabilizadores mejoran significativamente las propiedades físicas de los helados a base de suero, mientras que Sakkas et al. (2023) verificaron que las proporciones optimizadas de suero ácido (12,5 %) son esenciales para mantener la aceptabilidad sensorial y la textura del producto.

La influencia positiva del lactosuero en la textura del helado puede atribuirse a su contenido de proteínas y minerales, que contribuyen a una estructura más cremosa y estable. Según Goff & Hartel (2013), las proteínas del suero lácteo mejoran la capacidad de retención de aire y la viscosidad de la mezcla, favoreciendo la percepción de una textura suave y agradable.

Por otro lado, el jugo de maracuyá, aunque aporta un sabor distintivo y atractivo, contiene ácidos y compuestos fenólicos que pueden interferir

con la estabilidad de la emulsión y la formación de cristales de hielo, afectando negativamente la textura del helado. Echeverría et al. (2015) encontraron que altas concentraciones de maracuyá en helados pueden disminuir la aceptabilidad sensorial debido a estos efectos.

El contenido de azúcar también desempeña un papel crucial en la textura del helado. Un nivel moderado de azúcar no solo proporciona dulzor, sino que también influye en el punto de congelación y la formación de cristales de hielo. Un exceso de azúcar puede resultar en una textura pegajosa o demasiado blanda, mientras que una cantidad insuficiente puede llevar a una textura dura y menos agradable (Marshall et al., 2003).

Análisis correlacional

El análisis de correlación de Pearson reveló interacciones clave no capturadas completamente por los modelos RSM, lo cual es común cuando los efectos de los ingredientes son altamente interdependientes o cuando las respuestas sensoriales son multifactoriales (Granato et al., 2014).

- Relación Olor-Textura: La fuerte correlación entre olor y textura ($r = 0,907$) sugiere un efecto de halo sensorial, donde un atributo positivo (olor frutal) influyó en la percepción de otro (textura). Este fenómeno ha sido documentado en helados con frutas tropicales, donde el

aroma característico enmascara defectos de textura (Cruz et al., 2009).

- Color y Acidez: La correlación entre color y acidez ($r = 0,877$) confirma que el maracuyá actuó como un ingrediente multifuncional, aportando simultáneamente color y acidez. Esto es consistente con estudios previos donde pigmentos naturales como los carotenoides están asociados con ácidos orgánicos en frutas (Bhat & Paliyath, 2016).
- Influencia del Azúcar: La correlación negativa entre apariencia y sólidos solubles sugiere que altos niveles de azúcar pueden afectar negativamente la apariencia, posiblemente debido a una cristalización superficial o a un color muy pálido. Esto refuerza la necesidad de optimizar el azúcar para equilibrar dulzor y características visuales.
- Respecto a la Optimización: Las correlaciones encontradas respaldan la formulación óptima obtenida (23 % lactosuero, 31 % maracuyá, 23 % azúcar), donde se equilibran las propiedades sensoriales y fisicoquímicas. Por ejemplo, el contenido moderado de azúcar evita afectar la apariencia, mientras que el lactosuero y maracuyá sinergizan positivamente en sabor y textura.

Es decir, el análisis de correlación complementó efectivamente a los modelos RSM al identificar relaciones lineales significativas entre variables sensoriales, fisicoquímicas y reológicas. Estas relaciones explican por qué ciertos atributos como la textura y el olor fueron percibidos de manera conjunta por los panelistas, y proporcionan una base científica para ajustes finos en la formulación del helado.

5.2.3.6 Tratamiento óptimo

El tratamiento óptimo con 23% lactosuero, 31 % maracuyá y 23 % azúcar maximiza la aceptación sensorial del helado. Las curvas de nivel reflejan visualmente esta optimización a través de la función de deseabilidad. Estudios internacionales respaldan que un balance preciso de ingredientes funcionales mejora notablemente la experiencia sensorial del consumidor. Akın et al. (2007) reportaron que sustitutos naturales como lactosa y prebióticos aumentan la calidad sensorial, especialmente en textura y sabor, similares al rol del lactosuero en el estudio.

Sofjan y Hartel (2004) enfatizaron cómo el equilibrio de ingredientes afecta la apariencia, textura y cremosidad, destacando que formulaciones óptimas logran altos niveles de aceptación sensorial. Cruz et al. (2009) demostraron que combinaciones adecuadas de ingredientes funcionales

(proteínas, frutas) aumentan la aceptación general del consumidor, muy en línea con la estrategia usada en la optimización aplicada para el helado de maracuyá. Comportamiento similar a lo desarrollado por Granato et al. (2012) desarrollaron un postre a base de soya estable y agradable al paladar con la adición de proteína de soya y jugo de maracuyá donde muestras que contenían entre 25 a 35 % de maracuyá presentaron puntuaciones hedónicas medias similares a la de "Me gusta moderadamente" en los atributos sensoriales, resultado similar al obtenido para el helado de maracuyá optimizado.

La optimización de la mezcla permitió alcanzar una deseabilidad de 0,796, valor que refleja un balance entre atributos nutricionales y sensoriales. En este sentido, los hallazgos reafirman la pertinencia de emplear metodologías de superficie de respuesta en el diseño de alimentos funcionales, tal como lo señalaron Oliveira et al. (2017) en bebidas lácteas mixtas.

CONCLUSIONES

1. Respecto al primer objetivo específico, se determinó que las concentraciones de lactosuero, jugo de maracuyá y azúcar afectaron significativamente (p valor $<0,05$) las características fisicoquímicas del helado, particularmente los grados Brix y la acidez, validado por modelos estadísticamente significativos.
2. En cuanto al segundo objetivo específico, se encontró que las concentraciones de los componentes influyeron en las características reológicas, específicamente la viscosidad. Sin embargo, el modelo estadístico de la viscosidad no resultó significativo al nivel del 5 %.
3. Cumpliendo con el tercer objetivo específico, se logró establecer una mezcla óptima de lactosuero (23 %), maracuyá (31 %) y azúcar (23 %), la cual maximizó la aceptabilidad sensorial general del helado, obteniendo un índice de deseabilidad de 0,796 y altas calificaciones en la escala hedónica para atributos clave como apariencia, olor, sabor y textura.

RECOMENDACIONES

1. Respecto a las características fisicoquímicas (alineado con el objetivo i), se recomienda realizar análisis más detallados sobre la interacción específica de las proteínas del lactosuero con los ácidos del maracuyá, considerando que el modelo para proteínas no fue estadísticamente significativo, lo que podría mejorar la comprensión y control de la composición final.
2. En relación a las propiedades reológicas, se sugiere llevar a cabo investigaciones adicionales con un diseño experimental refinado o incluyendo otras variables del proceso de elaboración para obtener un modelo estadístico más robusto y significativo que permita una mejor predicción y optimización de la viscosidad del helado.
3. Con el fin de consolidar la mezcla óptima establecida, se recomienda evaluar la estabilidad de almacenamiento del helado optimizado y realizar pruebas de aceptación sensorial a gran escala con paneles de consumidores más amplios para confirmar su viabilidad comercial y aceptación en condiciones reales del mercado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acham, I. O., Ahemen, S., Ukeyima, M. T., & Girgih, A. T. (2018). Tropical Fruits: Bioactive Properties and Health Promoting Benefits in Chronic Disease Prevention and Management. *Asian Food Science Journal*, 1-13. <https://doi.org/10.9734/AFSJ/2018/41853>
- Adhikari, B. M., Truong, T., Prakash, S., Bansal, N., & Bhandari, B. (2020). Impact of incorporation of CO₂ on the melting, texture and sensory attributes of soft-serve ice cream. *International Dairy Journal*, 109, 104789. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2020.104789>
- Aime, D. B., Arntfield, S. D., Malcolmson, L. J., & Ryland, D. (2001). Textural analysis of fat reduced vanilla ice cream products. *Food Research International*, 34(2), 237-246. [https://doi.org/10.1016/S0963-9969\(00\)00160-5](https://doi.org/10.1016/S0963-9969(00)00160-5)
- Akın, M. B., Akın, M. S., & Kırmacı, Z. (2007). Effects of inulin and sugar levels on the viability of yogurt and probiotic bacteria and the physical and sensory characteristics in probiotic ice-cream. *Food Chemistry*, 104(1), 93-99. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.11.030>
- Ambrósio-Ugri, M. C. B., & Akashi, M. S. (2013). Aceitação sensorial de sorvete de cupuaçu com baixo teor de lactose. *Revista Tecnológica*, 22(1), Article 1. <https://doi.org/10.4025/revtecnol.v22i1.10612>

- A.O.A.C. (1981). *Official methods of analysis* (13 ed). Association of Official Analytical Chemists.
- Aponte, A. P., Prieto, G. A., Castellanos, Y. T., Muvdi, C. D. J., & Yurievich, I. (2023). Review. Aplicaciones del lactosuero y sus derivados proteínicos. *Ciencia en Desarrollo*, 14(2), 139-155. <https://doi.org/10.19053/01217488.v14.n2.2023.15002>
- Arbuckle, W. S. (1986). *Ice Cream*. Springer US. <https://doi.org/10.1007/978-1-4615-7222-0>
- Ashenafi, N., Mezgebe, A. G., & Leka, E. (2023). Optimization of amount of spices, roasting temperature and time for field pea (*Pisum Sativum*) Shiro flour using response surface methodology. *Applied Food Research*, 3(1), 100257. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2022.100257>
- Bahramparvar, M., & Mazaheri Tehrani, M. (2011). Application and Functions of Stabilizers in Ice Cream. *Food Reviews International*, 27(4), 389-407. <https://doi.org/10.1080/87559129.2011.563399>
- Balthazar, C., Azevedo, H., Nunes, R., Esmerino, E., Cappato, L. P., Abud, Y., Moraes, J., Andrade, M. M., Freitas, M., Sant'Anna, C., Raices, R., & Silva, M. (2017). Prebiotics addition in sheep milk ice cream: A rheological, microstructural and sensory study. *Journal of Functional Foods*, 35. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2017.06.004>

- Beserra, M. M., Machado, P. H., Campos, Â. M., do Prado, G. M., de Carvalho, C. E., Arraes, G., & Gomez, T. L. (2011). Bioactive compounds and antioxidant activity of fresh exotic fruits from northeastern Brazil. *Food Research International*, 44(7), 2155-2159. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.03.051>
- Bhat, R., & Paliyath, G. (2016). Fruits of Tropical Climates: Dietary Importance and Health Benefits. En B. Caballero, P. M. Finglas, & F. Toldrá (Eds.), *Encyclopedia of Food and Health* (pp. 144-149). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00338-X>
- Biasutti, M., Venir, E., Marino, M., Maifreni, M., & Innocente, N. (2013). Effects of high pressure homogenisation of ice cream mix on the physical and structural properties of ice cream. *International Dairy Journal*, 32(1), 40-45. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2013.03.007>
- Boland, M. (2011). *Handbook of food proteins. 3 Whey proteins* (G. Phillips & P. Williams, Eds.). Woodhead Publishing Limited.
- Britannica. (2024, agosto 2). *Viscosity | Definition, Facts, Formula, Units, & Examples* | <https://www.britannica.com/science/viscosity>
- Brunning, A. (2015, julio 14). *The Chemistry of Ice Cream – Components, Structure, & Flavour*. Compound Interest. <https://www.compoundchem.com/2015/07/14/ice-cream/>

- Byju's. (2023). *Difference between insoluble and soluble solid*.
<https://byjus.com/question-answer/difference-between-insoluble-and-soluble-solid/>
- Cais-Sokolinska, D. (2018). *Desery mleczne i lody*. In *Produkty mleczne. Technologia i rola w żywieniu człowieka*. 147-154.
<https://orcid.org/0000-0003-1174-1915>
- Caniyilmaz, E., Atalay, B., & Karaman, S. (2016). Optimization of Formulation Ingredients and Aging Time for Ice Cream Processing Using Combined Design Approach: Optimization of Ingredients for Ice Cream Processing. *Journal of Food Processing and Preservation*, 40. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12718>
- Chacón Gurrola, L. R., Chávez-Martínez, A., Rentería-Monterrubio, A. L., & Rodríguez-Figueroa, J. C. (2017). Proteínas del lactosuero: Usos, relación con la salud y bioactividades. *Interciencia*, 42(11), 712-718.
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33953499002>
- Chang, R., & Goldsby, K. A. (with Álvarez Manzo, R., & Ponce López, S.). (2013). *Química* (S. Sarmiento Ortega & E. Jasso Hernán, Trads.; Undécima edición). McGraw-Hill/Interamericana.
- Chateau Hetsakais. (2023). *Measuring Total Acidity or Titratable Acidity*. Chateau Hetsakais. <http://chateauhetsakais.com/total-acidity>
- Clarke, C. (2012). *The science of ice cream* (2nd ed). RSC Publishing.

- Colmenares, A. P. A., Suárez, G. A. P., Báez, Y. T. C., Nova, C. de J. M., & Sakharov, I. Y. (2023). Review. Aplicaciones del lactosuero y sus derivados proteínicos. *Ciencia en Desarrollo*, *14*(2), Article 2. <https://doi.org/10.19053/01217488.v14.n2.2023.15002>
- Cornell, J. (2002). *Experiments with Mixtures: Designs, Models, and the Analysis of Mixture Data*.
- Cruz, A. G., Antunes, A. E. C., Sousa, A. L. O. P., Faria, J. A. F., & Saad, S. M. I. (2009). Ice-cream as a probiotic food carrier. *Food Research International*, *42*(9), 1233-1239. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.03.020>
- da Silva, J. M., Klososki, S. J., Silva, R., Raices, R. S. L., Silva, M. C., Freitas, M. Q., Barão, C. E., & Pimentel, T. C. (2020). Passion fruit-flavored ice cream processed with water-soluble extract of rice by-product: What is the impact of the addition of different prebiotic components? *LWT*, *128*, 109472. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109472>
- Danesh, E., Goudarzi, M., & Jooyandeh, H. (2017). Short communication: Effect of whey protein addition and transglutaminase treatment on the physical and sensory properties of reduced-fat ice cream. *Journal of Dairy Science*, *100*(7), 5206-5211. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-12537>

- Drewett, E. M., & Hartel, R. W. (2007). Ice crystallization in a scraped surface freezer. *Journal of Food Engineering*, 78(3), 1060-1066. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.12.018>
- Echeverría, C., Benavides, Y., Gonzales, K., & Siche, R. (2015). Helado sabor a maracuyá (*Passiflora edulis*) de alta aceptabilidad y bajo contenido de grasa a base de plátano (*Musa Paradisiaca L.*) macho y stevia. *Agroindustrial Science*, 5(1), Article 1. <https://doi.org/10.17268/agroind.science.2015.01.08>
- FDA, F. and D. A., & eCFR, C. of F. R. (2025). 21 CFR Part 135 – Frozen Desserts. <https://www.ecfr.gov/current/title-21/chapter-I/subchapter-B/part-135>
- Genovese, A., Balivo, A., Salvati, A., & Sacchi, R. (2022). Functional ice cream health benefits and sensory implications. *Food Research International*, 161, 111858. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111858>
- Goff, H. D. (1997). Colloidal aspects of ice cream—A review. *International Dairy Journal*, 7(6), 363-373. [https://doi.org/10.1016/S0958-6946\(97\)00040-X](https://doi.org/10.1016/S0958-6946(97)00040-X)
- Goff, H. D., & Hartel, R. W. (2013). *Ice Cream*. Springer US. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-6096-1>

- Goff, H. D., Hartel, R. W., & Rankin, S. A. (2025). *Ice cream* (Eighth edition). Springer.
- Goh, K. K. T., Haisman, D. R., & Singh, H. (2006). Characterisation of a high acyl gellan polysaccharide using light scattering and rheological techniques. *Food Hydrocolloids*, 20(2), 176-183. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2004.02.002>
- Granato, D., de Araújo Calado, V. M., & Jarvis, B. (2014). Observations on the use of statistical methods in Food Science and Technology. *Food Research International*, 55, 137-149. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.10.024>
- Granato, D., Masson, M. L., & Ribeiro, J. C. B. (2012). Sensory acceptability and physical stability evaluation of a prebiotic soy-based dessert developed with passion fruit juice. *Food Science and Technology*, 32, 119-126. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612012005000004>
- Gutiérrez, H., & De la Vara, R. (2012). *Análisis y diseño de experimentos*. McGrawHill. <http://www.ebooks7-24.com/?il=375>
- Güven, M., Karaca, O. B., & Kacar, A. (2003). The effects of the combined use of stabilizers containing locust bean gum and of the storage time on Kahramanmaraş-type ice creams. *International Journal of Dairy Technology*, 56(4), 223-228. <https://doi.org/10.1046/j.1471-0307.2003.00108.x>

- Hill, T., Lewicki, P., & Lewicki, P. (2006). *Statistics: Methods and applications: A comprehensive reference for science, industry, and data mining*. StatSoft, Inc.
- Homayouni, A., Azizi, A., Ehsani, M. R., Yarmand, M. S., & Razavi, S. H. (2008). Effect of microencapsulation and resistant starch on the probiotic survival and sensory properties of synbiotic ice cream. *Food Chemistry*, 111(1), 50-55.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.03.036>
- Jain, A., Hurkat, P., & Jain, S. K. (2019). Development of liposomes using formulation by design: Basics to recent advances. *Chemistry and Physics of Lipids*, 224, 104764.
<https://doi.org/10.1016/j.chemphyslip.2019.03.017>
- Jiménez Thorrens, A. M. (2010). *Estudio de los cambios físicos y químicos de la gulupa (Passiflora edulis Sims fo. Edulis) durante la maduración*. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/7600>
- Kamińska-Dwórznička, A., Łaba, S., & Jakubczyk, E. (2022). The effects of selected stabilizers addition on physical properties and changes in crystal structure of whey ice cream. *LWT*, 154, 112841.
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112841>
- Karaca, O. B., Güven, M., Yasar, K., Kaya, S., & Kahyaoglu, T. (2009). The functional, rheological and sensory characteristics of ice creams with

- various fat replacers. *International Journal of Dairy Technology*, 62(1), 93-99. <https://doi.org/10.1111/j.1471-0307.2008.00456.x>
- Kurt, A., Cengiz, A., & Kahyaoglu, T. (2016). The effect of gum tragacanth on the rheological properties of salep based ice cream mix. *Carbohydrate Polymers*, 143, 116-123. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.02.018>
- Layman, D. K., Lönnerdal, B., & Fernstrom, J. D. (2018). Applications for α -lactalbumin in human nutrition. *Nutrition Reviews*, 76(6), 444-460. <https://doi.org/10.1093/nutrit/nuy004>
- Lee, W. J., Shimizu, M., Kniffin, K. M., & Wansink, B. (2013). You taste what you see: Do organic labels bias taste perceptions? *Food Quality and Preference*, 29(1), 33-39. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2013.01.010>
- León-López, A., Pérez-Marroquín, X. A., Estrada-Fernández, A. G., Campos-Lozada, G., Morales-Peñaloza, A., Campos-Montiel, R. G., & Aguirre-Álvarez, G. (2022). Milk Whey Hydrolysates as High Value-Added Natural Polymers: Functional Properties and Applications. *Polymers*, 14(6), Article 6. <https://doi.org/10.3390/polym14061258>
- Madureira, A. R., Pereira, C. I., Gomes, A. M. P., Pintado, M. E., & Xavier Malcata, F. (2007). Bovine whey proteins – Overview on their main

- biological properties. *Food Research International (Ottawa, Ont.)*, 40(10), 1197-1211. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2007.07.005>
- Marshall, R. T., Goff, H. D., & Hartel, R. W. (2003). *Ice cream* (6th ed). Kluwer Academic/Plenum Publishers.
- Mazorra, M. Á., & Moreno, J. M. (2019). Propiedades y opciones para valorizar el lactosuero de la quesería artesanal. *CienciaUAT*, 133-144. <https://doi.org/10.29059/cienciauat.v14i1.1134>
- Mettler Toledo. (2023). *Brix Measurement*. <https://www.mt.com/us/en/home/perm-lp/product-organizations/ana/brix-meters.html>
- Moatsou, G., & Moschopoulou, E. (Eds.). (2022). *Cheese and whey*. MDPI.
- Motta-Correa, Y., & Mosquera, W. J. (2015). AVANCES EN EL APROVECHAMIENTO DEL LACTOSUERO COMO MATERIA PRIMA EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA. *@limentech, Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 13(1). <https://doi.org/10.24054/01204211.v1.n1.2015.1634>
- Muse, M. R., & Hartel, R. W. (2004). Ice Cream Structural Elements that Affect Melting Rate and Hardness. *Journal of Dairy Science*, 87(1), 1-10. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(04\)73135-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)73135-5)

- Myers, R. H., Montgomery, D. C., & Anderson-Cook, C. M. (2016). *Response surface methodology: Process and product optimization using designed experiments* (Fourth edition). Wiley.
- Mykhalevych, A., Buniowska-Olejniki, M., Polishchuk, G., Puchalski, C., Kamińska-Dwórznička, A., & Berthold-Pluta, A. (2024). The Influence of Whey Protein Isolate on the Quality Indicators of Acidophilic Ice Cream Based on Liquid Concentrates of Demineralized Whey. *Foods*, 13(1), Article 1. <https://doi.org/10.3390/foods13010170>
- Oliveira, D. F. de, Granato, D., & Barana, A. C. (2017). Development and optimization of a mixed beverage made of whey and water-soluble soybean extract flavored with chocolate using a simplex-centroid design. *Food Science and Technology*, 38, 413-420. <https://doi.org/10.1590/1678-457X.07017>
- Orives, J. R., Galvan, D., Pereira, J. L., Coppo, R. L., & Borsato, D. (2014). Experimental Design Applied for Cost and Efficiency of Antioxidants in Biodiesel. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 91(10), 1805-1811. <https://doi.org/10.1007/s11746-014-2517-z>
- Panghal, A., Patidar, R., Jaglan, S., Chhikara, N., Khatkar, S. K., Gat, Y., & Sindhu, N. (2018). Whey valorization: Current options and future scenario – a critical review. *Nutrition & Food Science*, 48(3), 520-535. <https://doi.org/10.1108/NFS-01-2018-0017>

- Parra, R. A. (2009). *Lactosuero: Importancia en la industria de alimentos*. 62, 16. <http://www.scielo.org.co/pdf/rfnam/v62n1/a21v62n1.pdf>
- Patel, M. R., Baer, R. J., & Acharya, M. R. (2006). Increasing the Protein Content of Ice Cream¹. *Journal of Dairy Science*, 89(5), 1400-1406. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72208-1](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72208-1)
- Peres, A. P., Santos, E. B. dos, Morzelle, M. C., Siqueira, P. B., Cunha, J. S. da, Cerzosimo, A. M. A., & Kapitango-a-Samba, W. K. K. (2024). Sensory acceptance of mango ice cream added with whey protein by consumers affected and not affected by cancer. *Brazilian Journal of Food Technology*, 27, e2024008. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.00824>
- Pon, S. Y., Lee, W. J., & Chong, G. H. (2015). Textural and rheological properties of stevia ice cream. *International Food Research Journal*, 22(4), Article 4. <http://www.ifrj.upm.edu.my>
- Rao, M. A. (2014). *Rheology of Fluid, Semisolid, and Solid Foods: Principles and Applications*. Springer US. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-9230-6>
- Rodríguez Furlán, L. T., & Campderrós, M. E. (2017). The combined effects of Stevia and sucralose as sugar substitute and inulin as fat mimetic on the physicochemical properties of sugar-free reduced-fat dairy

- dessert. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 10, 16-23. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2017.09.002>
- Roy, S., Hussain, S. A., Prasad, W. G., & Khetra, Y. (2022). Quality attributes of high protein ice cream prepared by incorporation of whey protein isolate. *Applied Food Research*, 2(1), 100029. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2021.100029>
- Sakkas, L., Karela, M., Zidou, E., Moatsou, G., & Moschopoulou, E. (2023). Incorporation of Yogurt Acid Whey in Low-Lactose Yogurt Ice Cream. *Foods*, 12(20), 3860. <https://doi.org/10.3390/foods12203860>
- Salem, S. A., Hamad, E. M., & Ashoush, I. S. (2016). Effect of Partial Fat Replacement by Whey Protein, Oat, Wheat Germ and Modified Starch on Sensory Properties, Viscosity and Antioxidant Activity of Reduced Fat Ice Cream. *Food and Nutrition Sciences*, 7(6), Article 6. <https://doi.org/10.4236/fns.2016.76041>
- Sal-Khan. (2024). *Tipos de mezclas (video)*. Khan Academy. <https://es.khanacademy.org/science/ap-chemistry-beta/x2eef969c74e0d802:intermolecular-forces-and-properties/x2eef969c74e0d802:solutions-and-mixtures/v/types-of-mixtures>
- Shinde, G., Kumar, R., Chauhan, S. K., Shinde, G., Subramanian, V., & Nadasabapathi, S. (2018). Whey Proteins: A potential ingredient

- for food industry- A review. *Asian Journal of Dairy and Food Research*, of. <https://doi.org/10.18805/ajdfr.dr-1389>
- Smithers, G. W. (2008). Whey and whey proteins—From ‘gutter-to-gold’. *International Dairy Journal*, 18(7), 695-704. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2008.03.008>
- Sofjan, R. P., & Hartel, R. W. (2004). Effects of overrun on structural and physical characteristics of ice cream. *International Dairy Journal*, 14(3), 255-262. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2003.08.005>
- Sörqvist, P., Haga, A., Langeborg, L., Holmgren, M., Wallinder, M., Nöstl, A., Seager, P. B., & Marsh, J. E. (2015). The green halo: Mechanisms and limits of the eco-label effect. *Food Quality and Preference*, 43, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2015.02.001>
- Soukoulis, C., Lebesi, D., & Tzia, C. (2009). Enrichment of ice cream with dietary fibre: Effects on rheological properties, ice crystallisation and glass transition phenomena. *Food Chemistry*, 115(2), 665-671. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.12.070>
- Steffe, J. F. (1996). *Rheological methods in food process engineering* (2nd ed). Freeman Press.
- Stone, H., Bleibaum, R. N., & Thomas, H. A. (2021). Affective testing. En *Sensory Evaluation Practices* (pp. 297-336). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815334-5.00004-5>

- Stone, H., & Sidel, J. L. (2004). *Sensory evaluation practices*. Elsevier Academic Press.
<https://www.sciencedirect.com/book/9780126726909/sensory-evaluation-practices>
- Tharp, B. W., & Young, L. S. (2012). *Tharp & Young on ice cream: An encyclopedic guide to ice cream science and technology*. DEStech Publications, Inc.
- Van Boekel, M. A. J. S. (2008). Kinetic Modeling of Food Quality: A Critical Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 7(1), 144-158. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2007.00036.x>
- Walstra, P., Walstra, P., Wouters, J. T. M., & Geurts, T. J. (2005). *Dairy Science and Technology* (2.^a ed.). CRC Press.
<https://doi.org/10.1201/9781420028010>
- Yalçın, A. S. (2006). Emerging therapeutic potential of whey proteins and peptides. *Current Pharmaceutical Design*, 12(13), 1637-1643.
<https://doi.org/10.2174/138161206776843296>
- Yolmeh, M., & Jafari, S. M. (2017). Applications of Response Surface Methodology in the Food Industry Processes. *Food and Bioprocess Technology*, 10(3), 413-433. <https://doi.org/10.1007/s11947-016-1855-2>

ANEXOS

Anexo 1 Ficha de cata hedónica estructurada

NOMBRE: _____ FECHA: _____

Frente a usted hay muestras codificadas las cuales debe probar una a la vez, luego con la ayuda de la escala, marque con una X en el casillero que mejor refleje su percepción.

ATRIBUTO: _____

ESCALA	MUESTRAS									
	939	757	439	405	758	262	673	980	728	
Me gusta muchísimo										
Me gusta mucho										
Me gusta moderadamente										
Me gusta un poco										
Me es indiferente										
Me disgusta un poco										
Me disgusta moderadamente										
Me disgusta mucho										
Me disgusta muchísimo										

Comentarios: _____

Anexo 2. Análisis de superficie de respuesta de los grados brix (Bx)

Component	Coefficient Estimate	df	Standard Error	95% CI Low	95% CI High	VIF
A-Lactasuero	39,09	1	4,04	27,87	50,31	30,00
B-Maracuyá	36,68	1	1,65	32,11	41,26	3,93
C-Azúcar	54,16	1	0,8188	51,88	56,43	1,45
AB	4,76	1	10,46	-24,27	33,79	23,87
AC	-4,71	1	11,31	-36,10	26,68	14,39
BC	ALIASED					

Std. Dev.	1,00	R ²	0,9849
Mean	43,61	Adjusted R ²	0,9697
C.V. %	2,30	Predicted R ²	0,5939
		Adeq Precision	19,2122

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
Model	261,86	4	65,47	65,07	0,0007	significant
⁽¹⁾ Linear Mixture	259,01	2	129,50	128,72	0,0002	
AB	0,2085	1	0,2085	0,2072	0,6726	
AC	0,1749	1	0,1749	0,1739	0,6981	
Residual	4,02	4	1,01			
Lack of Fit	2,52	1	2,52	5,05	0,1102	not significant
Pure Error	1,50	3	0,5000			
Cor Total	265,89	8				

Brix = 18,55 Lactosuero -8,46 Maracuyá +112,67 Azúcar +110,22 Lactosuero * Maracuyá -109,18 Lactosuero * Azúcar

Anexo 3. Análisis de superficie de respuesta de la acidez (%)

Component	Coefficient Estimate	df	Standard Error	95% CI Low	95% CI High	VIF
A-Lactasuero	0,1753	1	0,0348	0,0787	0,2719	30,00
B-Maracuyá	0,2165	1	0,0142	0,1771	0,2558	3,93
C-Azúcar	0,1347	1	0,0070	0,1151	0,1542	1,45
AB	-0,1265	1	0,0900	-0,3763	0,1233	23,87
AC	-0,1364	1	0,0973	-0,4066	0,1338	14,39
BC	ALIASED					

Std. Dev.	0,0086	R ²	0,9284
Mean	0,1529	Adjusted R ²	0,8568
C.V. %	5,65	Predicted R ²	0,2794
		Adeq Precision	8,9680

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
Model	0,0039	4	0,0010	12,96	0,0147	significant
⁽¹⁾ Linear Mixture	0,0037	2	0,0019	24,87	0,0055	
AB	0,0001	1	0,0001	1,98	0,2325	
AC	0,0001	1	0,0001	1,97	0,2336	
Residual	0,0003	4	0,0001			
Lack of Fit	0,0001	1	0,0001	0,6209	0,4882	not significant
Pure Error	0,0002	3	0,0001			
Cor Total	0,0042	8				

Anexo 4. Análisis de superficie de respuesta de las proteínas (%)

Component	Coefficient Estimate	df	Standard Error	95% CI Low	95% CI High	VIF
A-Lactosuero	2,97	1	1,10	-0,0720	6,02	30,00
B-Maracuyá	2,17	1	0,4468	0,9321	3,41	3,93
C-Azúcar	1,98	1	0,2221	1,36	2,60	1,45
AB	-0,8312	1	2,84	-8,71	7,04	23,87
AC	-1,38	1	3,07	-9,90	7,13	14,39

Std. Dev.	0,2721	R ²	0,4845
Mean	2,23	Adjusted R ²	-0,0310
C.V. %	12,18	Predicted R ²	-1,1823
		Adeq Precision	2,5540

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
Model	0,2783	4	0,0696	0,9398	0,5233	not significant
⁽¹⁾ Linear Mixture	0,2604	2	0,1302	1,76	0,2831	
AB	0,0064	1	0,0064	0,0859	0,7840	
AC	0,0151	1	0,0151	0,2035	0,6753	
Residual	0,2961	4	0,0740			
Lack of Fit	0,0037	1	0,0037	0,0377	0,8584	not significant
Pure Error	0,2925	3	0,0975			
Cor Total	0,5744	8				

Anexo 5. Análisis de superficie de respuesta de la viscosidad (Cp)

Component	Coefficient Estimate	df	Standard Error	95% CI Low	95% CI High	VIF
A-Lactosuero	15649,65	1	9322,41	-8314,37	39613,67	2,73
B-Maracuyá	41857,80	1	12240,76	10391,93	73323,67	3,71
C-Azúcar	58438,64	1	6050,69	42884,84	73992,44	1,36
AB	52179,67	1	39975,37	-50580,30	1,549E+05	5,96

Std. Dev.	7673,19	R ²	0,7071
Mean	43174,07	Adjusted R ²	0,5313
C.V. %	17,77	Predicted R ²	0,0856
		Adeq Precision	5,0253

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
Model	7,106E+08	3	2,369E+08	4,02	0,0841	not significant
⁽¹⁾ Linear Mixture	6,103E+08	2	3,052E+08	5,18	0,0604	
AB	1,003E+08	1	1,003E+08	1,70	0,2486	
Residual	2,944E+08	5	5,888E+07			
Lack of Fit	4,777E+07	2	2,389E+07	0,2906	0,7668	not significant
Pure Error	2,466E+08	3	8,221E+07			
Cor Total	1,005E+09	8				

Anexo 6. Análisis de superficie de respuesta de la apariencia

Component	Coefficient	df	Standard Error	95% CI		VIF
	Estimate			Low	High	
A-Lactosuero	7,59	1	1,19	4,29	10,89	30,00
B-Maracuyá	6,12	1	0,4846	4,77	7,46	3,93
C-Azúcar	6,22	1	0,2409	5,56	6,89	1,45
AB	0,1778	1	3,08	-8,36	8,72	23,87
AC	-2,67	1	3,33	-11,90	6,57	14,39

Std. Dev.	0,2951	R ²	0,7513
Mean	6,56	Adjusted R ²	0,5026
C.V. %	4,50	Predicted R ²	0,0403
		Adeq Precision	4,2097

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
Model	1,05	4	0,2631	3,02	0,1548	not significant
⁽¹⁾ Linear Mixture	0,7987	2	0,3994	4,59	0,0922	
AB	0,0003	1	0,0003	0,0033	0,9567	
AC	0,0561	1	0,0561	0,6437	0,4673	
BC	0,0000	0				
Residual	0,3483	4	0,0871			
Lack of Fit	0,0001	1	0,0001	0,0010	0,9765	not significant
Pure Error	0,3482	3	0,1161			
Cor Total	1,40	8				

Anexo 7. Análisis de superficie de respuesta del olor

Component	Coefficient Estimate	df	Standard Error	95% CI Low	95% CI High	VIF
A-Lactosuero	6,62	1	1,02	3,78	9,47	30,00
B-Maracuyá	6,90	1	0,4174	5,74	8,06	3,93
C-Azúcar	6,36	1	0,2075	5,78	6,93	1,45
AB	-0,1067	1	2,65	-7,46	7,25	23,87
AC	-1,48	1	2,86	-9,43	6,48	14,39

Std. Dev.	0,2542	R ²	0,6699
Mean	6,52	Adjusted R ²	0,3398
C.V. %	3,90	Predicted R ²	-3,7119
		Adeq Precision	3,1215

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value
Model	0,5245	4	0,1311	2,03	0,2549 not significant
⁽¹⁾ Linear Mixture	0,4646	2	0,2323	3,60	0,1278
AB	0,0001	1	0,0001	0,0016	0,9698
AC	0,0172	1	0,0172	0,2661	0,6332
Residual	0,2584	4	0,0646		
Lack of Fit	0,0739	1	0,0739	1,20	0,3533 not significant
Pure Error	0,1846	3	0,0615		
Cor Total	0,7829	8			

Anexo 8. Análisis de superficie de respuesta del sabor

Component	Coefficient Estimate	df	Standard Error	95% CI Low	95% CI High	VIF
A-Lactosuero	7,32	1	0,5997	5,77	8,86	2,73
B-Maracuyá	6,48	1	0,7875	4,46	8,51	3,71
C-Azúcar	5,49	1	0,3893	4,49	6,49	1,36
AB	-1,42	1	2,57	-8,03	5,19	5,96

Std. Dev.	0,4936	R ²	0,5730
Mean	6,31	Adjusted R ²	0,3167
C.V. %	7,82	Predicted R ²	-0,8261
		Adeq Precision	3,4106

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
Model	1,63	3	0,5449	2,24	0,2020	not significant
⁽¹⁾ Linear Mixture	1,56	2	0,7803	3,20	0,1273	
AB	0,0742	1	0,0742	0,3045	0,6048	
Residual	1,22	5	0,2437			
Lack of Fit	0,4107	2	0,2054	0,7628	0,5397	not significant
Pure Error	0,8077	3	0,2692			
Cor Total	2,85	8				

Anexo 9. Análisis de superficie de respuesta del color

Component	Coefficient Estimate	df	Standard Error	95% CI Low	95% CI High	VIF
A- Lactosuero	8,19	1	1,47	4,11	12,28	30,00
B-Maracuyá	6,90	1	0,6000	5,23	8,57	3,93
C-Azúcar	6,24	1	0,2983	5,41	7,07	1,45
AB	-3,40	1	3,81	-13,97	7,18	23,87
AC	-3,80	1	4,12	-15,24	7,63	14,39

Std. Dev.	0,3654	R ²	0,4883
Mean	6,58	Adjusted R ²	-0,0234
C.V. %	5,55	Predicted R ²	-1,6019
		Adeq Precision	2,8375

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
Model	0,5095	4	0,1274	0,9542	0,5176	not significant
⁽¹⁾ Linear Mixture	0,3910	2	0,1955	1,46	0,3332	
AB	0,1063	1	0,1063	0,7961	0,4227	
AC	0,1139	1	0,1139	0,8535	0,4078	
Residual	0,5340	4	0,1335			
Lack of Fit	0,0177	1	0,0177	0,1027	0,7696	not significant
Pure Error	0,5163	3	0,1721			
Cor Total	1,04	8				

Anexo 10. Análisis de superficie de respuesta de la textura

Component	Coefficient	df	Standard Error	95% CI		VIF
	Estimate			Low	High	
A-Lactosuero	7,08	1	2,35	0,5406	13,62	30,00
B-Maracuyá	6,44	1	0,9598	3,78	9,11	3,93
C-Azúcar	5,73	1	0,4771	4,41	7,06	1,45
AB	-0,9526	1	6,09	-17,87	15,96	23,87
AC	-2,93	1	6,59	-21,22	15,36	14,39

Std. Dev.	0,5844	R ²	0,4587
Mean	6,17	Adjusted R ²	-0,0827
C.V. %	9,47	Predicted R ²	-1,2326
		Adeq Precision	2,2335

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
Model	1,16	4	0,2894	0,8473	0,5619	not significant
⁽¹⁾ Linear Mixture	1,02	2	0,5093	1,49	0,3282	
AB	0,0084	1	0,0084	0,0245	0,8833	
AC	0,0675	1	0,0675	0,1977	0,6795	
Residual	1,37	4	0,3416			
Lack of Fit	0,0092	1	0,0092	0,0203	0,8958	not significant
Pure Error	1,36	3	0,4524			
Cor Total	2,52	8				

Anexo 11. Análisis correlacional de resultados sensoriales, fisicoquímicos y reológicos

a) **Correlaciones en parejas de Pearson**

Variable 1	Variable 2	R Pearson	Valor p
Olor	Textura	0,907	0,001
Color	Acidez	0,877	0,002
Apariencia	Olor	0,774	0,014
Apariencia	Textura	0,752	0,019
Apariencia	Sabor	0,712	0,031
Apariencia	Sólidos solubles	-0,693	0,038
Sabor	Proteínas	0,678	0,045
Olor	Sólidos solubles	-0,65	0,058
Sabor	Sólidos solubles	-0,65	0,058
Apariencia	Proteínas	0,646	0,060
Textura	Sólidos solubles	-0,631	0,069
Proteínas	Viscosidad	-0,615	0,078
Olor	Sabor	0,601	0,087
Color	Proteínas	0,599	0,088
Proteínas	Sólidos solubles	-0,592	0,093
Acidez	Sólidos solubles	-0,573	0,107
Viscosidad	Sólidos solubles	0,567	0,111
Color	Sólidos solubles	-0,491	0,18
Sabor	Viscosidad	-0,476	0,195
Apariencia	Color	0,45	0,224
Sabor	Textura	0,45	0,225
Textura	Acidez	0,437	0,24
Olor	Viscosidad	-0,417	0,265
Apariencia	Viscosidad	-0,384	0,308
Proteínas	Acidez	0,342	0,367
Apariencia	Acidez	0,335	0,378
Olor	Acidez	0,321	0,4
Sabor	Acidez	0,314	0,411
Sabor	Color	0,301	0,431
Color	Textura	0,26	0,499
Olor	Proteínas	0,256	0,506
Olor	Color	0,155	0,69
Textura	Viscosidad	-0,099	0,8
Textura	Proteínas	0,077	0,844
Viscosidad	Acidez	0,073	0,852
Color	Viscosidad	0	1

b) Correlaciones lineales

