

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

**Optimización de la formulación de una bebida funcional liofilizada
a base de mashua (*Tropaeolum tuberosum*) y gulupa
(*Passiflora edulis f. edulis*)**

Tesis para Obtener el Título Profesional de Ingeniero Agroindustrial

AUTORES:

Bach. Giraldo Uribe, Angie Nickol

Código ORCID: 0000-0002-9004-4116

Bach. Rosales Solano, Victor Fernando

Código ORCID: 0000-0002-5978-4570

ASESORA:

Dra. Aguirre Vargas, Elza Berta

DNI N° 19096335

Código ORCID: 0000-0003-1659-9874

COASESORA:

Ing. Arevalo Oliva, María De Fátima

DNI N° 70917248

Código ORCID: 0000-0003-3432-9843

NUEVO CHIMBOTE - PERÚ

2026

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



CARTA DE CONFORMIDAD DEL ASESOR

Yo, **Dra. Aguirre Vargas Elza Berta**, mediante la presente certifico mi asesoramiento de la tesis titulada **“OPTIMIZACIÓN DE LA FORMULACIÓN DE UNA BEBIDA FUNCIONAL LIOFILIZADA A BASE DE MASHUA (*Tropaeolum tuberosum*) Y GULUPA (*Passiflora edulis f. edulis*)”**, ha sido revisa y desarrollada en cumplimiento del objeto propuesto y reúne las condiciones formales y metodológicas, estando encuadrado dentro de las áreas y líneas de investigación conforme al Reglamento General para obtener el Título Profesional en la Universidad Nacional del Santa, de acuerdo a la denominación siguiente:

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Agroindustrial

Autores:

Bach. Giraldo Uribe, Angie Nickol
Bach. Rosales Solano, Victor Fernando

Dra. Aguirre Vargas Elza Berta
DNI N°: 19096335
Cód. ORCID: 0000-0003-1659-9874

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



ACTA DE CONFORMIDAD DEL JURADO EVALUADOR

El presenta trabajo de tesis titulado “**OPTIMIZACIÓN DE LA FORMULACIÓN DE UNA BEBIDA FUNCIONAL LIOFILIZADA A BASE DE MASHUA (*Tropaeolum tuberosum*) Y GULUPA (*Passiflora edulis f. edulis*)**”, para obtener el título profesional de Ingeniero Agroindustrial, presentado por los bachilleres: **Giraldo Uribe Angie Nickol** y **Victor Fernando Rosales Solano**, que tienen como asesora a la **Dra. Aguirre Vargas Elza Berta** y a la coasesora **Ing. Arévalo Oliva María de Fátima**, designado mediante Resolución Decanal N° 349-2023-UNS-FI. Ha sido revisada y aprobado el día 01 de setiembre del 2026, por el siguiente jurado evaluador designado mediante Resolución N° 369-2026-UNS-CFI.

Revisado y Aprobado por el Jurado Evaluador

Dr. Jorge Marino Domínguez Castañeda
DNI N°: 32975182
Cód. ORCID: 0000-0003-0488-5726
Presidente

Dr. Daniel Ángel Sánchez Vaca
DNI N°: 18146173
Cód. ORCID: 0000-0003-4326-1852
Secretario

Dra. Aguirre Vargas Elza Berta
DNI N°: 19096335
Cód. ORCID: 0000-0003-1659-9874
Integrante

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Siendo las once horas del día cuatro de setiembre del año dos mil veintiséis, se instalaron en el aula multimedia de la EPIA – 1er piso; el Jurado Evaluador, designado mediante T/Resolución N° 369-2026-UNS-CFI integrado por los docentes:

- **Dr. Jorge Marino Domínguez Castañeda** **Presidente**
- **Dr. Daniel Ángel Sánchez Vaca** **Secretario**
- **Dra. Elza Berta Aguirre Vargas** **Integrante,**

para dar inicio a la Sustentación del Informe Final de Tesis titulado: **“OPTIMIZACIÓN DE LA FORMULACIÓN DE UNA BEBIDA FUNCIONAL LIOFILIZADA A BASE DE MASHUA (*Tropaeolum tuberosum*) Y GULUPA (*Passiflora edulis f. edulis*)”**, elaborado por las Bachilleres en Ingeniería Agroindustrial:

GIRALDO URIBE ANGIE NICKOL

ROSALES SOLANO VICTOR FERNANDO

Asimismo, tienen como Asesora a la docente: **Dra. Elza Berta Aguirre Vargas**, y como Coasesora a la Ing. **María de Fátima Arévalo Oliva**.

Finalizada la sustentación, los Tesistas respondieron las preguntas formuladas por los miembros del Jurado Evaluador. Acto seguido el Jurado después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo, y con las sugerencias pertinentes en concordancia con el Artículo 107° del Reglamento de Grados y títulos de la Universidad Nacional del Santa, declaran:

NOMBRES Y APELLIDOS	NOTA VIGESIMAL	CONDICIÓN
ROSALES SOLANO VICTOR FERNANDO	18	APROBADO

Siendo las 12:00 horas del mismo día, se dio por terminada dicha sustentación, firmando en señal de conformidad el Jurado Evaluador.

Nuevo Chimbote, 04 de setiembre del 2026


Dr. Jorge Marino Domínguez Castañeda
Presidente


Dr. Daniel Ángel Sánchez Vaca
Secretario


Dra. Elza Berta Aguirre Vargas
Integrante

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Siendo las once horas del día cuatro de setiembre del año dos mil veintiséis, se instalaron en el aula multimedia de la EPIA – 1er piso; el Jurado Evaluador, designado mediante T/Resolución N° 369-2026-UNS-CFI integrado por los docentes:

- **Dr. Jorge Marino Domínguez Castañeda** **Presidente**
- **Dr. Daniel Ángel Sánchez Vaca** **Secretario**
- **Dra. Elza Berta Aguirre Vargas** **Integrante,**

para dar inicio a la Sustentación del Informe Final de Tesis titulado: **“OPTIMIZACIÓN DE LA FORMULACIÓN DE UNA BEBIDA FUNCIONAL LIOFILIZADA A BASE DE MASHUA (*Tropaeolum tuberosum*) Y GULUPA (*Passiflora edulis f. edulis*)”**, elaborado por las Bachilleres en Ingeniería Agroindustrial:

GIRALDO URIBE ANGIE NICKOL

ROSALES SOLANO VICTOR FERNANDO

Asimismo, tienen como Asesora a la docente: **Dra. Elza Berta Aguirre Vargas**, y como Coasesora a la **Ing. María de Fátima Arévalo Oliva**.

Finalizada la sustentación, los Tesistas respondieron las preguntas formuladas por los miembros del Jurado Evaluador. Acto seguido el Jurado después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo, y con las sugerencias pertinentes en concordancia con el Artículo 107° del Reglamento de Grados y títulos de la Universidad Nacional del Santa, declaran:

NOMBRES Y APELLIDOS	NOTA VIGESIMAL	CONDICIÓN
GIRALDO URIBE ANGIE NICKOL	18	APROBADO

Siendo las 12:00 horas del mismo día, se dio por terminada dicha sustentación, firmando en señal de conformidad el Jurado Evaluador.

Nuevo Chimbote, 04 de setiembre del 2026


Dr. Jorge Marino Domínguez Castañeda
Presidente


Dr. Daniel Ángel Sánchez Vaca
Secretario


Dra. Elza Berta Aguirre Vargas
Integrante

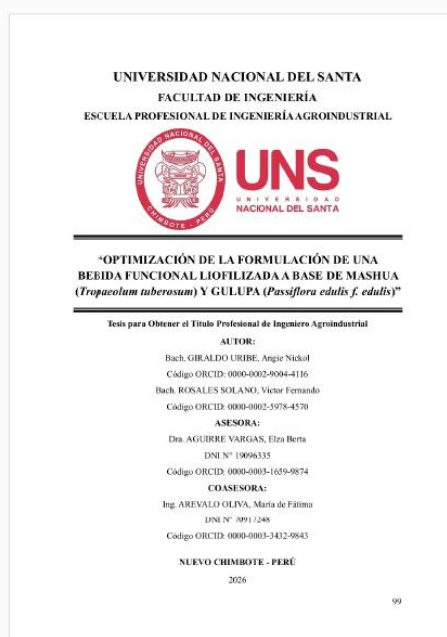


Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por **Turnitin**. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega:	Elza Aguirre
Título del ejercicio:	TESIS FINAL - BEBIDA LIOFILIZADA
Título de la entrega:	OPTIMIZACIÓN DE LA FORMULACIÓN DE UNA BEBIDA FUNCIO...
Nombre del archivo:	INFORME_FINAL_BEBIDA_FUNCIONAL_LIOFILIZADA.pdf
Tamaño del archivo:	3.75M
Total páginas:	151
Total de palabras:	27,684
Total de caracteres:	171,908
Fecha de entrega:	15-jul-2026 08:20p. m. (UTC-0500)
Identificador de la entrega:	2998626760



OPTIMIZACIÓN DE LA FORMULACIÓN DE UNA BEBIDA FUNCIONAL LIOFILIZADA A BASE DE MAS (Tropaeolum tuberosum) Y GULUPA (Passiflora edulis f. edulis)

INFORME DE ORIGINALIDAD

17%	16%	5%	5%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUD

FUENTES PRIMARIAS

- 1 repositorio.uns.edu.pe
Fuente de Internet
- 2 hdl.handle.net
Fuente de Internet
- 3 dspace.esPOCH.edu.ec
Fuente de Internet
- 4 repositorio.unsch.edu.pe
Fuente de Internet
- 5 www.researchgate.net
Fuente de Internet
- 6 Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga
Trabajo del estudiante
- 7 repositorio.unat.edu.pe
Fuente de Internet
- 8 Mónica Reyes Reyes, Lucila Concepción Núñez-Bretón, Barbara Cooper-Bribiesca, Francisco Erik González-Jiménez et al. "Maltodextrinas modificadas: estructura, fuentes, aplicaciones e importancia en la industria alimentaria", Materiales Avanzados, 2024
Publicación
- 9 revista.gnerando.org
Fuente de Internet
- 10 repositorio.unamba.edu.pe
Fuente de Internet
- 11 Submitted to Universidad San Ignacio de Loyola
Trabajo del estudiante
- 12 revistas.unitru.edu.pe
Fuente de Internet
- 13 repositorio.unaj.edu.pe
Fuente de Internet
- 14 Submitted to Universidad Católica de Santa María
Trabajo del estudiante

DEDICATORIA

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a Dios Todopoderoso, por concederme la vida y la fortaleza necesaria para llegar hasta este momento y alcanzar mis metas propuestas.

A mis queridos padres, Vivianne y Antonio, apoyo incondicional, sacrificio y por enseñarme valores que me han guiado a lo largo de este camino. Este logro también es de ustedes.

A mis hermanos, Anthony del Piero y Thayra Vivian, por todos los momentos compartidos a lo largo de nuestras vidas, por su cariño. Los quiero profundamente.

A toda mi familia, abuelos, tíos y primos, por su apoyo, consejos y palabras de aliento. Y a mis seres queridos que me acompañan desde el cielo, mi abuelo Gregorio, mi tía Zully y mi tío Rino, quienes durante todo este proceso me han cuidado y acompañado espiritualmente.

A los maestros de la escuela Ingeniería Agroindustrial por sus conocimientos, valores y ética profesional y, sobre todo a la Dra. Elsa Aguirre y a la Ing. Fátima Arévalo por su asesoría en la elaboración de la tesis.

ANGIE NICKOL GIRALDO URIBE

A Dios y a la Virgen de la Puerta por su gran amor y misericordia, por bendecirme día tras día y permitir que pueda continuar con mi formación profesional.

A mi familia, en especial a mi madre, por el apoyo incondicional desde pequeño y a lo largo de toda esta carrera, por su ejemplo de responsabilidad y constancia y más aún por el amor y la comprensión que siguen mostrándome hasta ahora.

A mis hermanos, Karoline y Christian por ser mi ejemplo a seguir, las cuales me han enseñado a luchar hasta el último minuto y a sobrellevar cualquier dificultad en el camino con positivismo y valentía.

A mi asesora la Dra. Elza Aguirre Vargas, coasesora Ing. Fátima Arévalo y docentes quienes me han instruido con su conocimiento y experiencia a lo largo de toda mi carrera, por el apoyo y comprensión mostrados hacia mi persona.

VICTOR FERNANDO ROSALES SOLANO

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a Dios Todopoderoso, por ser la fuente espiritual y guía en el camino del conocimiento de nosotros y por conducirnos en una vida correcta y por mantener a nuestros seres queridos.

Se expresa nuestro agradecimiento a nuestras familias, ya que nos brindaron comprensión y apoyo incondicional durante nuestra etapa universitaria, ofreciendo toda la ayuda posible para que pudiéramos culminar nuestros estudios. Sus valiosos consejos y palabras de aliento nos han dado la fuerza necesaria para perseverar y no rendirnos en ningún momento.

Estamos profundamente agradecidos por todo su amor y respaldo a nuestra asesora Dra. Elza Berta Aguirre Vargas y coasesora Ing. Fátima Arévalo por su paciencia y abierta disponibilidad para poder culminar con éxito la presente investigación, también por sus consejos y correcciones, que Dios lo cuide e ilumine en unión de su familia.

Asimismo, expresamos nuestro especial agradecimiento a la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo (UNASAM), por brindarnos las instalaciones y facilidades necesarias para realizar parte de las actividades experimentales de nuestra investigación. De manera especial, agradecemos a los ingenieros Fredy Alvarado y Pool, por su disposición, orientación y apoyo durante el desarrollo de esta etapa experimental.

A cada uno de nuestros docentes por su apoyo incondicional en toda nuestra etapa universitaria, ya que nos aportaron sus enseñanzas, consejos en nuestro crecimiento profesional y sugerencias que fueron muy positivos para lograr con éxito nuestra presente investigación.

ANGIE NICKOL GIRALDO URIBE

VICTOR FERNANDO ROSALES SOLANO

INDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	ix
AGRADECIMIENTO	x
RESUMEN	xxiii
ABSTRAC	xxiv
I. INTRODUCCIÓN.....	25
II. MARCO TEÓRICO.....	27
2.1. ANTECEDENTES	27
2.1.1. Antecedentes Internacionales.....	27
2.1.2. Antecedentes Nacionales.....	28
2.1.3. Antecedentes Locales	29
2.2. MARCO CONCEPTUAL	30
2.2.1. MASHUA (<i>TROPAEOLUM TUBEROSUM</i>)	30
- Definición	30
- Origen y Cultivo.....	32
- Taxonomía y Morfología de la Mashua.....	33
- Variedades de Mashua (<i>Tropaeolum tuberosum</i>)	34
- Composición Nutricional.....	35
- Propiedades Funcionales	37
- Producción de la Mashua	39
2.2.2. GULUPA (<i>PASSIFLORA EDULIS F. EDULIS</i>)	41
- Definición	41
- Taxonomía y morfología de la Gulupa.....	42
- Composición Química y Nutricional	44
- Beneficios Funcionales.....	46
- Producción Nacional	47
2.2.3. BEBIDAS FUNCIONALES	48

- Definición	48
- Características	48
- Importancia en la salud	50
- Clasificación de las Bebidas Funcionales	51
- Bebidas liofilizadas.....	52
2.2.4. LIOFILIZACIÓN	53
- Concepto de Liofilización	53
- Etapas del Proceso de Liofilización	53
- Ventajas frente a otros Métodos de Conservación	54
- Encapsulantes	56
- Maltodextrina	56
- Goma arábica.....	58
III. METODOLOGÍA.....	61
3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN	61
3.2. MATERIALES.....	61
3.2.1. Materia prima	61
3.2.2. Insumos	61
3.2.3. Aditivos alimentarios	62
3.2.4. Materiales de Laboratorio	62
3.2.5. Otros Materiales.....	63
3.2.6. Reactivos	63
3.2.7. Equipos e Instrumentos de Laboratorio	64
3.3. ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN	66
3.4. MÉTODO	66
3.4.1. Metodología del proceso de elaboración de la bebida funcional	66
3.4.2. Descripción del proceso de elaboración de la bebida funcional liofilizada	68

3.4.3. Métodos de caracterización de las materias primas y de la bebida funcional liofilizada	72
3.5. DISEÑO DE LA INVESTIGACION.....	77
3.5.1. Diseño Estadístico	77
3.5.2. Diseño experimental de mezclas de la bebida funcional liofilizada	78
3.6. VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN	80
3.6.1. Variables Independientes.....	80
3.6.2. Variables Dependientes.....	80
3.7. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	81
3.8. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE RESULTADOS	81
IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	82
4.1. ANÁLISIS PROXIMAL Y FISICOQUÍMICO DE LAS MATERIAS PRIMAS	82
4.1.1. Análisis químico proximal de la mashua amarilla	82
4.1.2. Análisis fisicoquímico de la mashua amarilla y del zumo de gulupa	83
4.2. RENDIMIENTO DE LA LIOFILIZACIÓN DE LAS MATERIAS PRIMAS	85
4.2.1. Rendimiento de la pasta liofilizada de mashua amarilla	85
4.2.2. Rendimiento del zumo liofilizado de gulupa	87
4.3. CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS DE LOS INGREDIENTES UTILIZADOS EN LA FORMULACIÓN	89
4.3.1. Contenido de humedad de los productos liofilizados.....	89
4.3.2. Contenido de cenizas de los productos liofilizados.....	90
4.3.3. Características fisicoquímicas de las bebidas funcionales liofilizadas rehidratadas	91
4.4. EVALUACIÓN SENSORIAL DE LA BEBIDA FUNCIONAL LIOFILIZADA REHIDRATADA	93
4.4.1. Resultados del análisis de varianza (ANOVA)	93

4.4.2. Comparación de medias de los tratamientos evaluados	97
4.4.3. Comparación múltiple de medias mediante la prueba de Tukey.....	102
4.5. OPTIMIZACIÓN DE LA FORMULACIÓN DE LA BEBIDA FUNCIONAL LIOFILIZADA	107
4.5.1. Análisis del atributo olor	107
4.5.2. Análisis del atributo color	112
4.5.3. Análisis del atributo sabor	117
4.5.4. Análisis del atributo aspecto general.....	122
4.5.5. Determinación de la formulación óptima de la bebida funcional liofilizada	127
4.6. CAPACIDAD ANTIOXIDANTE, POLIFENOLES TOTALES Y VITAMINA C DE LA BEBIDA FUNCIONAL LIOFILIZADA ÓPTIMA.....	129
V. CONCLUSIONES	130
VI. RECOMENDACIONES	130
VII.REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	132
VIII. ANEXOS.....	140

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación taxonómica de la mashua (<i>Tropaeolum tuberosum</i> Ruiz & Pavón)	33
Tabla 2. Principales variedades o tipos de mashua (<i>Tropaeolum tuberosum</i>) según el color del tubérculo	34
Tabla 3. Composición química de la Mashua (g/100g).....	36
Tabla 4. Compuestos bioactivos identificados en tubérculos de mashua negra (<i>Tropaeolum tuberosum</i>) y su potencial actividad anticancerígena.....	37
Tabla 5. Capacidad antioxidante y contenido de compuestos bioactivos en cultivares de mashua procedentes de Cusco	38
Tabla 6. Producción nacional de mashua en el Perú (2022)	39
Tabla 7. Clasificación taxonómica de la gulupa (<i>Passiflora edulis</i> f. <i>edulis</i>).....	42
Tabla 8. Morfología de la Gulupa (<i>Passiflora edulis</i> f. <i>edulis</i>)	43
Tabla 9. Valores nutricionales de la Gulupa (<i>Passiflora edulis</i> f. <i>edulis</i>)	45
Tabla 10. Principales características de las bebidas funcionales.....	49
Tabla 11. Clasificación de Bebidas Funcionales	50
Tabla 12. Clasificación de las bebidas funcionales según su composición y beneficios	51
Tabla 13. Ventajas de la Liofilización	55
Tabla 14. Propiedades de la Maltodextrina	58
Tabla 15. Composición porcentual de la goma arábiga	60
Tabla 16. Matriz experimental de diseño de mezclas D-Optimal	79
Tabla 17. Condiciones de las variables independientes.....	80
Tabla 18. Variables y Factores de Estudio.....	80
Tabla 19. Composición química proximal de la mashua amarilla	82
Tabla 20. Contenido de humedad de las materias primas liofilizadas	89
Tabla 21. Contenido de cenizas de las materias primas liofilizadas	90
Tabla 22. Análisis de Varianza (ANOVA) para evaluar el Olor de la bebida funcional liofilizada rehidratada	93
Tabla 23. Análisis de Varianza (ANOVA) para evaluar el Color de la bebida funcional liofilizada rehidratada	94
Tabla 24. Análisis de Varianza (ANOVA) para evaluar el Sabor de la bebida funcional liofilizada rehidratada	95

Tabla 25. Análisis de Varianza (ANOVA) para evaluar el Aspecto General de la bebida funcional liofilizada rehidratada	96
Tabla 26. Resultados del análisis de varianza (ANOVA) de los atributos sensoriales	97
Tabla 27. Promedios de aceptación sensorial de los tratamientos evaluados.....	97
Tabla 28. Comparación múltiple de medias para el atributo olor mediante la prueba de Tukey	102
Tabla 29. Comparación múltiple de medias para el atributo color mediante la prueba de Tukey	103
Tabla 30. Comparación múltiple de medias para el atributo sabor mediante la prueba de Tukey	104
Tabla 31. Comparación múltiple de medias para el atributo aspecto general mediante la prueba de Tukey	105
Tabla 32. Análisis sensorial del atributo olor	107
Tabla 33. ANOVA del Modelo cuadrático de mezclas para el atributo olor	108
Tabla 34. Parámetros del modelo matemático para el atributo olor	109
Tabla 35. Análisis sensorial del atributo color	112
Tabla 36. ANOVA del Modelo cuadrático de mezclas para el atributo color	113
Tabla 37. Parámetros del modelo matemático para el atributo color	114
Tabla 38. Análisis sensorial del atributo sabor.....	117
Tabla 39. ANOVA del Modelo cuadrático de mezclas para el atributo sabor.....	118
Tabla 40. Parámetros del modelo matemático para el atributo sabor.....	119
Tabla 41. Análisis sensorial del atributo apariencia general.....	122
Tabla 42. ANOVA del Modelo cuadrático de mezclas para el atributo apariencia general	123
Tabla 43. Parámetros del modelo matemático para el atributo apariencia general	124
Tabla 44. Determinación de la formulación óptima de la bebida funcional liofilizada	128

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mashua (<i>Tropaeolum tuberosum</i>).....	30
Figura 2. Variedades de color de mashua (<i>Tropaeolum tuberosum</i>).....	32
Figura 3. Variedades de mashua (<i>Tropaeolum tuberosum</i>) según la coloración de los tubérculos.....	35
Figura 4. Producción mensual nacional de mashua en el Perú durante el año 2022	40
Figura 5. Fruto de Gulupa <i>Passiflora edulis f. edulis</i>	41
Figura 6. Planta de Gulupa (<i>Passiflora edulis f. edulis</i>)	44
Figura 7. Etapas del Proceso de Liofilización	54
Figura 8. Estructura de la maltodextrina.....	57
Figura 9. Estructura química de la goma arábica	59
Figura 10. Diagrama de flujo para la elaboración de bebida funcional liofilizada a base de mashua y gulupa	67
Figura 11. Diagrama de Flujo de la Rehidratación de la Bebida Funcional Liofilizada a base de Mashua y Gulupa	71
Figura 12. Esquema del diseño experimental de mezclas D-óptimo aplicado a la formulación de la bebida funcional liofilizada	78

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Características fisicoquímicas de la mashua amarilla y gulupa.....	83
Gráfico 2. Diagrama de balance de materia para el rendimiento del liofilizado de pasta de mashua amarilla	85
Gráfico 3. Diagrama de balance de materia para el rendimiento del liofilizado de zumo de gulupa.....	87
Gráfico 4. Características fisicoquímicas de las formulaciones (T0 – T11).....	91
Gráfico 5. Aceptación sensorial del atributo Olor de los tratamientos evaluados	98
Gráfico 6. Aceptación sensorial del atributo Color de los tratamientos evaluados	99
Gráfico 7. Aceptación sensorial del atributo Sabor de los tratamientos evaluados	100
Gráfico 8. Aceptación sensorial del atributo Aspecto General de los tratamientos evaluados.....	101
Gráfico 9. Diagrama de probabilidad normal de los residuos estandarizados del atributo olor	110
Gráfico 10. Diagrama de mezcla de dos componentes para el atributo olor.....	111
Gráfico 11. Diagrama de probabilidad normal de los residuos estandarizados del atributo color	115
Gráfico 12. Diagrama de mezcla de dos componentes para el atributo color.....	116
Gráfico 13. Diagrama de probabilidad normal de los residuos estandarizados del atributo sabor.....	120
Gráfico 14. Diagrama de mezcla de dos componentes para el atributo sabor.....	121
Gráfico 15. Diagrama de probabilidad normal de los residuos estandarizados del atributo apariencia general	125
Gráfico 16. Diagrama de mezcla de dos componentes para el atributo apariencia general	126
Gráfico 17. Características funcionales de la bebida funcional liofilizada óptima.....	129

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A. EVIDENCIAS FOTOGRÁFICAS DEL PROCESO EXPERIMENTA 140

ANEXO A1. Proceso de Elaboración de la pasta de mashua amarilla liofilizada 140

Figura A1.1. Recepción de materia prima.....	140
Figura A1.2. Selección	140
Figura A1.3. Pesado	140
Figura A1.4. Lavado y desinfección	140
Figura A1.5. Cocción	140
Figura A1.6. Pulpeado.....	140
Figura A1.7. Liofilizado	141
Figura A1.8. Molienda y tamizado	141
Figura A1.9. Pasta de mashua amarilla liofilizada.....	141

ANEXO A2. Obtención del Zumo Liofilizado de Gulupa 141

Figura A2.1. Recepción de materia prima.....	141
Figura A2.2. Selección	141
Figura A2.3. Pesado	141
Figura A2.4. Lavado y desinfección	141
Figura A2.5. Cortado y pulpeado.....	141
Figura A2.6. Pulpeado.....	141
Figura A2.7. Acondicionamiento del zumo	142
Figura A2.8. Liofilizado.....	142
Figura A2.9. Molienda y tamizado	142
Figura A2.10. Zumo liofilizado de gulupa.....	142

ANEXO A3. Obtención de la Bebida Funcional Liofilizada 143

Figura A3.1. Formulación	143
Figura A3.2. Estandarización	143
Figura A3.3. Envasado	143
Figura A3.4. Almacenamiento	143
ANEXO A4. Obtención de la Bebida Funcional Liofilizada rehidratada	144
Figura A4.1. Dilución	144
Figura A4.2. Agitación.....	144
Figura A4.3. Envasado.....	144
Figura A4.4. Almacenamiento	144
ANEXO B. RESULTADOS ESTADÍSTICOS COMPLEMENTARIOS	145
ANEXO B1. Análisis Proximal de la Mashua Amarilla	145
Figura B1.1. Determinación del % Humedad.....	145
Figura B1.2. Determinación del % Cenizas.....	146
Figura B1.3. Determinación del % Grasa	147
Figura B1.4. Determinación del % Fibra	148
Figura B1.5. Determinación del % Proteína	149
ANEXO B2. Evidencias fotográficas del proceso Análisis Proximal de la Mashua Amarilla.....	150
Figura B2.1 Determinación de %Humedad mashua amarilla.....	150
Figura B2.2. Determinación de %Cenizas mashua amarilla.....	150
Figura B2.3. Determinación de %Grasa mashua amarilla	151
Figura B2.4. Determinación de %Fibra mashua amarilla	151
Figura B2.5. Determinación de %Proteína mashua amarilla	151
ANEXO B3. ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE LA MASHUA AMARILLA Y ZUMO DE GULUPA.....	152

Figura B3.1. Determinación Sólidos Solubles Totales (°Brix)	152
Figura B3.2. Determinación de %Acidez Titulable	152
Figura B3.3. Determinación de pH	152
ANEXO C. REPORTES DE LABORATORIO	153
ANEXO C1. Determinación de la Capacidad Antioxidante de la Bebida Funcional Liofilizada Óptima	153
Figura C1.1. Diagrama de flujo de la determinación de Capacidad Antioxidante (DPPH).....	153
Figura C1.2. Curva de calibrado de la Capacidad Antioxidante (DPPH).....	154
Tabla C1. Concentraciones y absorbancias de la curva de calibrado – Capacidad Antioxidante	154
ANEXO C2. Determinación de polifenoles totales de la Bebida Funcional Liofilizada Óptima.....	155
Figura C2.1. Diagrama de flujo de la determinación de Polifenoles Totales	155
Figura C2.2. Curva de calibrado de Polifenoles Totales	156
Tabla C2. Concentraciones y absorbancias de la curva de calibrado – Polifenoles Totales.....	156
ANEXO C3. Determinación de Vitamina C de las Materias Primas y de la Bebida Funcional Liofilizada Óptima	157
Figura C3.1. Diagrama de flujo de la determinación de Vitamina C.....	157
Tabla C3. Preparación de reactivos.....	158
Tabla C4. Preparación de estándares.....	158
Tabla C5. Vitamina C de la mashua amarilla	158
Tabla C6. Vitamina C del zumo de gulupa	158
Tabla C7. Vitamina C de la bebida funcional liofilizada óptima	159

Tabla C8. Parámetros de construcción de curva estándar del ácido ascórbico	159
Figura C3.2. Curva de calibrado del contenido de Vitamina C	159
Figura C4. Determinación de la Capacidad Antioxidante – DPPH, Polifenoles Totales y Vitamina C	160
Figura C4.1. Baño Ultrasónico	160
Figura C4.2. Obtención del Extracto	160
Figura C4.3. Lectura en el Lector Multimodal	160
Figura C4.4. Centrífuga Refrigerada	160
Figura C4.5. Pesado de Reactivos y Muestras	160
Figura C4.6. Llenado de Muestras en Microplaca	160
Figura C4.7. Preparación de Reactivos	160
Figura C4.8. Preparación de Estándares	160
Figura C4.9. Muestras a analizar	160
ANEXO D. INSTRUMENTO DE EVALUACIÓN SENSORIAL	161
ANEXO E. EVALUACIÓN SENSORIAL CON LOS PANELISTAS	162
Figura E5.1. Toma de muestras a Panelistas	162

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo optimizar la formulación de una bebida funcional liofilizada a base de mashua amarilla (*Tropaeolum tuberosum*) y gulupa (*Passiflora edulis f. edulis*) mediante un diseño experimental de mezclas. La investigación fue de enfoque cuantitativo, de tipo aplicada y diseño experimental. Se empleó un diseño de mezclas D-óptimo con dos componentes: mashua amarilla (10–50%) y gulupa (50–90%), generándose 12 tratamientos experimentales. Previamente, se realizó la caracterización de las materias primas mediante análisis proximal y fisicoquímico.

Las formulaciones obtenidas fueron rehidratadas y evaluadas sensorialmente por 50 panelistas no entrenados mediante una escala hedónica de cinco puntos, considerando los atributos de olor, color, sabor y aspecto general. Los resultados mostraron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos para todos los atributos evaluados. La formulación correspondiente al tratamiento T8, compuesta por 20% de mashua y 80% de gulupa, presentó la mayor aceptabilidad sensorial, alcanzando un promedio global de 4.42 puntos.

La caracterización de las materias primas evidenció que la mashua presentó mayores contenidos de cenizas, fibra y vitamina C, mientras que la gulupa destacó por sus mayores valores de sólidos solubles y acidez. Los rendimientos de liofilización fueron de 18.53% para la pasta de mashua y 9.71% para el zumo de gulupa. La bebida funcional liofilizada óptima presentó una capacidad antioxidante de 75.74 ± 2.34 $\mu\text{mol Trolox}/100$ g, un contenido de polifenoles totales de 3.13 ± 0.03 mg GAE/100 g y un contenido de vitamina C de 26.72 ± 0.19 mg/100 mL, concluyendo que la formulación compuesta por 20% de mashua y 80% de gulupa permite obtener una bebida funcional liofilizada con adecuada aceptación sensorial y presencia de compuestos bioactivos de interés funcional.

Palabras clave: mashua amarilla, gulupa, bebida funcional, liofilización, diseño de mezclas, capacidad antioxidante.

ABSTRAC

This research aimed to optimize the formulation of a freeze-dried functional beverage based on yellow mashua (*Tropaeolum tuberosum*) and gulupa (*Passiflora edulis f. edulis*) using an experimental mixture design. The research employed a quantitative, applied, and experimental approach. A D-optimal mixture design with two components—yellow mashua (10–50%) and gulupa (50–90%)—was used, resulting in 12 experimental treatments. The raw materials were previously characterized through proximate and physicochemical analysis.

The resulting formulations were rehydrated and sensorially evaluated by 50 untrained panelists using a five-point hedonic scale, considering the attributes of odor, color, flavor, and overall appearance. The results showed significant differences ($p < 0.05$) between treatments for all evaluated attributes. The formulation corresponding to treatment T8, composed of 20% mashua and 80% gulupa, exhibited the highest sensory acceptability, achieving an overall average of 4.42 points.

The characterization of the raw materials showed that mashua had higher ash, fiber, and vitamin C content, while gulupa stood out for its higher soluble solids and acidity levels. Freeze-drying yields were 18.53% for mashua paste and 9.71% for gulupa juice. The optimal freeze-dried functional beverage presented an antioxidant capacity of 75.74 ± 2.34 μmol Trolox/100 g, a total polyphenol content of 3.13 ± 0.03 mg GAE/100 g and a vitamin C content of 26.72 ± 0.19 mg/100 mL, concluding that the formulation composed of 20% mashua and 80% gulupa allows obtaining a freeze-dried functional beverage with adequate sensory acceptance and the presence of bioactive compounds of functional interest.

Keywords: yellow mashua, gulupa, functional beverage, freeze-drying, blend design, antioxidant capacity.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el sector alimentario enfrenta importantes desafíos derivados de las transformaciones ambientales y de las nuevas exigencias del mercado mundial. Estas condiciones representan un reto tanto para la industria alimentaria, generando la necesidad de desarrollar alternativas alimenticias más saludables y funcionales (Paredes & Areche, 2021; Agualongo & Talahua, 2024). Bajo este contexto, los cultivos andinos y las frutas tropicales han despertado un creciente interés debido a sus propiedades nutricionales y antioxidantes. Entre ellos destacan la mashua (*Tropaeolum tuberosum*) y la gulupa (*Passiflora edulis f. edulis*), materias primas con alto potencial funcional gracias a su contenido de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante, que pueden ser aprovechadas en la elaboración de alimentos y bebidas funcionales (Arteaga et al., 2022; Dilas & Ascurra, 2020; He et al., 2020; Ożarowski & Karpiński, 2021). Sin embargo, uno de los principales desafíos en el desarrollo de este tipo de productos consiste en conservar sus propiedades fisicoquímicas, nutricionales y sensoriales durante el procesamiento y almacenamiento (Martínez, 2020; Ciurzyńska et al., 2022; Feng et al., 2022).

En respuesta a esta problemática, se plantea el siguiente problema de estudio: ¿Cuál es la formulación óptima de una bebida funcional liofilizada a base de mashua (*Tropaeolum tuberosum*) y gulupa (*Passiflora edulis f. edulis*) que permita obtener una adecuada aceptación sensorial en cuanto a olor, color, sabor y apariencia general?

Frente a ello, desde el punto de vista científico y nutricional, esta investigación adquiere relevancia debido a la creciente necesidad de desarrollar productos alimenticios funcionales que contribuyan a mejorar la salud y la calidad de vida de la población mediante el aporte de antioxidantes naturales y otros compuestos bioactivos (Fernández Solórzano & Romero Morillo, 2021; Esteban, 2021; Bazán & Mejía, 2023). Desde el enfoque tecnológico e industrial, el estudio se justifica porque permite aplicar la liofilización como una técnica de conservación eficiente para preservar las propiedades fisicoquímicas, sensoriales y nutricionales del producto desarrollado. Asimismo, posee relevancia económica y social al promover el aprovechamiento agroindustrial de materias primas naturales con potencial aún limitado en su desarrollo comercial, contribuyendo a la generación de valor agregado y al fortalecimiento de cadenas productivas locales (Mesa La Rosa & Valdivia Meza, 2020; Costa et al., 2022).

La importancia de este estudio radica en la necesidad de fomentar el desarrollo de alimentos funcionales que contribuyan a mejorar la calidad de vida de la población mediante el consumo de productos con propiedades nutricionales y antioxidantes (Agualongo & Talahua, 2024; Mozo & Chuquicusma, 2023). Del mismo modo, impulsa el aprovechamiento tecnológico de materias primas naturales mediante la aplicación de la liofilización, considerada una de las técnicas de conservación más eficientes para preservar nutrientes, compuestos fenólicos, vitamina C y otras sustancias bioactivas presentes en frutas y tubérculos (Martínez, 2020; Reale & Giner, 2021; Kyu, 2022).

Asimismo, la relevancia de esta investigación también se sustenta en sus aportes económicos, sociales y académicos. Desde el aspecto económico, el aprovechamiento de la mashua y la gulupa, al ser especies con potencial agroindustrial y creciente interés comercial, puede generar valor agregado a productos agrícolas poco industrializados, beneficiando a productores locales y promoviendo el fortalecimiento de cadenas productivas sostenibles (Dilas & Ascurra, 2020; Costa et al., 2022). Desde el ámbito social, el desarrollo de bebidas funcionales puede incentivar hábitos de consumo más saludables y ampliar la disponibilidad de alimentos nutritivos para la población (Paredes & Areche, 2021; Agualongo & Talahua, 2024).

Finalmente, para lograr este propósito, se plantea como objetivo general optimizar la formulación de una bebida funcional liofilizada a base de mashua (*Tropaeolum tuberosum*) y gulupa (*Passiflora edulis f. edulis*), de manera que presente las mejores características sensoriales. Asimismo, se establecen los siguientes objetivos específicos: determinar la composición química proximal de la mashua amarilla y las propiedades fisicoquímicas de la mashua amarilla y zumo de gulupa, establecer los parámetros óptimos de la liofilización mediante el cálculo del rendimiento en el proceso de liofilización de la pasta de mashua y el zumo de gulupa; cuantificar las características fisicoquímicas y sensoriales de las bebidas funcionales liofilizadas rehidratadas de mashua y gulupa; determinar la formulación óptima de la bebida funcional liofilizada rehidratada mediante una evaluación de aceptabilidad sensorial; y, por último, cuantificar la capacidad antioxidante, polifenoles totales y vitamina C de la bebida funcional liofilizada óptima.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES

2.1.1. Antecedentes Internacionales

Como antecedente internacional, Pincay Aguirre et al. (2025) desarrollaron una investigación titulada “Bebida probiótica de lactosuero con pulpa liofilizada de tomate de árbol: optimización antioxidante y sostenible”, cuyo objetivo fue determinar el efecto de diferentes proporciones de lactosuero dulce y pulpa liofilizada de tomate de árbol sobre las propiedades fisicoquímicas y antioxidantes de una bebida láctea fermentada probiótica. Para ello, realizaron una investigación de tipo experimental aplicando un diseño factorial 2×3 , en el cual evaluaron dos niveles de lactosuero dulce (40% y 50%) y tres concentraciones de pulpa liofilizada de tomate de árbol (0%, 2% y 4%). Dentro de su metodología, analizaron variables fisicoquímicas dando como resultado la evidencia de existencia de interacciones significativas entre los factores estudiados, especialmente en las propiedades fisicoquímicas y funcionales de la bebida. Asimismo, identificaron que el tratamiento elaborado con 40% de lactosuero y 4% de pulpa liofilizada presentó los mejores resultados, alcanzando mayores valores de sólidos solubles, viscosidad y capacidad antioxidante, además de una menor sinéresis.

Por su parte, Stevens Duarte (2024) desarrolló en la ciudad de Valencia una investigación titulada: Caracterización fisicoquímica, tecnológica y funcional del residuo procedente de la obtención de la bebida vegetal de almendra. Estrategias de valorización. Este estudio estuvo orientado a estudiar las posibilidades de revalorización del bagazo de almendra, subproducto obtenido durante la elaboración de bebidas vegetales de almendra. El objetivo fue evaluar las propiedades fisicoquímicas, tecnológicas y funcionales de este subproducto. Para ello, realizó una investigación de tipo experimental, teniendo como resultado la evidencia de que la liofilización permitió conservar mejor el contenido de fenoles totales, mientras que el secado por aire caliente favoreció el incremento de la capacidad antioxidante durante el almacenamiento, concluyendo en que el

bagazo de almendra presenta un importante potencial como ingrediente funcional y sostenible para el desarrollo de alimentos con valor agregado.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

Como antecedente nacional, De la Cruz Márquez y Escobar García (2023) desarrollaron una investigación orientada a optimizar el proceso de elaboración de una bebida funcional elaborada con quito quito (*Solanum quitoense* Lam.) y banana (*Musa acuminata*) variedad bizcochito, empleando estevia como edulcorante. El propósito principal del estudio fue determinar el contenido de compuestos bioactivos presentes en la bebida y evaluar su aceptabilidad sensorial. Para ello, realizaron una investigación de tipo experimental en la que utilizaron pulpas de quito quito y banana, incorporando además una infusión de hojas de guanábana al 12%, para potenciar las propiedades funcionales del producto. Como parte de la metodología, efectuaron evaluaciones sensoriales y la realización de análisis fisicoquímicos para determinar el contenido de humedad, proteínas, grasa, fibra, cenizas y carbohidratos de la bebida elaborada; concluyendo en que la bebida funcional desarrollada presentó una adecuada aceptación sensorial y un importante contenido de compuestos bioactivos y minerales, destacando especialmente los polifenoles totales, la capacidad antioxidante y la vitamina C.

Tapia Echarri (2023) desarrolló una investigación titulada “Elaboración de una bebida funcional a base de mashua negra (*Tropaeolum tuberosum*) con extracto de maracuyá y enriquecida con colágeno hidrolizado y edulcorada con estevia”, cuyo objetivo fue elaborar una bebida funcional dirigida al consumo de adultos, optimizando sus características fisicoquímicas, sensoriales y de estabilidad. Para ello, realizó una investigación de tipo experimental compuesta por varias etapas orientadas a definir las mejores condiciones de procesamiento y formulación del producto; concluyendo que la formulación con 0.02% de CMC presentó mejores resultados de estabilidad. Además, realizó análisis químicos proximales, microbiológicos y fisicoquímicos para verificar la calidad e inocuidad de la bebida elaborada. Finiquitando el estudio en que la mashua negra posee un importante potencial para el desarrollo de bebidas funcionales.

2.1.3. Antecedentes Locales

Como antecedente local, Fernández Solórzano y Romero Morillo (2021), en su investigación desarrollada en Chimbote, tuvieron como objetivo formular y evaluar una bebida funcional elaborada a base de zumo y harina de cáscara de granada, con la finalidad de determinar sus propiedades fisicoquímicas, funcionales y sensoriales. Para ello, desarrollaron una investigación de tipo experimental, evaluando parámetros como humedad, acidez, pH, grados Brix, vitamina C, capacidad antioxidante y contenido de polifenoles totales. Asimismo, aplicaron análisis estadístico mediante ANOVA para determinar la influencia de la temperatura de secado en los resultados obtenidos y complementaron el estudio con una evaluación sensorial y análisis microbiológicos de la formulación con mayor aceptabilidad; concluyendo que la temperatura de secado influye significativamente en la conservación de los compuestos bioactivos de la cáscara de granada y en las propiedades funcionales de la bebida elaborada, identificando una formulación con adecuada aceptabilidad sensorial y características funcionales favorables, demostrando el potencial de la granada como materia prima para el desarrollo de bebidas funcionales con aporte antioxidante y nutricional.

Por su parte, Bazán Plasencia y Mejía Vásquez (2023) realizaron un estudio enfocado en el desarrollo de una bebida funcional elaborada con naranja, limón, jengibre y miel, cuyo propósito fue determinar la proporción más adecuada de ingredientes que permitiera maximizar el contenido de vitamina C, polifenoles totales y la aceptabilidad sensorial del producto. Para alcanzar este objetivo, llevaron a cabo una investigación experimental aplicando un diseño de mezclas Simplex-Centroide, complementado con metodología de superficie de respuesta, concluyendo que la naranja y el limón tuvieron una influencia significativa en el incremento de vitamina C y en la aceptabilidad sensorial, mientras que el jengibre contribuyó principalmente al contenido de compuestos fenólicos, logrando así establecer una formulación óptima con características fisicoquímicas adecuadas, estabilidad microbiológica y buena aceptación por parte de los evaluadores.

2.2. MARCO CONCEPTUAL

2.2.1. MASHUA (*TROPAEOLUM TUBEROSUM*)

- Definición

Para Dilas y Ascurra (2020), mencionan que:

La mashua (*Tropaeolum tuberosum*) constituye uno de los tubérculos tradicionales de la región andina. Su resistencia a condiciones climáticas frías y su capacidad para prosperar en suelos poco fértiles, favorece su cultivo con bajos requerimientos de fertilización. Su resistencia a nematodos y diversas plagas la convierte en una opción atractiva para los agricultores andinos, quienes la siembran como cortinas protectoras alrededor de sus cultivos principales. Esta estrategia no solo aprovecha las cualidades de la mashua para proteger los cultivos, sino que también proporciona beneficios adicionales al reducir la exposición de los cultivos principales a condiciones adversas y plagas. (p. 17)

Figura 1

Mashua (Tropaeolum tuberosum)



Nota. Fotografía de una gulupa. Tomada de *Mashua (Tropaeolum tuberosum) cultivo subutilizado con alto potencial para zonas altoandinas en el Perú.*, por J. O. Dilas-Jiménez y D. I. Ascurra-Toro, 2020, Revista de Investigación Científica y tecnológica Alpha Centauri.

Hermann y Heller (1997, como se citó en Torre, 2021) mencionan que:

La Mashua (*Tropaeolum tuberosum*), junto con muchas especies de papa (*Solanum spp*), olluco (*Ullucus tuberosus Caldas*) y oca *Oxalis tuberosa Molina*, forman parte de un grupo de tubérculos andinos comestibles, que constituyen un sistema de alimentación local importante a pesar que habitualmente se cultiva en pequeña escala, y con reiteración, en lugares aisladas con una rápida penetración de cultivos comerciales. La mashua contribuye a la diversidad de tubérculos debido a su mayor estabilidad de la producción en ambientes heterogéneos, además de poseer una gama de cualidades tales como rusticidad, tolerancia a parásitos y alta productividad. (p. 12)

Los autores resaltan la importancia de la mashua evidenciando que contribuye a mantener la diversidad agrícola y alimentaria frente al avance de cultivos comerciales que, en muchos casos, desplazan a las especies nativas.

Otra definición acerca de la Mashua es la realizada por el Ministerio de Cultura y Patrimonio (2013, como se citó en Mesa la Rosa y Valdivia Meza, 2020):

La mashua es un tubérculo originario de la región central de los Andes y suele cultivarse en zonas altoandinas ubicadas entre los 1 500 y 4 200 m s. n. m. Generalmente, su producción se realiza en pequeñas parcelas agrícolas junto con otros cultivos tradicionales como la papa, la oca y el melloco. Este tubérculo puede encontrarse en diferentes variedades de color, entre ellas amarillo, blanco y negro. Desde el punto de vista nutricional, la mashua destaca por su elevado contenido de carbohidratos, lo que le proporciona un importante aporte energético. Asimismo, contiene cantidades significativas de vitamina C, nutriente que favorece la absorción del hierro, contribuye al mantenimiento de los cartílagos y ayuda a fortalecer el sistema inmunológico frente a infecciones. (p. 9)

Figura 2

Variedades de color de mashua (Tropaeolum tuberosum)



Nota. Tomado de variedades de mashua (*Tropaeolum tuberosum*), por Márquez y Aurelio, 2018, Mashua (*tropaeolum tuberosum*): Composición nutricional, características químicas, compuestos bioactivos y propiedades beneficiosas para la salud.

Esta definición busca resaltar que la mashua posee un importante valor tanto alimenticio como medicinal dentro de las comunidades de la región andina, demostrando su estrecha relación con la agricultura tradicional y otros tubérculos.

- Origen y Cultivo

Para Dilas y Ascurra (2020), en su investigación mencionan que:

El centro de origen de este cultivo se ubica probablemente en alguna región de los Andes. Asimismo, su domesticación habría ocurrido en el área comprendida entre Ecuador y Bolivia, ya que en dicha zona se registra una alta diversidad de variedades de mashua. No obstante, la escasez de estudios sobre sus diferentes especies dificulta precisar con exactitud su procedencia. (p. 18)

Asimismo, otros investigadores mencionan que la Mashua al ser un tubérculo, “se cultivan y siembran en lugares agrícolas con condiciones climáticas que van desde los 2400 y 4300 msnm con temperaturas entre 8° y 11° C en países andinos, principalmente en Perú, Ecuador y

Bolivia” (Torre, 2021, p. 25). En efecto, la mashua (*Tropaeolum tuberosum*) es reconocida como un tubérculo andino vinculado tradicionalmente a las poblaciones de Sudamérica. Su presencia suele asociarse con países como Perú, Bolivia y Ecuador, donde este cultivo ha sido utilizado desde tiempos antiguos. Estas características han despertado interés por su potencial nutricional.

- **Taxonomía y Morfología de la Mashua**

Tabla 1

Clasificación taxonómica de la mashua (Tropaeolum tuberosum Ruiz & Pavón)

Categoría taxonómica	Clasificación
Reino	<i>Plantae</i>
División	<i>Tracheophyta</i>
Clase	<i>Magnoliopsida</i>
Orden	<i>Brassicales</i>
Familia	<i>Tropaeolaceae</i>
Género	<i>Tropaeolum</i>
Especie	<i>Tropaeolum tuberosum</i> Ruiz & Pavón

Nota. Adaptado de Torre Tello (2021), quien refiere la clasificación taxonómica según el Sistema de Información Taxonómica Integrado (ITIS, 2013).

Los tubérculos de mashua miden entre 5 y 15 cm, presentan forma cónica alargada y diversos colores. Poseen una textura arenosa y contienen aproximadamente 80 % de agua, además de carbohidratos y proteínas. Su sabor es acre y picante debido a la presencia de isotiocianatos. Sin embargo, este sabor desaparece con la cocción, adquiriendo un sabor dulce (Perú Ecológico, 2007, como se citó en Tello, 2021).

- **Variedades de Mashua (*Tropaeolum tuberosum*)**

Tabla 2

*Principales variedades o tipos de mashua (*Tropaeolum tuberosum*) según el color del tubérculo*

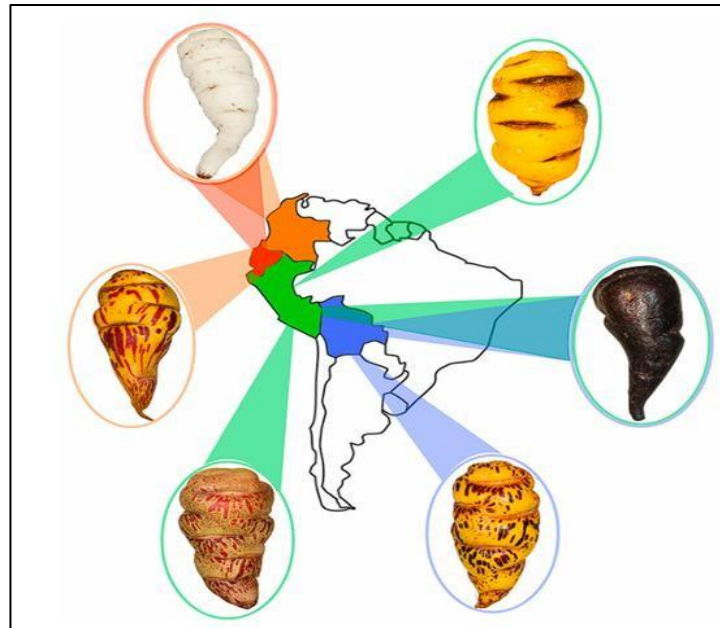
Variedad o tipo	Color predominante	Características
Mashua amarilla	Amarillo	Es una de las más cultivadas y consumidas; presenta sabor menos intenso.
Mashua blanca	Blanco o crema	Menor contenido de pigmentos, utilizada principalmente para consumo fresco.
Mashua roja	Rojo a rosado	Presenta compuestos fenólicos responsables de su coloración.
Mashua morada	Morado intenso	Rica en antocianinas y compuestos antioxidantes.
Mashua negra	Negro violáceo	Destaca por su elevado contenido de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante.
Mashua bicolor	Combinación de colores (amarillo-morado, blanco-morado, etc.)	Muestra alta variabilidad genética y morfológica.

Nota. Elaboración propia a partir de información reportada por Arteaga et al. (2022), Coloma et al. (2022) y Galindo Quispe (2023).

“La mashua presenta diversos colores: gris, blanco, amarillo, rojizo, morado y negro, con rayas oscuras. Posee un sabor fuerte y arenoso al paladar; sin embargo, con la exposición solar, el sabor tiende ser dulce” (Arteaga et al., 2022, p. 97).

Figura 3

Variedades de mashua (*Tropaeolum tuberosum*) según la coloración de los tubérculos.



Nota. Tomado de *From Ethnobotany to Food Innovation: Applications and Functional Potential of Mashua (Tropaeolum tuberosum)*, por Vera et al. (2025), *Foods*, 14(23), Artículo 4091.

El color de la mashua (*Tropaeolum tuberosum*) está relacionado con su expresión genética y potencial bioactivo. Los genotipos de tonalidades oscuras, como púrpura y negro, presentan mayor capacidad antioxidante debido a la acumulación de antocianinas y compuestos fenólicos a diferencia de los genotipos amarillos que suele presentar perfiles diferentes de flavonoides (Vera et al., 2025).

- Composición Nutricional

Arteaga Cano et al. (2022), sobre la mashua mencionan lo siguiente:

Poseen alto contenido de fósforo, calcio y hierro, además combina proteínas, carbohidratos, fibra, calorías y antocianina la cual cuenta con propiedades curativas debido al colágeno corporal, provocando su síntesis, además de impedir que los antioxidantes dañen el tejido conectivo, inflamaciones o alergias, este compuesto fortalece la micro circulación ocular y capilares.

La mashua negra aporta un promedio de 9 mil a 10 mil unidades de antioxidantes siendo excelente para la protección del corazón, y vigorizar la circulación de los vasos sanguíneos. (p. 97)

Tabla 3

Composición química de la Mashua (g/100g)

Elementos	UNALM (2019)	Del Águila (2018)	Ruiz y Pavón (2018)
Valor Energético	52.0 Kcal	76 Kcal	4.19 - 4.64%
Humedad	86%	80%	85%
Proteínas	1.6 g	9.17%	6.9 – 15.7%
Grasas	0.6 g	0.7%	0,004%
Carbohidratos	11.6 g	75.4%	69.7 – 79.5%
Fibra	0.8 g	5.86%	0.70%
Cenizas	0.8 g	0.80%	4 – 6.5%
Calcio	7 g	0.006%	0.006%
Hierro	1.2 g	0.42%	0.42%
Fósforo	42 g	0.32%	0.32%
Magnesio	-	0.11%	0.11%
Manganeso	-	7.0%	7.0%
Zinc	-	48.00%	48.00%
Sodio	-	0.04%	0.04%
Cobre	-	9.00%	9.00%
Almidón %	-	46.96%	20.01 – 79.46%
Azúcares Totales %	-	42.81%	6.77 – 55.23%

Nota. Tomado de *Mashua (tropaecolum tuberosum): Composición nutricional, características químicas, compuestos bioactivos y propiedades beneficiosas para la salud*, por Arteaga et al., 2022, p. 97.

- **Propiedades Funcionales**

Apaza et al. (2020, como se citó Arteaga Cano et al., 2022) sostiene que:

La mashua ha sido reconocida tradicionalmente debido a la presencia de compuestos bioactivos asociados con efectos beneficiosos para la salud. Entre estos compuestos destacan los isotiocianatos, sustancias que suelen relacionarse con propiedades antibacterianas, diuréticas, insecticidas y anticancerígenas. Asimismo, entre estudios realizados a una molécula estudiada arrojó una respuesta significativa incluso en bajas concentraciones, lo que ha despertado interés científico por sus posibles aplicaciones biomédicas. Para la identificación de estos compuestos se emplearon técnicas de análisis especializadas, permitiendo evaluar tanto su estructura química como su comportamiento frente a células cancerígenas. (p. 99)

Tabla 4

Compuestos bioactivos identificados en tubérculos de mashua negra (Tropaeolum tuberosum) y su potencial actividad anticancerígena

Especie estudiada	Compuestos identificados	Metodología
<i>Tropaeolum tuberosum</i> (mashua negra)	2-bencil-3-tioxohexahidropirrolol[1,2-c]imidazol-1-ona y N-(4-acetil-5-metil-5-fenil-4,5-dihidro-1,3,4-tiadiazol-2-il) acetamida	Resonancia magnética nuclear, espectrometría de masas, ensayos de citotoxicidad y apoptosis

Nota. Elaborado como resumen de los compuestos bioactivos aislados de *Tropaeolum tuberosum* y de sus efectos anticancerígenos reportados por Apaza et al. (2020, como se citó en Arteaga Cano et al., 2022, p. 99).

En esa misma línea, Huaccho (2016, como se citó en Arteaga Cano et al., 2022) analizó 84 cultivares de mashua provenientes de Cusco, determinando su capacidad antioxidante, así como el contenido de compuestos. Los principales resultados se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 5

Capacidad antioxidante y contenido de compuestos bioactivos en cultivares de mashua procedentes de Cusco

Variable evaluada	Rango encontrado	Unidad (base seca, b.s.)
Capacidad antioxidante (ABTS)	20.6 – 128.2	μmol TE/g
Capacidad antioxidante (FRAP)	22.7 – 173.2	μmol TE/g
Capacidad antioxidante (ORAC)	35.1 – 158.8	μmol TE/g
Compuestos fenólicos totales	5.5 – 16.7	mg ácido gálico equivalente (AGE)/g
Antocianinas	0.9 – 2.68	mg cianidina-3-glucósido equivalente (CGE)/g
Carotenoides	0.48 – 15.09	mg β-caroteno/100 g

Nota. Elaborado a partir de los datos reportados por Huaccho (2016, como se citó en Arteaga Cano et al., 2022, p. 98).

Los compuestos fenólicos mostraron que contribuyen a la capacidad antioxidante de la mashua, ya que presentan una correlación entre un rango moderado a bajo (Huaccho, 2016, como se citó en Arteaga Cano et al., 2022, p. 98).

- **Producción de la Mashua**

La mashua (*Tropaeolum tuberosum*) constituye uno de los principales tubérculos andinos cultivados en el Perú. Según datos del Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI), durante el año 2022 la producción nacional alcanzó 49 913.51 toneladas, con un rendimiento promedio de 7 687 kg/ha y una superficie cosechada de 6 493 ha. Asimismo, el departamento de Cusco registró la mayor producción nacional, seguido por Ayacucho, Puno y Apurímac, evidenciando la importancia de las regiones altoandinas en la conservación y producción de este cultivo.

Tabla 6

Producción nacional de mashua en el Perú (2022)

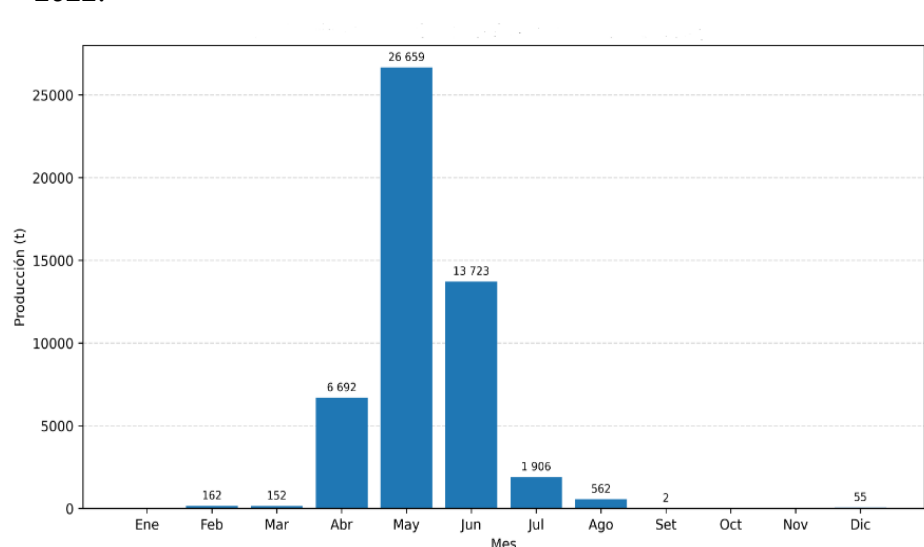
Indicador	Valor
Producción nacional	49 913.51 Tn
Área cosechada	6 493 ha
Rendimiento promedio	7 687 kg/ha

Nota. Elaborado con base en datos del MIDAGRI (2024), citados por el Catálogo de Mashua del Banco de Germoplasma del INIA.

“La aplicación de nuevas tecnologías agrícolas y la desvalorización de cultivos tradicionales, se plantea la necesidad de preservar la diversidad de la mashua para mantener la colección de su germoplasma instalada en La Estación Experimental Agraria Andenes” (Catálogo de Mashua del Banco de Germoplasma del INIA, 2025).

Figura 4

Producción mensual nacional de mashua en el Perú durante el año 2022.



Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI, 2022).

Producción nacional de mashua presentó una marcada estacionalidad durante el año 2022. La mayor producción se registró en mayo (26 658.79 t), seguida de junio (13 723.41 t) y abril (6 691.56 t), concentrándose más del 90 % de la producción anual entre estos meses. (MIDAGRI, 2022).

2.2.2. GULUPA (*PASSIFLORA EDULIS F. EDULIS*)

- Definición

Gómez et al. (2022) menciona lo siguiente:

La gulupa (*Passiflora edulis f. edulis*) es una especie vegetal perteneciente a la familia Passifloraceae y al género *Passiflora*. Es conocida también como maracuyá morado o fruta de la pasión púrpura, debido a la tonalidad característica de su fruto. Esta especie es originaria de zonas tropicales y subtropicales de Sudamérica, especialmente de Brasil y Paraguay, aunque actualmente se cultiva en diversas regiones del mundo por su valor como fruta tropical. (p.23)

Figura 5

Fruto de Gulupa Passiflora edulis f. edulis



Nota. Tomado de Fruto de planta de Gulupa (*Passiflora edulis f. edulis*). Por Gómez et al., 2022, Gulupa (*Passiflora edulis Sims*), su potencial para exportación, su matriz y su firma de maduración: una revisión.

Por su parte, Costa et al. (2022) refiere lo siguiente:

La gulupa es originaria de América (sur de Brasil y norte de Paraguay y Argentina). En Colombia existen reportes de herbarios de más de 70 años (década de 1950) que muestran que esta planta crece de forma silvestre tanto en las montañas del país como en la Amazonía descartándose que su ingreso haya sido como semilla comercial. Los agroecosistemas productores de

gulupa como negocios agrícolas son relativamente nuevos en Colombia extendiéndose desde hace unos 20 años por los departamentos del país. (p. 18)

- **Taxonomía y morfología de la Gulupa**

Tabla 7

Clasificación taxonómica de la gulupa (Passiflora edulis f. edulis)

Categoría taxonómica	Clasificación
Reino	<i>Plantae</i>
División	<i>Magnoliophyta</i>
Clase	<i>Magnoliopsida</i>
Orden	<i>Malpighiales</i>
Familia	Passifloraceae
Género	<i>Passiflora</i>
Especie	<i>Passiflora edulis</i> Sims
Forma botánica	<i>Passiflora edulis</i> f. <i>edulis</i>

Nota. Elaborado con base en Muñoz Ordoñez et al. (2023) y literatura científica reciente sobre *Passiflora edulis* f. *edulis*.

La gulupa fue descrita inicialmente por John Sims en Inglaterra como *Passiflora edulis* Sims, y posteriormente Degener la clasificó junto con el maracuyá dentro de esta especie. Actualmente, ambas presentan dos formas botánicas diferenciadas: *P. edulis* f. *edulis* (gulupa) y *P. edulis* f. *flavicarpa* (maracuyá). Sin embargo, sus diferencias morfológicas y moleculares sugieren que podrían considerarse especies independientes (Ocampo, 2010).

Tabla 8

Morfología de la Gulupa (Passiflora edulis f. edulis)

Característica	Descripción
Hábito de crecimiento	Planta trepadora semiperenne provista de zarcillos.
Tallo	Delgado, ramificado y parcialmente leñoso.
Hojas	Simples, alternas y generalmente trilobuladas.
Flores	Hermafroditas, completas, de pétalos blancos y corona con filamentos blancos y púrpuras.
Fruto	Baya redonda u ovalada de 4 a 6 cm de diámetro.
Cáscara	De color verde durante el desarrollo y púrpura oscuro al madurar.
Pulpa	Amarillo-anaranjada, aromática y de sabor dulce-ácido.
Semillas	Numerosas, negras y recubiertas por un arilo comestible.

Nota. Elaborado con base en Muñoz Ordoñez et al. (2023) y Fernández Ayme (2024).

La ubicación del cultivo es un factor determinante para establecer una producción comercial en una determinada región. Asimismo, las condiciones climáticas del lugar y sus variaciones estacionales pueden influir significativamente en la composición de metabolitos y en la calidad de los frutos. (Muñoz Ordoñez et al., 2023)

Por su parte, según uno de los primeros estudios realizados por Killip (1938, como se citó en Ocampo Pérez y Morales Liscano, s.f.) la clasificación botánica de la Gulupa comprende varios cambios a lo largo de los últimos años, sin embargo, se mantienen sus características conocidas:

La raíz, sistema radicular de la gulupa se caracteriza por ser de tipo fasciculado, fibroso y con abundantes ramificaciones. Generalmente, está compuesto por varias raíces secundarias de desarrollo superficial, con profundidades aproximadas entre 40 y 60 cm, las cuales se desprenden de una raíz principal con crecimiento limitado. (p. 8)

Figura 6

Planta de Gulupa (Passiflora edulis f. edulis)



Nota. Tomado de Aspectos generales de la Gulupa. Por John Ocampo, s.f. Tomada de Tecnología para el cultivo de la Gulupa en Colombia

- Composición Química y Nutricional

Según Espinosa y Rodríguez (2020), refieren que:

La gulupa presenta un importante aporte nutricional, ya que contiene carbohidratos, proteínas, minerales y diversas vitaminas, entre las que destacan las vitaminas A, B3, B12 y C. Asimismo,

estudios de caracterización nutracéutica realizados en su pulpa y néctar han reportado concentraciones elevadas de compuestos fenólicos totales, con valores entre 123,69 y 228,73 mg de ácido gálico/100 g, así como una notable capacidad antioxidante, que oscila entre 146,72 y 177,16 mg de ácido ascórbico/100 g. Estas propiedades evidencian su potencial como alimento funcional y su posible contribución al mantenimiento de la salud. (p. 11)

Tabla 9

Valores nutricionales de la Gulupa (Passiflora edulis f. edulis)

Componente	Contenido en 100 g
Proteína	1.5 > 3.4 g
Carbohidratos	11 > 68 g
Niacina	0.8 mg
Hierro	1.7 > 13.2 mg
Riboflavina	0.17 mg
Ácido ascórbico	20 mg
Sodio	0.02 mg
Grasa	0.5 > 8 g
Fibra	0.4 g
Fósforo	0.26 < 21 mg
Tiamina	0.1 mg
Calcio	9 mg
Potasio	0.105 mg

Nota. Tomado de *Caracterización Fisicoquímica y Actividad Antioxidante de Gulupa (Passiflora edulis Sims var. edulis) Colectada en la Region de Anaime - Municipio de Cajamarca*, por Espinoza y Rodríguez, 2020, p. 31.

De acuerdo con ProsagroExport (2022), La gulupa se caracteriza por su importante valor nutricional y funcional, debido a la presencia de diversos compuestos beneficiosos para la salud. Entre sus componentes

destacan la fibra, vitaminas del complejo B y sustancias antioxidantes que ayudan a reducir los efectos causados por el estrés oxidativo a nivel celular. Asimismo, la organización destaca que este fruto contiene nutrientes esenciales como proteínas, carbohidratos y pequeñas cantidades de grasa, además de minerales como calcio, fósforo y hierro, necesarios para el adecuado funcionamiento del organismo.

- **Beneficios Funcionales**

La gulupa es considerada una fruta que ha despertado cierto interés para las industrias nutricionales por la presencia de diversos compuestos bioactivos en su composición. Ante ello, ProsagroExport (2022) refiere algunos beneficios medicinales de esta fruta, pues es considerada un fruto con propiedades funcionales importantes debido a la presencia de compuestos antioxidantes, fibra y vitaminas que aportan beneficios al organismo. Su consumo se relaciona con efectos favorables sobre el sistema nervioso, ayudando a disminuir el estrés y favoreciendo la relajación, lo que puede contribuir a mejorar la calidad del sueño.

Asimismo, se le atribuyen propiedades que ayudan a mantener niveles adecuados de presión arterial y a apoyar el cuidado del sistema cardiovascular gracias a su capacidad antioxidante. Por otro lado, el contenido de fibra presente en la gulupa favorece el funcionamiento del sistema digestivo, contribuyendo a la limpieza intestinal y al adecuado tránsito gastrointestinal. Además, su consumo puede colaborar en la disminución de los niveles de colesterol y apoyar ciertos tratamientos relacionados con procesos inflamatorios y el cuidado de la piel. Estas propiedades resaltan la importancia de la gulupa como materia prima para la elaboración de alimentos y bebidas que, además de su valor nutricional, aportan compuestos bioactivos asociados al bienestar de la salud.

- **Producción Nacional**

El rendimiento inicial de este cultivo ocurre entre los meses 8 y 10, alcanzando una producción por planta de 4.5 a 5.5 kilos. Posteriormente, al llegar a los dos años, este volumen se eleva a un rango de 23 a 26 kilos anuales, logrando una persistencia de la plantación de hasta cinco años si se realizan podas correctas (MIDAGRI, 2021).

Aunque no existen datos oficiales precisos sobre la superficie total cultivada, la región Lima lideró los inicios de esta actividad en 2018 con 4 hectáreas situadas en zonas interandinas. Para el año 2020, el área cultivada en el país ascendió a cerca de 50 hectáreas en franca expansión, destacando regiones como La Libertad, Áncash, Pasco, Cajamarca y Lima. En el ámbito corporativo, destaca Agrícola Interandina S.A.C., empresa que maneja alrededor de 50 hectáreas con certificación orgánica en el sector de Pativilca (MIDAGRI, 2021).

2.2.3. BEBIDAS FUNCIONALES

- Definición

Paredes y Areche (2021), mencionan que:

Se definen como preparaciones destinadas al consumo inmediato que contienen uno o varios ingredientes funcionales añadidos, los cuales no forman parte de la formulación convencional, las cuales son benéficos para la salud reduciendo así el riesgo de enfermedades; pueden ser funcionales naturalmente como el té o pueden adicionarse nutracéuticos como el calcio de leche, omegas, proteína aislada de soya, fibras, prebióticos, probióticos, L. carnitina, polifenoles, vitaminas, minerales y otros ingredientes que confieren beneficios específicos que pueden ser declarados en el producto. (p. 27)

Por su parte, Kausar (2012, como se citó en Esteban Quinto, 2021) refiere que:

Las bebidas funcionales pueden desempeñar un importante rol en la protección de la salud y prevención de enfermedades. Las bebidas son consideradas un importante medio para el suplemento de componentes nutracéuticos enriquecedores, tales como fibra soluble o extractos herbales. (p. 16)

- Características

Las bebidas funcionales se caracterizan por incorporar componentes bioactivos que han impulsado su desarrollo y aceptación en el mercado actual. (Bacuilima, 2021)

Tabla 10

Principales características de las bebidas funcionales

Característica	Descripción
Información nutricional destacada	Presentan etiquetado detallado que informa sobre los componentes funcionales y los beneficios asociados a su consumo.
Variedad de componentes	Incorporan ingredientes bioactivos como antioxidantes, vitaminas, minerales, proteínas, prebióticos, probióticos y extractos naturales.
Diversidad de presentaciones y sabores	Se comercializan en diferentes formatos y sabores para satisfacer las preferencias de los consumidores.
Beneficios para la salud	Además de aportar nutrientes, contribuyen al bienestar del organismo mediante efectos fisiológicos específicos.
Orientación a públicos específicos	Están dirigidas a consumidores con necesidades particulares, como deportistas o personas interesadas en mejorar su salud y calidad de vida.

Nota. Adaptado de Bacuilima (2021, como se citó en Agualongo Tenelema y Talahua Quingaguano, 2024).

Las bebidas funcionales se caracterizan por incorporar componentes bioactivos que han impulsado su desarrollo y aceptación en el mercado actual. (Bacuilima, 2021)

- **Importancia en la salud**

“Las bebidas funcionales son productos sin alcohol formulados con ingredientes como frutas, hierbas y otros compuestos bioactivos, que contribuyen al fortalecimiento del sistema inmunitario, la mejora de la salud intestinal y cardiovascular, entre otros” (Avalo Rosas et al., 2025, p. 42).

Tabla 11

Clasificación de Bebidas Funcionales.

Categoría	Ejemplos de ingredientes funcionales	Beneficios potenciales
Bebidas funcionales naturales	Antioxidantes naturales del té verde, polifenoles de frutas.	Reducción del estrés oxidativo, mejora de la salud cardiovascular.
Bebidas fortificadas	Calcio de leche, omega-3, proteínas aisladas de soya.	Fortalecimiento óseo, mejora del rendimiento cognitivo y físico.
Bebidas prebióticas y probióticas	Inulina, fibra prebiótica, lactobacilos.	Mejora de la salud intestinal, refuerzo del sistema inmunológico.
Bebidas energéticas y estimulantes	Cafeína, guaraná, taurina, creatina.	Aumento del estado de alerta, mejora del rendimiento físico.

Nota. Tomado de *Análisis del uso de diversos edulcorantes en bebidas funcionales y su impacto en la percepción sensorial*, por Bosa y Pablos, 2025, p. 15.

- **Clasificación de las Bebidas Funcionales**

Tabla 12

Clasificación de las bebidas funcionales según su composición y beneficios

Tipo de bebida funcional	Componentes principales	Beneficios asociados
Naturales	Antioxidantes naturales, polifenoles, extractos de frutas y té verde.	Contribuyen a la reducción del estrés oxidativo y favorecen la salud cardiovascular.
Fortificadas	Vitaminas, minerales, omega-3, calcio y proteínas.	Favorecen el fortalecimiento óseo y mejoran el rendimiento físico y cognitivo.
Prebióticas y probióticas	Inulina, fibra prebiótica, lactobacilos y otros microorganismos benéficos.	Mejoran la salud intestinal, fortalecen el sistema inmunológico y favorecen el equilibrio del microbiota.
Energéticas y estimulantes	Cafeína, guaraná, taurina y creatina.	Incrementan el estado de alerta y mejoran el rendimiento físico y mental.

Nota. Adaptado de Naranjo Gómez (2022, como se citó en Bosa Cañon y Pablos Perea, 2025).

- **Bebidas liofilizadas**

Las frutas al convertirlas en bebidas naturales de alta calidad, mantienen intactas sus características sensoriales mediante el proceso de liofilización. Este proceso implicará una modificación de su estado original con el propósito de aumentar su durabilidad y aprovechar al máximo sus propiedades naturales, permitiendo así disfrutar por mucho más tiempo (Valdez, 2019).

- **Ácido ascórbico (Vitamina C)**

a) Estructura química de la vitamina C

El ácido ascórbico, conocido comúnmente como vitamina C, es una vitamina hidrosoluble con funciones esenciales en el organismo humano. Interviene en procesos como la regeneración y mantenimiento de tejidos, la síntesis de colágeno, la absorción de hierro y el adecuado funcionamiento del sistema inmunológico. Además, presenta actividad antioxidante (Herrera, 2018).

b) Propiedades tecno funcionales y nutracéuticos de la vitamina C

La vitamina C actúa como antioxidante, estabilizador de color y sabor, y agente reductor en la industria alimentaria, brindando estabilidad y protección a los alimentos. Asimismo, refuerza el sistema inmunológico, contribuye a la producción de colágeno para una piel saludable y tiene una acción antioxidante que puede promover la salud cardiovascular y prevenir enfermedades crónicas (Braceda, 2018).

c) Estabilidad de vitamina C

La estabilidad de la vitamina C es importante desde el punto de vista nutricional, porque garantiza que los alimentos mantengan un contenido significativo de Vitamina C para cumplir con los requerimientos dietéticos y proporcionar los beneficios asociados con esta vitamina, como su papel antioxidante y su contribución al sistema inmunológico (Martínez, 2020).

2.2.4. LIOFILIZACIÓN

- **Concepto de Liofilización**

Williams (2016, como se citó en Medina Marroquín, 2020) la define como:

Es un proceso que involucra la conservación de material biológico a través de la eliminación del H₂O en una determinada muestra. Esto refiere que previamente debe pasar por un proceso de congelado y luego secar al vacío con temperaturas bajas. Este fenómeno físico se le denomina sublimación, que consiste en pasar de sólido a gaseoso sin pasar por el estado líquido (p. 42).

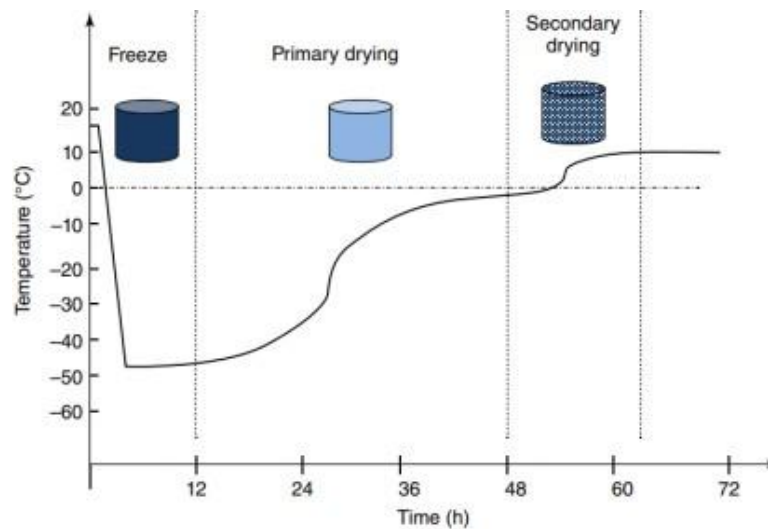
- **Etapas del Proceso de Liofilización**

Novaes (2020, como se citó en Guerra García, 2021), refiere que:

El proceso de liofilización presenta cuatro etapas, la cual inicia en el congelamiento, en el cual el alimento baja a temperaturas entre -50 y -30°C; continúa con la etapa de secado primario, que consiste en reducir la humedad libre del alimento por sublimación, hasta un 10%; luego se tiene la etapa del secado secundario, en el cual se remueve el agua hasta quedar un 3%; y finalmente se tiene la etapa de almacenamiento, la que es necesario tener muy en cuenta para garantizar que se mantengan las características nutricionales y sensoriales del alimento (p. 11).

Figura 7

Etapas del Proceso de Liofilización



Nota. Tomado de Navarrete (2023), *Diseño de un sistema de deshidratado de frutas mediante método de liofilización*.

Mientras que otros autores refieren que existen 3 fases de liofilización, Navarrete (2023) refiere que las etapas de la liofilización son importantes porque permiten controlar de manera adecuada la eliminación del agua del alimento sin afectar significativamente sus propiedades físicas, químicas y nutricionales.

- **Ventajas frente a otros Métodos de Conservación**

Para Guerra García (2021) refiere:

La liofilización ofrece diversas ventajas en la conservación de alimentos, debido a que permite mantener características idénticas a las de otros productos frescos, especialmente en atributos como sabor y valor nutricional. Además, al eliminar casi por completo el contenido de agua, los alimentos pueden almacenarse sin necesidad de refrigeración siempre que permanezcan secos. Este proceso también reduce considerablemente el peso del producto, facilitando su transporte y disminuyendo costos de almacenamiento y distribución. (p. 10)

Tabla 13*Ventajas de la Liofilización*

Secado convencional	Liofilización
Apto para alimentos que pueden secarse con facilidad (verduras, granos).	Apropiado para diversos alimentos, pero reservado aquellos que son dificultosos de secar por otros métodos.
Deshidratación de 8-12 horas máximo.	Deshidratación de 12-24 horas.
Temperatura de trabajo entre 37-93°C.	Temperatura de trabajo por debajo del punto de congelación.
Presión atmosférica.	Presiones reducidas (27-133pa).
Evaporación del agua desde la superficie del alimento.	Sublimación del hielo desde el frente de sublimación.
El alimento procesado tiene una densidad mayor que el original.	El alimento procesado es poroso con una densidad inferior al del alimento original.
Olor y sabor frecuentemente anormal. Se pierden por evaporación ya que tienen una presión de vapor apreciable a la temperatura de trabajo.	Olor y sabor frecuentemente normal. No se pierden por evaporación ya que su presión de vapor es inferior a la del hielo a la temperatura de trabajo.
Color frecuente más oscuro debido a la oxidación.	Conserva el color normal, debido a que no se produce oxidación al trabajar al vacío

Nota. Tomado de *Estudio de una Mezcla de Sacarosa más Mora (Rubus Glaucus) Liofilizada para su Aplicación en la Industria Alimentaria*, por Hipo, 2021, p. 16.

La liofilización permite conservar la calidad de los alimentos durante largos periodos de tiempo. A diferencia de otros métodos de conservación, este proceso permite preservar en mayor medida las propiedades nutricionales del producto, debido a que se realiza a bajas temperaturas. (Hipo, 2021)

- **Encapsulantes**

Los encapsulados pueden contener uno o varios ingredientes activos y pueden estar compuestos por una pared simple o doble. La microencapsulación se utiliza ampliamente en la actualidad para preservar y proteger diversos ingredientes comerciales. El componente que se cubre se denomina fase interna o compuesto activo, mientras que el material que lo envuelve se conoce como pared o matriz, y generalmente no interactúa químicamente con el material que se encapsula. (Velásquez, Riveros y Ruíz, 2018)

- **Maltodextrina**

La producción de agentes encapsulantes se realiza mediante procesos de hidrólisis ácida o enzimática de almidones. Al seleccionar los materiales de revestimiento para la encapsulación, la maltodextrina es una opción efectiva y rentable, por lo cual, presenta varias ventajas, como baja viscosidad incluso a altas concentraciones de sólidos, ausencia de olor y color, y capacidad para formar polvos de flujo libre sin afectar el sabor original. Además, la maltodextrina está disponible en diferentes pesos moleculares y se utiliza ampliamente en la industria alimentaria. (Mamani, 2019)

- **Estructura de la maltodextrina**

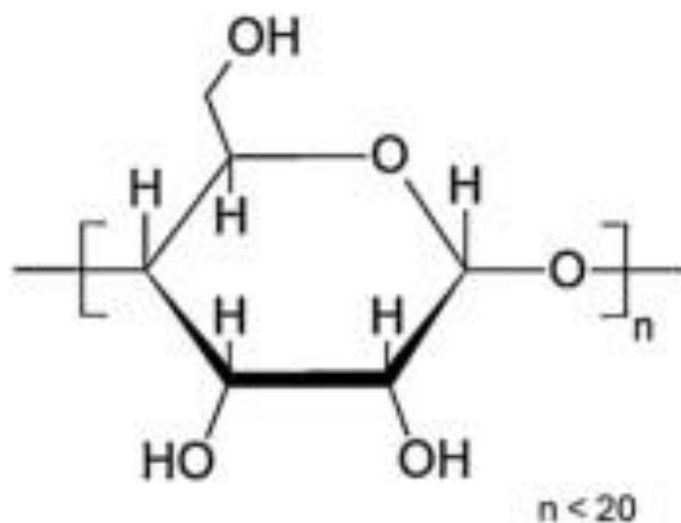
Reyes et al. (2024) refiere:

Las maltodextrinas son mezclas purificadas de carácter nutritivo formadas por polímeros de sacáridos obtenidas a partir de hidrólisis parcial de almidón comestible. proceso que puede realizarse por vía ácida o enzimática.

El almidón es un polisacárido compuesto por numerosas unidades de glucosa unidas mediante enlaces glucosídicos, organizadas en dos fracciones principales: amilosa y amilopectina. La amilosa corresponde a un polímero de cadena lineal con enlaces $\alpha(1-4)$, caracterizado por su insolubilidad en agua. En contraste, la amilopectina es un polímero ramificado que presenta entre 94 y 96 % de enlaces $\alpha(1-4)$ y entre 4 y 6 % de enlaces $\alpha(1-6)$, con ramificaciones que aparecen aproximadamente cada 15 a 25 unidades de glucosa. Esta fracción es parcialmente soluble en agua caliente (p. 163)

Figura 8

Estructura de la maltodextrina



Nota. Estructura química de maltodextrinas ($n < 20$). Tomada de *Maltodextrinas modificadas: estructura, fuentes, aplicaciones e importancia en la industria alimentaria*, por Reyes et al., 2024, p. 163.

- **Propiedades de la Maltodextrina**

La maltodextrina constituye uno de los materiales encapsulantes más utilizados en el sector alimentario debido a sus propiedades fisicoquímicas y funcionales. Estas características favorecen su aplicación en procesos de secado y conservación de compuestos bioactivos, contribuyendo a mejorar la estabilidad y calidad de diversos productos. A continuación, se presentan las principales propiedades de la maltodextrina reportadas por Reyes-Reyes et al. (2024).

Tabla 14
Propiedades de la Maltodextrina

Equivalente de Dextrosa DE	Glucosa	Maltrosa	Sacáridos Superiores	Poder Edulcorante (Sacarosa = 100)
10	0.7	2.8	96.5	2
15	1.3	4.7	94	3.3
18	1.6	5.7	92.7	4

Nota. Tomado de *Maltodextrinas modificadas: estructura, fuentes, aplicaciones e importancia en la industria alimentaria*, por Reyes et al., 2024, p. 164.

- **Goma arábica**

La goma arábica se compone principalmente de polisacáridos ramificados, como la arabinogalactana, que le confieren propiedades viscosantes y estabilizadoras. Es soluble en agua y forma soluciones viscosas y pegajosas (Alves, 2022).

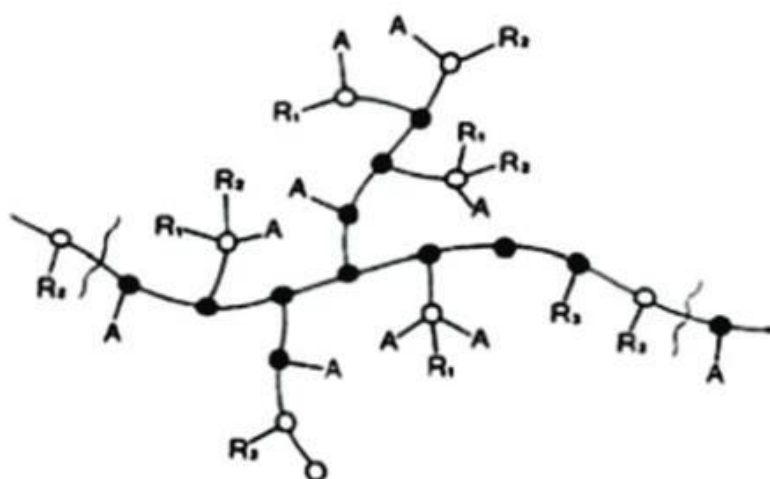
Se utiliza como un aditivo alimentario clasificado como estabilizador y emulsionante. Ayuda a mejorar la textura, la viscosidad y la estabilidad de alimentos y bebidas (Alves, 2022).

- **Estructura de la goma arábica**

La goma arábica es un tipo de polímero natural y biodegradable que se utiliza de manera extensa en la microencapsulación debido a sus propiedades de viscosidad, solubilidad y capacidad para crear emulsiones (Sánchez, 2020).

Figura 9

Estructura química de la goma arábica



***Nota.** Tomado de Estabilidad de complejos coacervados aislado de proteína de suero de leche – goma Arábica, por Sánchez, 2020, p. 35.*

- **Composición de la goma arábica**

Según Sánchez (2020) menciona que la goma arábica puede variar según su origen geográfico y en la forma en que se procesa. Estos porcentajes son aproximados y pueden variar ligeramente en diferentes lotes de goma arábica.

Tabla 15*Composición porcentual de la goma arábiga*

Aminoácidos	Composición porcentual
Alanina	28%
Arginina	5%
Ácido aspártico	50%
Fenilalanina	2%
Prolina	88%
Serina	136%
Treonina	76%
Tirosina	10%
Valina	36%

Nota. Tomado de *Estabilidad de complejos coacervados aislado de proteína de suero de leche – goma Arábiga*, por Sánchez, 2020, p. 36.

III. METODOLOGÍA

3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN

El presente estudio se llevó a cabo en distintos ambientes de la Escuela de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional del Santa (UNS) y de la Universidad Nacional Santiago Antunez de Mayolo (UNASAM), ubicados en el departamento de Ancash, los cuales brindaron las condiciones necesarias para el desarrollo de los análisis correspondientes, tales como:

- Planta Piloto Agroindustrial
- Instituto de Investigación Tecnológico Agroindustrial (IITA)
- Laboratorio de Microbiología y Toxicología
- Laboratorio de Composición y Bioquímica de Productos Agroindustriales

3.2. MATERIALES

3.2.1. Materia prima

Como materia prima para la elaboración de la bebida funcional liofilizada se utilizó la mashua (*Tropaeolum tuberosum*) amarilla y frutos de gulupa (*Passiflora edulis f. edulis*) madura, las cuales han sido seleccionados en condiciones adecuadas para su procesamiento.

Las materias primas han sido adquiridas en establecimientos comerciales y/o mercados locales de la ciudad de Chimbote. Para el caso de la mashua amarilla es traída desde Huaraz y la gulupa desde Moro, considerando criterios de calidad como apariencia, color, ausencia de daños físicos y estado de conservación. Posteriormente, las materias primas han sido sometidas a operaciones de selección, lavado y acondicionamiento previo antes de su utilización para la liofilización de la bebida funcional.

3.2.2. Insumos

- **Ácido cítrico:** regula la acidez de la bebida y favorece la estabilidad fisicoquímica y sensorial del producto final.
- **Sorbato de potasio:** agente conservante que inhibe el crecimiento de microorganismos, contribuyendo a prolongar la vida útil y mantener la estabilidad microbiológica de la bebida funcional liofilizada.

3.2.3. Aditivos alimentarios

- **Maltodextrina:** Desempeña un rol crucial en las industrias importantes de alimentos y farmacia al facilitar la unión entre el sabor y la grasa, disminuir la permeabilidad del oxígeno en la matriz y ajustar la viscosidad aparente de los fluidos. En la industria alimentaria, se emplea ampliamente como agente encapsulante debido a su sabor neutral, alta solubilidad en agua y baja viscosidad a concentraciones elevadas. Además, su capacidad para proteger la muestra encapsulada contra la oxidación la convierte en una elección valiosa, y su costo reducido añade un atractivo adicional (Ríos y Gil, 2021, p. 33).
- **Goma arábica:** Está mayormente constituida por polisacáridos ramificados, los cuales le otorgan propiedades estabilizadoras y viscosantes. Esta sustancia se disuelve en agua, generando soluciones viscosas y pegajosas. En calidad de aditivo alimentario, se clasifica como estabilizador y emulsionante, el cual ayuda en la mejora de la textura, viscosidad y estabilidad de diversos alimentos y bebidas (Alves, 2022, p. 28).

3.2.4. Materiales de Laboratorio

Para el desarrollo de los análisis y procedimientos experimentales de la investigación, se utilizaron diversos materiales de laboratorio necesarios para el procesamiento, preparación y evaluación de las muestras, los cuales permitieron realizar adecuadamente las determinaciones fisicoquímicas y funcionales de la bebida funcional liofilizada elaborada a base de mashua y gulupa. Por mencionar algunos de ellos:

- Tubo de ensayo
- Vaso de precipitado de 50, 100, 250 y 1000 ml
- Gradilla para tubos de ensayo
- Piseta
- Pipeta graduada 1 y 10 ml
- Vaso de plástico
- Probetas de 50 ml
- Varilla de agitación

- Jarras milimetradas
- Matraz Erlenmeyer de 250 ml
- Fiolas de 250 ml, 500 ml
- Crisoles
- Placas Petri
- Espátula
- Pinza metálica
- Pinza de madera
- Pera de succión
- Papel filtro

3.2.5. Otros Materiales

Además de los materiales de laboratorio, durante el desarrollo de la investigación se emplearon otros materiales complementarios necesarios para las diferentes etapas del procesamiento y elaboración de la bebida funcional liofilizada. Estos materiales facilitaron las operaciones de acondicionamiento, manipulación y conservación de las muestras experimentales, tales como:

- Mesa de acero inoxidable
- Olla de aluminio N° 40
- Cucharas de acero inoxidable
- Cuchillos
- Bolsas de polietileno de alta densidad

3.2.6. Reactivos

Para la realización de los análisis fisicoquímicos y funcionales de la investigación, se emplearon diversos reactivos de grado analítico necesarios para la preparación de soluciones y determinación de las propiedades de la bebida funcional liofilizada. Estos reactivos permitieron desarrollar adecuadamente los procedimientos experimentales y obtener resultados confiables durante el análisis de las muestras. Entre los que se pueden mencionar se tiene:

- Metanol 80%
- DPPH (2,2-Difenil-1-Picrilhidrazilo)
- Trolox (ácido 6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcroman-2-carboxílico)
- Carbonato de sodio al 7%
- Alcohol isoamílico
- Fenolftaleína 2%
- Solución buffer fosfato
- AAPH (2,2'-azobis-(2-amidinopropano hidroclicorida)
- Agua desionizada
- Solución de Fluoresceína
- ABTS - 2,2'-azino-bis-(3-etilbenzotiazolina)-6-sulfónico
- Persulfato de potasio (K₂S₂O₈)
- Etanol absoluto
- Ácido gálico
- Carbonato de sodio
- Folin Ciocalteu
- Acetona
- Agua destilada
- Hidróxido de Sodio (NaOH) 0.1 N
- Cloruro de Sodio (NaCl)

3.2.7. Equipos e Instrumentos de Laboratorio

Para el desarrollo de la investigación se utilizarán diversos equipos e instrumentos de laboratorio necesarios para el procesamiento, conservación y evaluación de las muestras experimentales. Estos equipos permitirán realizar las determinaciones fisicoquímicas, funcionales y sensoriales de la bebida funcional liofilizada de manera adecuada y precisa.

a. Equipo: Balanza analítica

Marca: PRECISA

Modelo: XB 2200C

Serie: 320XB5200093

b. Instrumento: Refractómetro

Marca: ATC

- Rango: 0 – 85 °Brix
- c. Instrumento: Termómetro de mercurio
Marca: BOECO Germany
 - d. Equipo: Centrifugadora
Marca: SIGMA
Modelo: 4 – 16KS
Serie: 5710385
 - e. Equipo: Espectrofotómetro UV – Visible
Marca: Único
Modelo: 2800 UV/VIS
 - f. Equipo: Cocina industrial
Marca: Indurama
Material: Acero inoxidable
 - g. Equipo: Licuadora industrial
Marca: Ecoserv
 - h. Equipo: Colorímetro digital
Marca: KONICA MINOLTA
Modelo: CR – 400
 - i. Equipo: Liofilizador (UNASAM)
Marca: Scientz Biotechnology
Serie: Serie N (Liofilizadores de laboratorio a pequeña escala)
Material: Cámara de secado (Campana): Hecha de policarbonato moldeado por inyección, transparente, incoloro y resistente a la corrosión. Trampa de frío (Cold Trap), panel de control y bandejas de muestras: Fabricados en acero inoxidable, lo que garantiza alta resistencia a la corrosión y facilidad de Limpieza.
Modelo: SCIENTZ-18N
 - j. Equipo: Reómetro (UNASAM)
Marca: AMETEK Brookfield
Serie: RSO (Reómetros Oscilatorios y Rotacionales)
Modelo: RSO Rheometer
Material: Carcasa externa: Fabricada en plástico técnico de alta resistencia y durabilidad química (polímero moldeado)

- k. Equipo: Multimodal
Marca: Biotek
Modelo: SynergyH1
- l. Equipo: Pulpeadora
Marca: Elettronica Veneta
Modelo: PAS/EV
Serie: 15.01.02181
Material: Acero inoxidable

3.3. ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, debido a que se fundamenta en la recolección, medición y análisis estadístico de datos numéricos obtenidos a partir de ensayos de laboratorio, tales como el contenido de vitamina C, polifenoles totales y capacidad antioxidante de la bebida funcional liofilizada.

3.4. MÉTODO

La presente investigación se desarrolló mediante el método experimental, debido a que se evaluaron diferentes formulaciones de una bebida funcional liofilizada a base de mashua (*Tropaeolum tuberosum*) y gulupa (*Passiflora edulis f. edulis*), con la finalidad de determinar la formulación óptima según sus características fisicoquímicas, funcionales y sensoriales. Asimismo, durante el desarrollo del estudio se manipularon las proporciones de las materias primas y se analizaron las respuestas obtenidas a través de pruebas de laboratorio y evaluación sensorial.

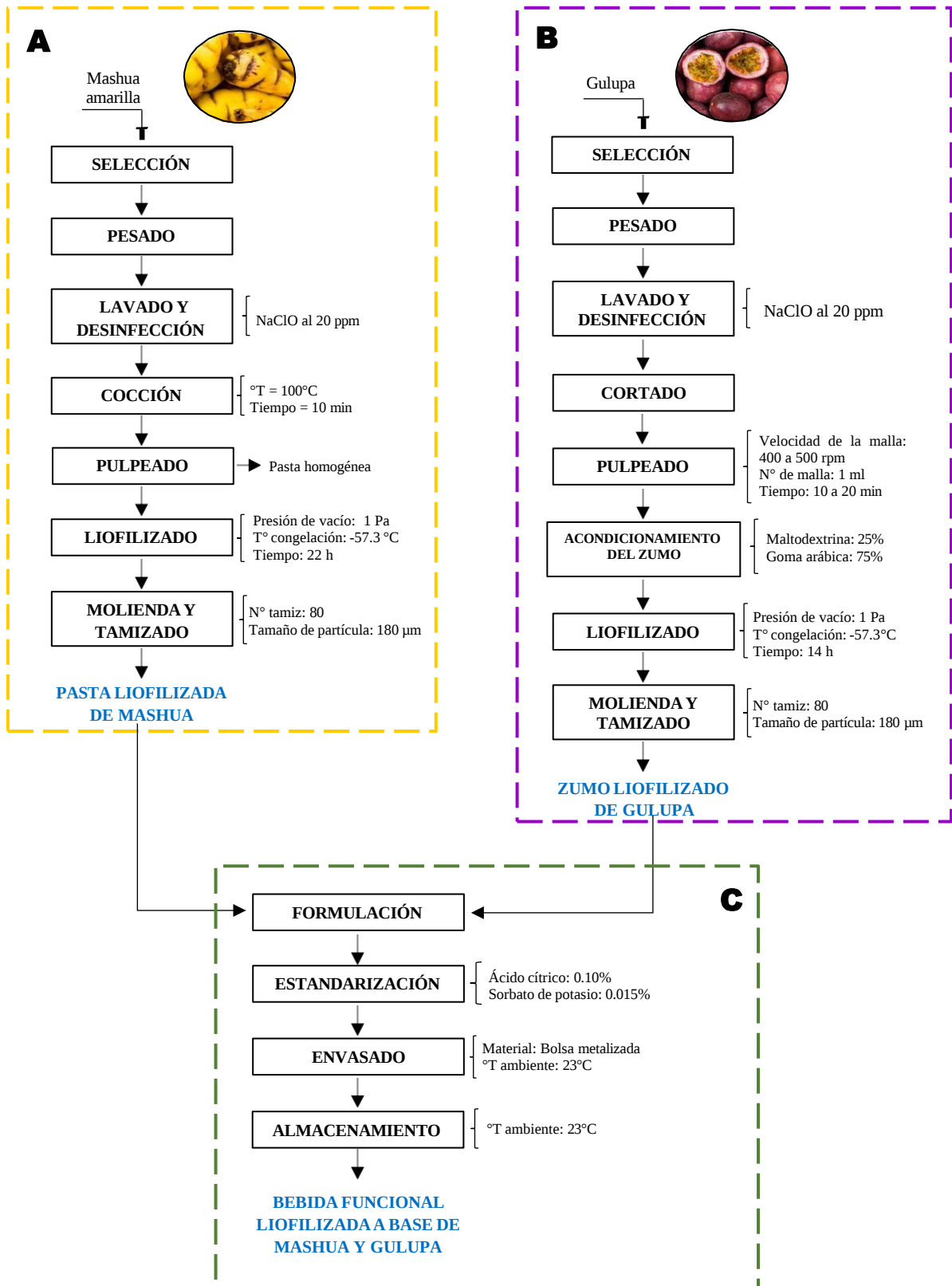
3.4.1. Metodología del proceso de elaboración de la bebida funcional

El proceso de obtención de la bebida funcional liofilizada a base de mashua (*Tropaeolum tuberosum*) amarilla y gulupa (*Passiflora edulis f. edulis*) se llevó a cabo mediante una serie de etapas tecnológicas secuenciales, las cuales incluyen operaciones de selección, preparación, procesamiento y liofilización de las materias primas, con el fin de obtener un producto estable y con características fisicoquímicas y sensoriales definidas.

El esquema permite visualizar de manera ordenada la secuencia del proceso aplicado, facilitando la comprensión de la metodología utilizada en la obtención del producto final, tal como se muestra a continuación:

Figura 10

Diagrama de flujo para la elaboración de bebida funcional liofilizada a base de mashua y gulupa



3.4.2. Descripción del proceso de elaboración de la bebida funcional liofilizada

a) Elaboración de la pasta de mashua amarilla liofilizada

Para la elaboración de la pasta liofilizada de mashua se realizaron una serie de operaciones secuenciales orientadas a garantizar la adecuada conservación y calidad del producto final, las cuales se describen a continuación:

- **Recepción:** Se recepcionó 2 kg de mashua amarilla en las instalaciones de la Planta Piloto de la Universidad Nacional del Santa.
- **Selección:** La mashua se seleccionó con criterios de calidad como: color, buena textura y aroma, descartando los tubérculos demasiados maduros, muy verdes, podridos o dañados.
- **Pesado:** Después del seleccionado de la materia prima, pasan a ser pesados para verificar el rendimiento de la misma en el proceso.
- **Lavado y desinfección:** Posterior a ello se lava para eliminar cualquier contaminante sobre el exterior de la mashua con agua potable circulante. Posteriormente, se desinfecta la materia prima en una solución de hipoclorito de sodio (NaClO) a 20 ppm.
- **Cocción:** A una temperatura de 100°C se procedió a cocinar la mashua en un máximo de 10 minutos, para disminuir y/o eliminar el sabor picante característico del tubérculo y lograr una textura más suave.
- **Pulpeado:** La materia prima se colocó en una licuadora industrial de la Planta Piloto Agroindustrial, para obtener una pasta homogénea.
- **Liofilizado:** La mezcla acondicionada y homogenizada se colocó en bandejas de acero inoxidable del laboratorio de investigación de la UNASAM. Posteriormente, se instaló el termo sensor para realizar los controles del proceso, a una temperatura de congelación de -57.3°C durante 22 horas, con el fin de eliminar el contenido de agua de la pasta de mashua.

- **Molienda y tamizado:** En estas operaciones, se trituro la muestra liofilizada para reducir el tamaño de partículas. Luego, pasó por un tamiz número 80, para obtener un polvo fino con un tamaño de partícula de 180 μm .

b) Elaboración del zumo liofilizado de gulupa

Para la elaboración del zumo liofilizado de gulupa se llevaron a cabo diversas operaciones orientadas a preservar sus propiedades fisicoquímicas y funcionales, las cuales se describen a continuación:

- **Recepción:** Se recepcionó 10kg de gulupa en las instalaciones de la Planta Piloto de la Universidad Nacional del Santa.
- **Selección:** La gulupa fue seleccionada con criterios de calidad como: color, buena textura y aroma, descartando los frutos demasiado maduros, muy verdes, podridos o dañados.
- **Pesado:** Posterior al seleccionado se procedió a pesar la materia prima para obtener el rendimiento de la misma en el proceso.
- **Lavado y desinfección:** Se procede a lavar para eliminar contaminantes de la superficie de la gulupa con agua potable circulante. Luego, se desinfectó sumergiendo los frutos en una solución de hipoclorito de sodio (NaClO) a 20 ppm.
- **Cortado:** Se realizó un cortado al fruto de gulupa para obtener el contenido líquido del interior del fruto, y facilitar el proceso de pulpeado.
- **Pulpeado:** El contenido extraído se colocó en una pulpeadora del Instituto de Investigación Tecnológico Agroindustrial (IITA) de la Universidad Nacional del Santa, con el fin obtener un zumo libre de partículas de gran tamaño.
- **Acondicionamiento del zumo:** Se utilizó maltodextrina (25%) y goma arábica (75%) como agentes encapsulantes, se adicionó el porcentaje de cada insumo en base a los sólidos solubles de la mezcla al liofilizar. Luego, se homogenizó en una licuadora manual, agregando poco a poco hasta obtener una mezcla completa y homogénea.

- **Liofilizado:** La mezcla acondicionada y homogenizada se colocó en bandejas de acero inoxidable del laboratorio de investigación de la UNASAM. Posteriormente, se instaló el termo sensor para realizar los controles del proceso, a una temperatura de congelación de -57.3°C durante 14 horas, con el fin de eliminar el contenido de agua del zumo de gulupa.
- **Molienda y tamizado:** En estas operaciones, se trituró la muestra liofilizada para reducir el tamaño de partículas. Luego, pasó por un tamiz número 80, hasta obtener un polvo fino con un tamaño de partícula de 180 µm.

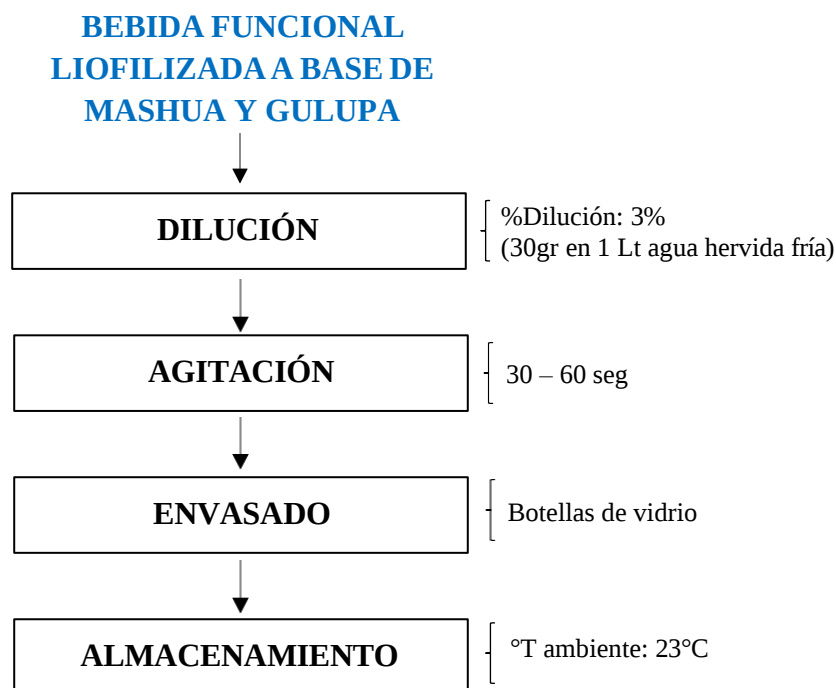
c) **Elaboración de la bebida funcional liofilizada**

Una vez obtenida la pasta liofilizada de mashua y el zumo liofilizado de gulupa mediante los procedimientos anteriormente descritos, se procedió a la elaboración de la bebida funcional liofilizada, siguiendo las etapas que se detallan a continuación:

- **Formulación:** La pasta de mashua y zumo de gulupa liofilizadas y tamizadas, se mezclaron para constituir la bebida funcional con los porcentajes mencionados a continuación:
 - Porcentaje de pasta liofilizada de mashua: 10% - 50%
 - Porcentaje de zumo liofilizado de gulupa: 50% - 90%
- **Estandarización:** Luego de mezclar las muestras, se estandarizó con el regulador de acidez (ácido cítrico al 0.10%); asimismo, se añadió el conservante (sorbato de potasio al 0.015%) hasta obtener una mezcla homogénea.
- **Envasado:** El polvo fino obtenido, se envasó a una temperatura ambiente (23°C) en bolsas metalizadas con la finalidad de no ganar humedad y que no sean afectados por la luz u otros factores externos ambientales.
- **Almacenamiento:** Finalmente, se almacenó a temperatura ambiente, en un lugar limpio, fresco y seco para su posterior análisis y consumo.

Figura 11

Diagrama de Flujo de la Rehidratación de la Bebida Funcional Liofilizada a base de Mashua y Gulupa



d) Elaboración de la rehidratación de bebida funcional liofilizada a base de mashua y gulupa

Una vez obtenida la bebida funcional liofilizada a base de mashua y gulupa, se procedió a su rehidratación para la evaluación de sus características fisicoquímicas y sensoriales, siguiendo las etapas que se describen a continuación:

- **Dilución:** Se disolvió el contenido de un sobre de bebida funcional liofilizada (30 g) en un litro de agua hervida fría, con la finalidad de restituir las condiciones de consumo de la bebida y favorecer la dispersión de los componentes en el medio acuoso.
- **Agitación:** La mezcla se agitó de manera continua durante aproximadamente 30 a 60 segundos hasta lograr la completa disolución y homogenización del polvo liofilizado en el agua, obteniendo una bebida uniforme, libre de grumos. Adicionalmente, si el consumidor lo desea, se puede añadir

edulcorante en la cantidad que considere conveniente, de acuerdo con su preferencia de dulzor, continuando la agitación hasta lograr su completa disolución.

- **Envasado:** La bebida rehidratada se envasó en botellas de vidrio previamente lavadas y desinfectadas, con el propósito de conservar sus características funcionales y fisicoquímicas, y para evitar contaminaciones externas.
- **Almacenamiento:** Finalmente, la bebida funcional fue almacenada a temperatura ambiente (23°C) en un lugar limpio, fresco y seco hasta su posterior análisis, evaluación y/o consumo.

3.4.3. Métodos de caracterización de las materias primas y de la bebida funcional liofilizada

a) Análisis químico proximal de la mashua amarilla

- **Determinación de humedad**

Se realizó por diferencia de pesos según 934.06 (37.1.10) AOAC 2016.

Cálculo:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{W_1 - W_2}{W_1} * 100\%$$

Donde:

- W_1 : Peso muestra inicial
 - W_2 : (Peso placa + Muestra final) – Peso de placa
-
- **Determinación de cenizas**
El contenido de cenizas se determinó siguiendo el método 7009 de la AOAC (2016). Para ello, se utilizó un crisol previamente secado y pesado, al cual se añadieron 3 g de muestra. Posteriormente, la muestra fue incinerada en una mufla a una temperatura comprendida entre 520 y 600 °C durante un periodo de 3 a 5 horas, hasta obtener cenizas de color blanco. Finalizada la incineración, el crisol es retirado y colocado en una campana

de desecación durante 30 minutos a temperatura ambiente. Finalmente, se registró el peso del crisol junto con las cenizas obtenidas.

Cálculo:

$$\% \text{Cenizas} = \frac{W_{\text{muestra final}}}{W_{\text{muestra inicial}}} * 100\%$$

Donde:

- $W_{\text{muestra final}}$: (Peso del crisol + Muestra final) – Peso del crisol
- $W_{\text{muestra inicial}}$: Peso muestra inicial

- **Determinación de grasas**
Para cuantificar el contenido de grasa de la muestra, se empleó el método AOAC 963.15 (2005).
- **Determinación de proteínas**
El análisis del contenido de proteína siguió el procedimiento detallado en el A.O.A.C.2001.11, 2012.
- **Determinación de fibra**
Se realizó mediante el método AOAC 1980 - Digestión Acido alcalina.
- **Determinación de carbohidratos**
La determinación de carbohidratos se realizó siguiendo la NTP 205.038 (1975), aplicando el método por diferencia, el cual consiste en calcular este componente como el porcentaje restante después de descontar del 100 % los contenidos de humedad, proteínas, grasa, fibra y cenizas.

b) Análisis fisicoquímicos de las materias primas y de la bebida funcional liofilizada rehidratada

- Determinación de sólidos solubles totales (°Brix)

Se hizo el uso de un refractómetro digital automático, prescindiendo de la temperatura. Se depositó una gota de la bebida funcional liofilizada rehidratada sobre el prisma del refractómetro previamente calibrado con agua destilada, registrándose posteriormente la lectura en grados Brix (°Brix).

- Determinación de acidez titulable (%)

Se evaluó a través de la neutralización con hidróxido de sodio (NaOH) mediante titulación, expresándose en ácido cítrico y ascórbico, ya que son los ácidos de referencia; los métodos AOAC.939.05 (2000) y 947.05 (AOAC, 2016).

Cálculo:

$$\text{Acidez (\%)} = \frac{(G \times N \times \text{mEq})}{M} \times 100$$

Donde:

G = ml de NaOH

N = normalidad de NaOH (0.1)

mEq. = mili equivalente del ácido predominante

M = peso muestra en mg o ml

- Determinación de pH

Se llevó a cabo utilizando un pH-metro digital automático, previamente calibrado, para obtener el valor del pH.

- Determinación de Vitamina C (mg/100g)

Se llevó a cabo mediante espectrofotometría, utilizando el equipo multimodal y la curva estándar de vitamina C, así como el método volumétrico del 2,6-Diclorofenolindofenol (método AOAC.967.21,45.1.14).

c) Análisis sensorial de la bebida funcional liofilizada rehidratada

Para evaluar la aceptabilidad sensorial de las formulaciones de la bebida funcional liofilizada rehidratada, se aplicó una prueba sensorial afectiva de aceptación, mediante una escala hedónica de 5 puntos. Para ello, participaron 50 panelistas no entrenados, quienes evaluaron las muestras rehidratadas, asignando valores de acuerdo con su nivel de agrado, donde 1 correspondió a “me disgusta mucho” y 5 a “me gusta mucho”.

Con la finalidad de minimizar posibles sesgos durante la evaluación, las muestras fueron identificadas mediante códigos numéricos aleatorios, evitando que los panelistas pudieran reconocer o asociar las muestras con una determinada formulación. Asimismo, las muestras fueron presentadas en un orden aleatorio, con el propósito de reducir los efectos asociados con la posición y el orden de presentación, tales como la preferencia por la primera o última muestra evaluada, la adaptación sensorial y la influencia de la muestra previamente degustada.

Los atributos evaluados fueron sabor, olor, color y aspecto general. Asimismo, los panelistas registraron observaciones adicionales relacionadas con las características de la bebida.

Los resultados obtenidos fueron analizados mediante análisis de varianza (ANOVA) utilizando el software Design-Expert, considerando un nivel de significancia de $p < 0.05$.

d) Análisis de las características funcionales del tratamiento óptimo de la bebida funcional liofilizada

- Determinación de capacidad antioxidante

Para evaluar la actividad antioxidante, se empleó la metodología basada en el radical 2,2-difenil-1-picrilhidracilo (DPPH) según el protocolo 2012.04. Se comenzó con la preparación de una solución de DPPH 1 mM (20 mg en 50 mL de metanol absoluto), la cual se diluyó con metanol hasta obtener una absorbancia

cercana a 0,800 a 515 nm. Se elaboró la curva patrón de Trolox a partir de una solución madre 1 mM (12,5 mg de ácido 6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcroman-2carboxílico en 50 mL de metanol), de la que se obtuvieron cinco soluciones con concentraciones entre 25 y 500 µM. Usando metanol como blanco, se midió la absorbancia inicial (A_0) del radical DPPH y las absorbancias de las cinco concentraciones a 515 nm, por triplicado y sin incubación, colocando 10 µL de cada estándar y 190 µL de DPPH en los pocillos de la microplaca.

La fórmula para la determinación de antioxidante es la siguiente:

$$\% \text{DPPH Reducido} = \frac{A_0 - A_m}{A_0} \times 100$$

- **Determinación de polifenoles totales**

La cuantificación de polifenoles totales se llevó a cabo utilizando el método de Folin y Ciocalteu, siguiendo el protocolo descrito por Moreno Escamilla (2015) y modificado por Caballero & Escobedo (2019). Se construyó una curva de calibración utilizando seis concentraciones de ácido gálico (20, 40, 60, 80, 100 µL y blanco). De cada concentración se tomaron 100 µL por triplicado, añadiendo 1 mL de reactivo Folin-Ciocalteu diluido 10 veces, seguido de una incubación en oscuridad durante 5 minutos. Posteriormente, se incorporaron 50 µL de carbonato de sodio (Na_2CO_3) al 20% y volúmenes variables de agua destilada (1080, 1060, 1040, 1020, 1000, 1100 µL), incubando nuevamente por 60 minutos en oscuridad a temperatura ambiente. Finalmente, se midió la absorbancia a 765 nm en un lector multimodal, empleando como blanco un tubo con todos los reactivos excepto el ácido gálico, sustituido por 100 µL de agua destilada.

- **Determinación de vitamina C**

La determinación de vitamina C se realizó mediante el método de titulación con 2,6-diclorofenol indofenol, de acuerdo con la norma AOAC 967.21 (1990). Se prepararon soluciones de ácido

oxálico al 0,4 %, ácido ascórbico al 0,1 % y 2,6-diclorofenol indofenol, a partir de las cuales se elaboró una curva estándar con concentraciones de 1 a 5 mg/100 mL. Las absorbancias se determinaron a 520 nm mediante espectrofotometría, utilizando los estándares para establecer la relación entre concentración y absorbancia. Para el análisis de las muestras, se mezclaron 5 g de muestra con 35 mL de ácido oxálico al 0,4 %, se filtró y se determinó la absorbancia de la solución resultante. Finalmente, la concentración de vitamina C se calculó a partir de la diferencia de absorbancias obtenida y la curva estándar de ácido ascórbico.

3.5. DISEÑO DE LA INVESTIGACION

3.5.1. Diseño Estadístico

Se empleó un diseño D-óptimo para mezclas, utilizando el software Design-Expert versión Trial, con el propósito de determinar la combinación óptima de mashua y gulupa que permita obtener la mayor aceptación sensorial. La optimización se realizó a partir de los resultados del análisis sensorial, considerando como variables respuesta los atributos de olor, color, sabor y apariencia general, debido a que estos permiten identificar la formulación con características organolépticas más favorables.

El análisis estadístico se efectuó mediante ANOVA, con un nivel de significancia de $p < 0,05$, para determinar el efecto de las proporciones de mashua y gulupa sobre las respuestas sensoriales. La formulación óptima se seleccionó considerando la maximización de la aceptación sensorial. Para la comparación de medias entre tratamientos se empleó la prueba de Tukey ($p < 0,05$).

Para modelar el comportamiento de las variables respuesta en función de las variables independientes, se utilizó un modelo cuadrático de mezclas:

$$Y = \beta_0 + \sum \beta_1 X_1 + \sum \beta_{ij} X_i X_j$$

Donde:

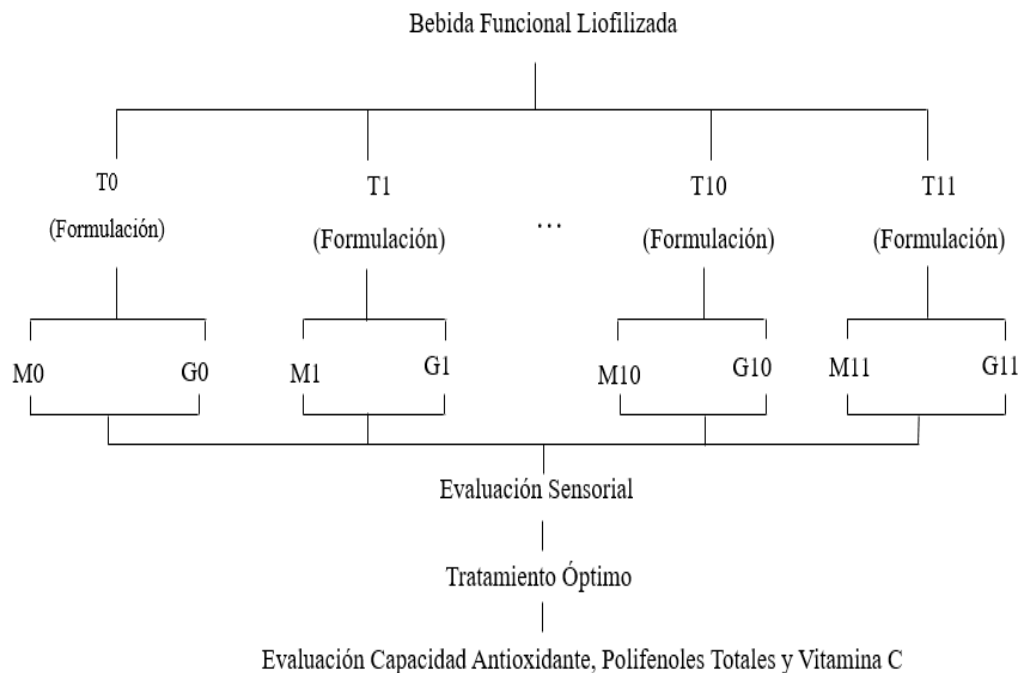
- Y : variable respuesta (capacidad antioxidante, vitamina C, polifenoles o aceptabilidad sensorial).
- X_i : proporción de los componentes de la mezcla.
- β_0 : intercepto del modelo.
- β_i : coeficientes lineales.
- β_{ij} : coeficientes de interacción entre componentes.

3.5.2. Diseño experimental de mezclas de la bebida funcional liofilizada

En el software Design-Expert se ingresaron las variables independientes y variables respuesta, generándose un diseño experimental de mezclas tipo D-óptimo con diferentes formulaciones para evaluar el efecto de los componentes sobre las características funcionales y sensoriales de la bebida funcional liofilizada.

Figura 12

Esquema del diseño experimental de mezclas D-óptimo aplicado a la formulación de la bebida funcional liofilizada



Asimismo, las formulaciones repetidas dentro del diseño experimental correspondieron a réplicas utilizadas para estimar el error puro y validar la precisión del modelo generado.

Tabla 16

Matriz experimental de diseño de mezclas D-Optimal

Tratamientos	Variables de estudio	
	% pasta liofilizada de mashua	% zumo liofilizado de gulupa
T0	0	100
T1	45	55
T2	35	65
T3	30	70
T4	50	50
T5	40	60
T6	10	90
T7	50	50
T8	20	80
T9	50	50
T10	10	90
T11	15	85

Para evaluar la aceptabilidad sensorial de las formulaciones, se realizó con la participación de 50 panelistas no entrenados, quienes calificaron las muestras rehidratadas utilizando una escala hedónica de 5 puntos, donde 1 representó a “me disgusta mucho” y 5 a “me gusta mucho”.

Los atributos evaluados fueron sabor, olor, color y aspecto general. Asimismo, los panelistas registraron observaciones adicionales relacionadas con las características de la bebida.

3.6. VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN

3.6.1. Variables Independientes

- a) Pasta liofilizada de mashua: 10% – 50%
- b) Zumo liofilizado de gulupa: 50% – 90%

Tabla 17

Condiciones de las variables independientes

Factor	Mínimo	Máximo	Unidad	Continuo
Pasta liofilizada de mashua	10	50	%	SI
Zumo liofilizado de gulupa	50	90	%	SI

Nota. Los rangos se establecieron debido a pruebas preliminares.

3.6.2. Variables Dependientes

- a) Características sensoriales: sabor, olor, color y aspecto general.
- b) Características funcionales: capacidad antioxidante, polifenoles totales y vitamina C.

Tabla 18

Variables y Factores de Estudio

Variables	Factores de estudio
Variables independientes	Pasta liofilizada de mashua Zumo liofilizado de gulupa
Variables dependientes	Sabor Olor Color Aspecto general Capacidad antioxidante Polifenoles totales Vitamina C

3.7. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Se emplearon técnicas experimentales y sensoriales. En el análisis experimental se realizaron determinaciones fisicoquímicas y bioactivas de la bebida funcional, tales como contenido de vitamina C, polifenoles totales y capacidad antioxidante. Para ello se utilizaron fichas de registro de laboratorio. Para la evaluación sensorial se aplicó la técnica de prueba hedónica de cinco puntos en un panel no entrenado, evaluando los atributos de color, olor, sabor y aspecto general, utilizando como instrumento una ficha de evaluación sensorial estructurada. Asimismo, se empleó el software Design-Expert versión Trial para el diseño experimental y análisis estadístico de los datos.

3.8. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los datos obtenidos fueron analizados mediante análisis de varianza (ANOVA) para determinar la significancia del modelo experimental. Se aplicó regresión múltiple para la construcción de modelos matemáticos y superficies de respuesta, permitiendo la optimización de la formulación mediante el diseño D-óptimo, y en el caso de diferencias significativas, se aplicó la prueba de Tukey ($p < 0.05$) para la comparación de medias entre formulaciones.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. ANÁLISIS PROXIMAL Y FISICOQUÍMICO DE LAS MATERIAS PRIMAS

4.1.1. Análisis químico proximal de la mashua amarilla

Los resultados de la determinación respecto de la composición proximal de la materia prima empleada en la formulación de la bebida funcional, se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 19

Composición química proximal de la mashua amarilla

Parámetros	Contenido
Humedad (%)	86.33 ± 0.05
Cenizas (%)	1.18 ± 0.08
Grasas (%)	0.49 ± 0.04
Proteínas (%)	0.81 ± 0.03
Fibra (%)	2.33 ± 0.07
Carbohidratos (%)	8.86 ± 0.10

Nota. Los resultados se expresan como media ± desviación estándar de las determinaciones realizadas.

La Tabla 19 muestra la composición química proximal de la mashua amarilla utilizada en la presente investigación, la cual presentó valores de humedad, cenizas, proteínas, grasas, fibra dietaria y carbohidratos de 86.33 ± 0.05%, 1.18 ± 0.08%, 0.81 ± 0.03%, 0.49 ± 0.04%, 2.33 ± 0.07% y 8.86 ± 0.10%, respectivamente. Al comparar estos resultados con los reportados por Barrionuevo (2024), quien obtuvo 86.02% de humedad, 0.62% de cenizas, 0.94% de proteínas, 0.40% de grasas, 2.64% de fibra y 9.37% de carbohidratos en mashua amarilla, se observa una marcada similitud en la mayoría de los componentes evaluados, especialmente en el contenido de humedad, el cual se mantiene en rangos cercanos. Asimismo, Pérez (2021) reportó valores de 86.5% de humedad, 1.23% de proteínas, 0.79% de grasa, 1.16% de cenizas, 1.45% de fibra y 10.31% de carbohidratos, evidenciándose una tendencia consistente en el contenido de humedad respecto al presente estudio, mientras que las demás fracciones proximales presentan ligeras variaciones.

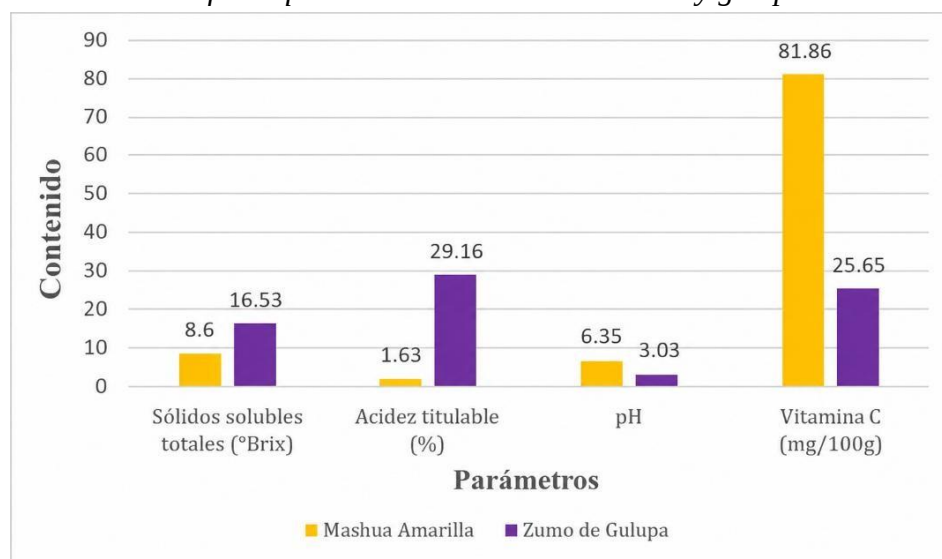
Por su parte, Dionicio Varas et al. (2026), mostró resultados con similitud con respecto a lo reportado para la oca (*Oxalis tuberosa*), cuyos valores promedio fueron 83.01% de humedad, 1.08% de proteínas, 0.30% de grasas, 1.24% de cenizas, 1.54% de fibra y 14.01% de carbohidratos. En ambos tubérculos se observa un elevado contenido de humedad y bajos niveles de grasa, características propias de los tubérculos andinos. Asimismo, los contenidos de proteínas y cenizas mostraron variaciones poco pronunciadas en comparación con los obtenidos en el presente estudio. Sin embargo, la mashua amarilla registró mayor contenido de fibra dietaria (2.33%) que la oca (1.54%), mientras que esta última presentó una mayor proporción de carbohidratos (14.01% frente a 8.86%). Estas diferencias pueden atribuirse a las características genéticas propias de cada especie, así como a factores relacionados con la variedad cultivada, condiciones edafoclimáticas, entre otros, los cuales influyen directamente en la acumulación y distribución de nutrientes en los tubérculos andinos.

4.1.2. Análisis fisicoquímico de la mashua amarilla y del zumo de gulupa

La evaluación de las propiedades fisicoquímicas de ambas materias primas mostró las características que podrían influir en el comportamiento de la bebida formulada, las cuales se presentan en el siguiente gráfico:

Gráfico 1

Características fisicoquímicas de la mashua amarilla y gulupa



Nota. Los valores representan las propiedades fisicoquímicas determinadas en la mashua amarilla y el zumo de gulupa, incluyendo sólidos solubles totales (°Brix), acidez titulable, pH y contenido de vitamina C.

Los resultados en el Gráfico 1 muestran que la mashua amarilla presentó 8.60 ± 0.10 °Brix, 1.63 ± 0.06 % de acidez titulable, pH de 6.35 ± 0.02 y 81.86 ± 1.09 mg/100 g de vitamina C; mientras que el zumo de gulupa evidenció 16.53 ± 0.25 °Brix, 29.16 ± 0.33 % de acidez titulable, pH de 3.03 ± 0.09 y 25.65 ± 0.93 mg/100 g de vitamina C. Estos resultados son comparables con lo reportado por Espinosa y Rodríguez (2020), quienes para gulupa encontraron sólidos solubles entre 14.4 y 16.6 °Brix y una marcada acidez asociada a su contenido de ácidos orgánicos, valores cercanos a los obtenidos en el presente estudio, lo cual se atribuye principalmente al estado de maduración del fruto y las condiciones de producción agrícola. Asimismo, Bermeo (2020) señala que la composición fisicoquímica de la gulupa varía significativamente con el estado de madurez, influenciando parámetros como sólidos solubles, acidez y pH, lo que explica las diferencias leves observadas frente a los valores reportados en investigaciones previas.

Respecto a la mashua amarilla, Barrionuevo (2024) reportó valores cercanos a pH neutro (~ 6.2) y bajo nivel de acidez; situación que guarda concordancia con los hallazgos de este estudio, confirmando su naturaleza como tubérculo de baja acidez. En relación con la vitamina C, Luera Quiñones et al. (2025) reportan valores entre 60 y 90 mg/100 g en mashua amarilla, lo cual es consistente con el valor encontrado (81.86 mg/100 g), destacando su potencial como fuente de compuestos antioxidantes. Las diferencias observadas podrían deberse a aspectos como la variabilidad genética, el estado de maduración, las condiciones del entorno edafoclimático y las técnicas analíticas aplicadas, los cuales influyen directamente en la composición fisicoquímica de los alimentos de procedencia vegetal.

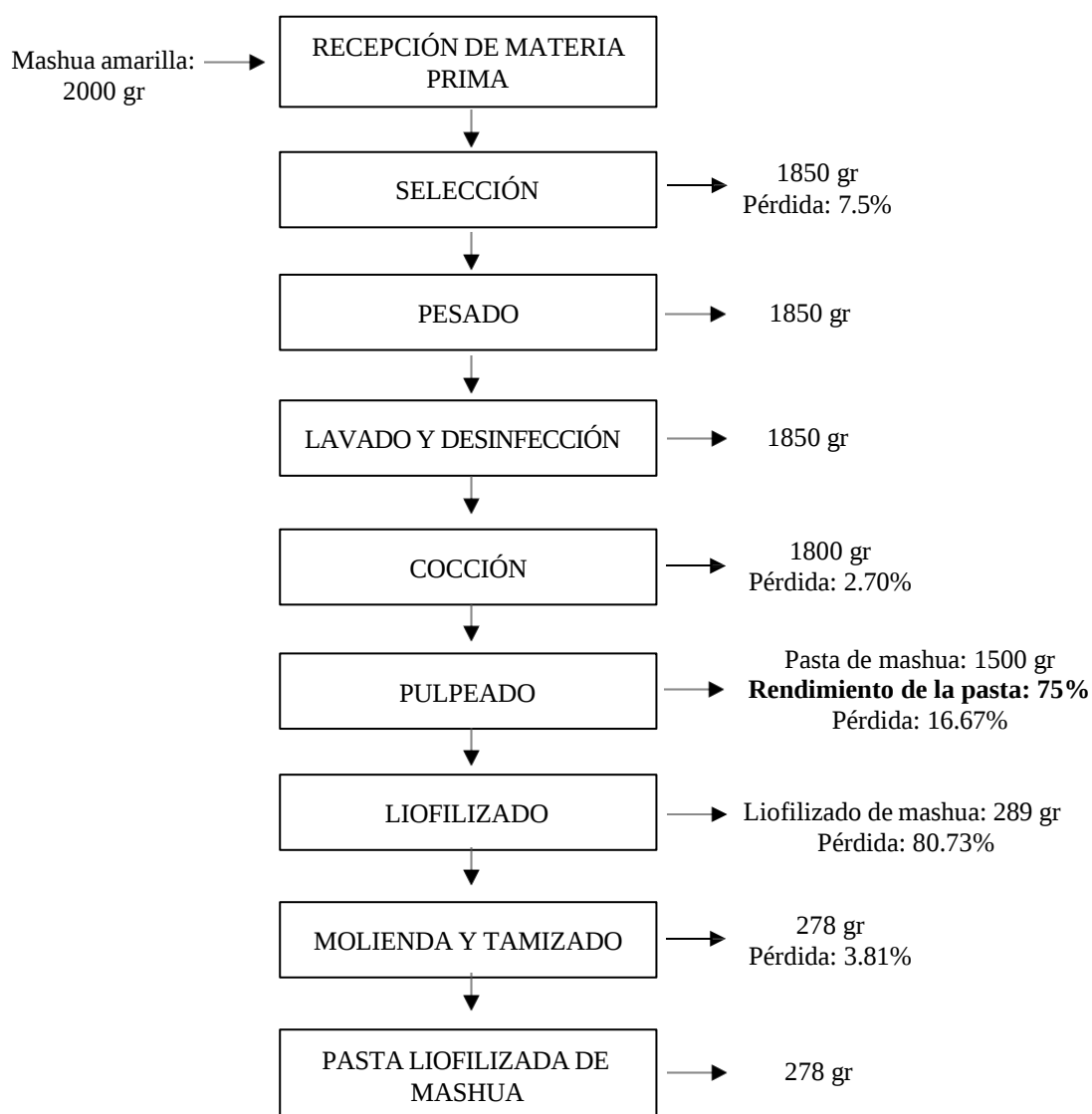
4.2. RENDIMIENTO DE LA LIOFILIZACIÓN DE LAS MATERIAS PRIMAS

4.2.1. Rendimiento de la pasta liofilizada de mashua amarilla

Se recepcionó 2 kg de mashua amarilla, obteniendo 1.5kg de pasta, donde finalmente el rendimiento fue 75%, tal como se observa en el siguiente gráfico:

Gráfico 2

Diagrama de balance de materia para el rendimiento del liofilizado de pasta de mashua amarilla



Nota. El diagrama representa el proceso de liofilización aplicado a la pasta de mashua amarilla, el cual inicia con la recepción de la materia prima, hasta la obtención de la pasta liofilizada de mashua.

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Liofilizado de mashua (gr)}}{\text{Pasta de mashua (gr)}} * 100\%$$

$$\text{Rendimiento} = \frac{278 \text{ (gr)}}{1500 \text{ (gr)}} * 100\%$$

$$\text{Rendimiento} = 18.53\%$$

El Gráfico 2 muestra el 18.53% respecto al rendimiento de la pasta liofilizada de mashua amarilla obtenida en la presente investigación, a partir de 278 g de producto liofilizado y 1500 g de pasta fresca inicial. Este resultado indica la pérdida de humedad asociada al proceso de liofilización, lo cual es característico de este tipo de tecnología de deshidratación por sublimación. Estos resultados comparados con lo reportado por Ariel Buzera et al. (2022), se observa una marcada similitud, ya que dichos autores obtuvieron rendimientos de 18.70%, 17.64% y 22.99% en harinas de papa elaboradas mediante liofilización a partir de diferentes variedades de tubérculo. El rendimiento obtenido en la presente investigación (18.53%) se encuentra dentro de este rango, lo que sugiere un comportamiento comparable entre ambos materiales vegetales frente al proceso de secado por congelación.

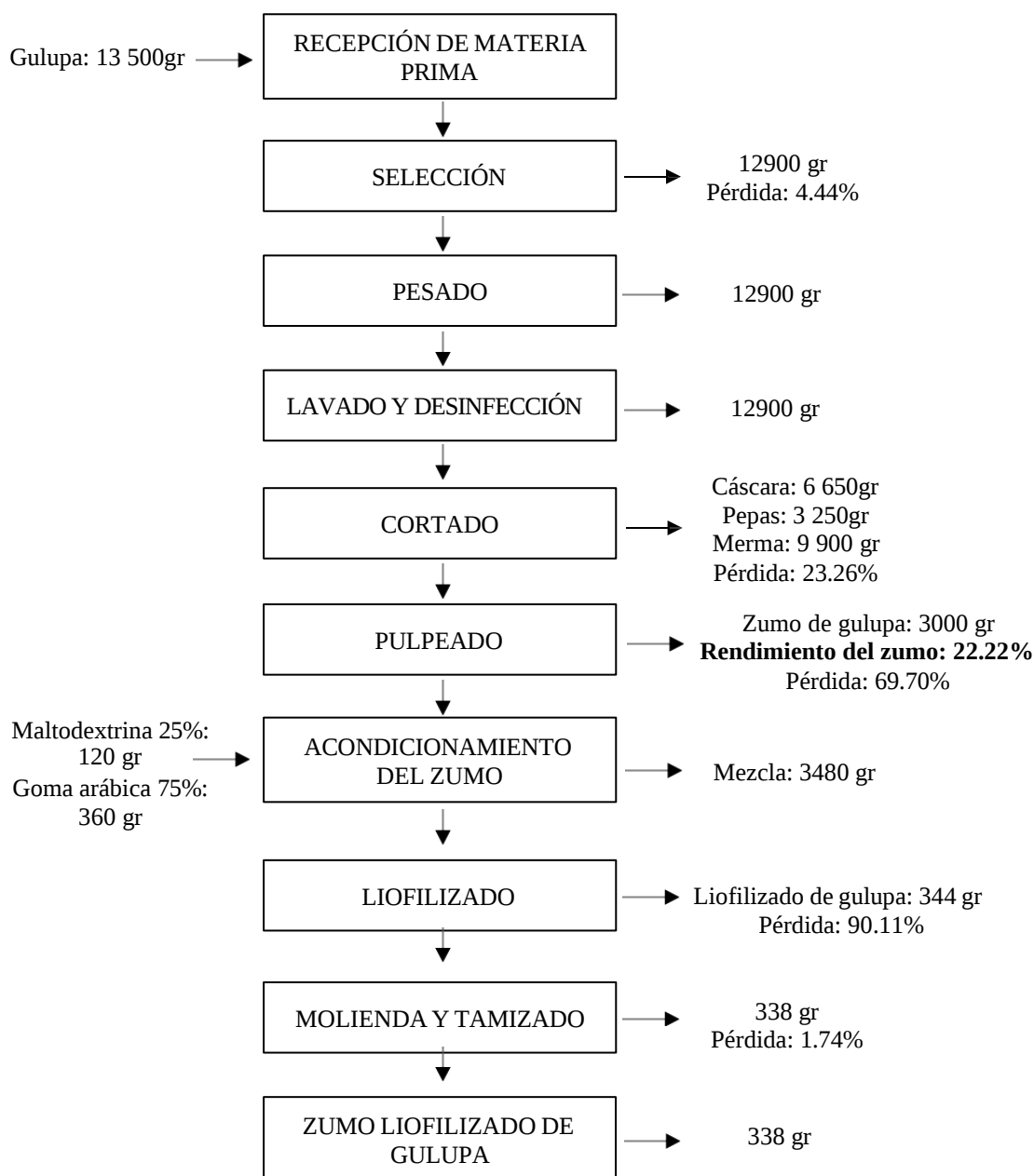
La similitud observada podría atribuirse a que tanto la mashua como la papa son tubérculos con elevado contenido de humedad y una composición rica en almidón, características que favorecen pérdidas de masa semejantes durante la sublimación del agua. Las diferencias encontradas pueden estar relacionadas con la composición química propia de cada especie, el contenido inicial de sólidos, las condiciones de congelación y los parámetros operativos empleados durante la liofilización.

4.2.2. Rendimiento del zumo liofilizado de gulupa

Se recepcionó 13.5 kg de gulupa, obteniendo 3kg de zumo, donde finalmente el rendimiento fue 22.22%, tal como se observa en el siguiente gráfico:

Gráfico 3

Diagrama de balance de materia para el rendimiento del liofilizado de zumo de gulupa



Nota. El diagrama representa el proceso de liofilización aplicado a la pasta de mashua amarilla, el cual inicia con la recepción de la materia prima, hasta la obtención del zumo liofilizado de gulupa.

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Liofilizado de gulupa (gr)}}{\text{Mezcla (gr)}} * 100\%$$

$$\text{Rendimiento} = \frac{338 \text{ (gr)}}{3480 \text{ (gr)}} * 100\%$$

$$\text{Rendimiento} = 9.71\%$$

El Gráfico 3 muestra un 9.71% respecto al rendimiento del zumo liofilizado de gulupa obtenido en la presente investigación, a partir de 3480 g de mezcla inicial y 338 g de producto liofilizado. Este resultado refleja la elevada pérdida de humedad asociada al proceso de liofilización, característica propia de las matrices líquidas de frutas. Al respecto, Torres Loja et al. (2023) reportaron que la pulpa fresca de maracuyá presentó una humedad inicial de 87.58%, la cual se redujo hasta valores entre 6.30% y 12.58% después de la liofilización, evidenciando la alta remoción de agua que ocurre durante este proceso.

Asimismo, el menor rendimiento obtenido en la gulupa puede atribuirse a su elevado contenido de humedad y a la menor proporción de sólidos presentes en el zumo, lo que genera una reducción considerable de masa durante la sublimación. Estos resultados concuerdan con el comportamiento observado por Torres Loja et al. (2023) en pulpa de maracuyá liofilizada, donde la disminución significativa de la humedad confirmó la eficiencia del proceso de secado por congelación.

4.3. CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DE LOS INGREDIENTES UTILIZADOS EN LA FORMULACIÓN

4.3.1. Contenido de humedad de los productos liofilizados

Los resultados del contenido de humedad de los productos liofilizados utilizados en la formulación de la bebida funcional en polvo para evaluar su estabilidad y calidad tecnológica, se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 20

Contenido de humedad de las materias primas liofilizadas

Liofilizado	Humedad (%)
Pasta de mashua amarilla	1.53 ± 0.37
Zumo de gulupa	3.08 ± 0.23

Nota. Los resultados se expresan como media $\pm$ desviación estándar del contenido de humedad determinado para las materias primas liofilizadas utilizados en la formulación de la bebida funcional en polvo.

El contenido de humedad de las materias primas liofilizadas que se muestran en la Tabla 20, fue de $1.53 \pm 0.37\%$ para la pasta de mashua amarilla y $3.08 \pm 0.23\%$ para el zumo de gulupa, evidenciando una eficiente eliminación de agua durante la liofilización. Al comparar estos resultados con los reportados por Torres Loja et al. (2024), quienes obtuvieron valores de humedad entre 6.30% y 12.58% en pulpa de maracuyá liofilizada, se observa que la humedad final del zumo de gulupa fue inferior. De igual manera, Buzera et al. (2022) reportaron una humedad de 10.44% en harina de papa liofilizada, valor superior al registrado para la pasta de mashua amarilla. Estas diferencias podrían atribuirse a la composición de las materias primas y a las condiciones empleadas durante el proceso de liofilización, las cuales influyen directamente en la humedad residual del producto final., lo que confirma la eficiencia del proceso aplicado.

4.3.2. Contenido de cenizas de los productos liofilizados

Los resultados del contenido de cenizas de los productos liofilizados utilizados en la formulación de la bebida funcional en polvo, se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 21

Contenido de cenizas de las materias primas liofilizadas

Liofilizado	Cenizas (%)
Pasta de mashua amarilla	3.86 ± 0.03
Zumo de gulupa	3.18 ± 0.02

Nota. Los resultados se expresan como media $\pm$ desviación estándar del contenido de cenizas determinado para las materias primas liofilizadas utilizados en la formulación de la bebida funcional en polvo.

El contenido de cenizas de las materias primas liofilizadas obtenidas y presentados en la Tabla 21, fue de $3.86 \pm 0.03\%$ para la pasta de mashua amarilla y $3.18 \pm 0.02\%$ para el zumo de gulupa. El valor obtenido para la mashua fue cercano al rango de 4.0–6.5% reportado para este tubérculo en base seca en estudios recientes, lo que evidencia una adecuada conservación de los minerales durante la liofilización. Los resultados obtenidos, se sitúa dentro de los valores reportados por Coloma et al. (2022), quienes describen valores entre 3.40 y 4.10 % en genotipos andinos de mashua. Asimismo, Medina et al. (2023) reportan valores similares (3.70–4.20 %) en mashua sometida a procesos de deshidratación, lo que confirma que el proceso de liofilización no genera pérdidas minerales significativas, sino que puede concentrarlas debido a la eliminación del agua.

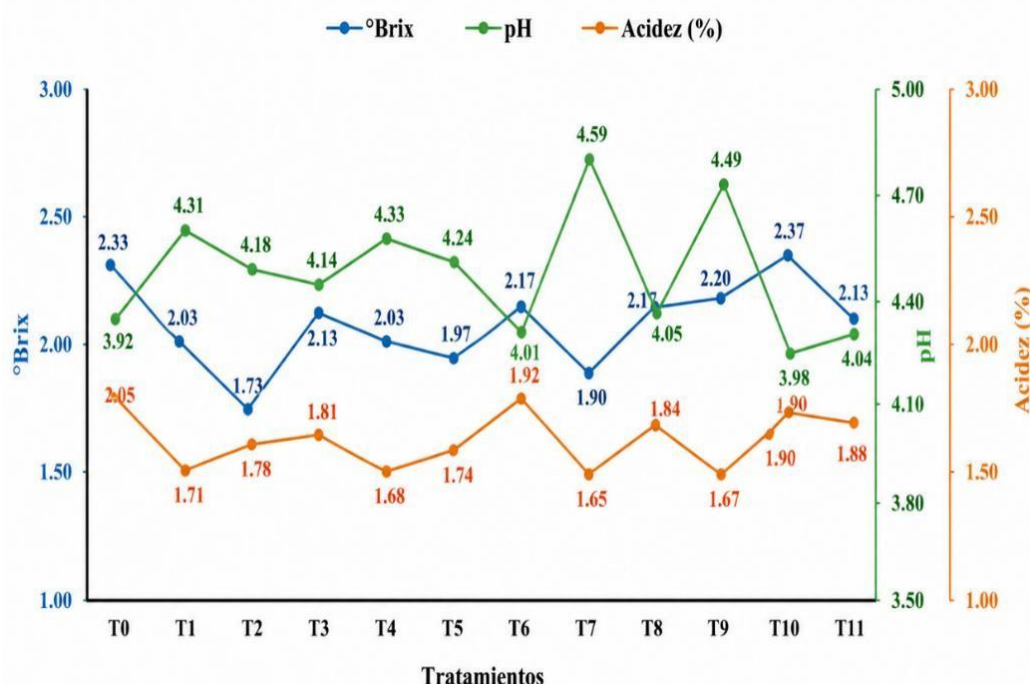
Por su parte, el contenido de cenizas del zumo de gulupa fue similar al informado por Torres Loja et al. (2024) en pulpa de maracuyá liofilizada, cuyos valores oscilaron entre 2.66% y 3.40%. La mayor concentración de cenizas observada en la mashua respecto a la gulupa podría atribuirse al mayor aporte mineral característico de los tubérculos andinos, mientras que las frutas suelen presentar menores concentraciones de estos compuestos. En conjunto, los resultados sugieren que la liofilización permitió preservar adecuadamente la fracción mineral de ambas materias primas, contribuyendo a mantener su valor nutricional.

4.3.3. Características fisicoquímicas de las bebidas funcionales liofilizadas rehidratadas

Las diferentes formulaciones de bebida funcional en polvo liofilizado a base de mashua y gulupa, permitieron evaluar su influencia en las propiedades fisicoquímicas y sensoriales del producto reconstituido, los cuales son presentadas en el siguiente gráfico:

Gráfico 4

Características fisicoquímicas de las formulaciones (T0 – T11)



Nota. Los valores representan el promedio $\pm$ desviación estándar de las determinaciones realizadas para cada formulación.

El Gráfico 4 muestra los tratamientos que presentaron valores entre 1.73 ± 0.02 y 2.37 ± 0.12 °Brix, siendo T2 el menor y T10 el mayor. Estos resultados presentan valores inferiores a los informados para pulpa fresca de gulupa. Espinosa y Rodríguez (2020) encontraron valores de 14.4 a 16.6 °Brix en la fracción comestible de gulupa cultivada en Colombia. Asimismo, Jiménez et al. (2020), señalaron que durante la maduración de la gulupa los sólidos solubles aumentan progresivamente, alcanzando valores cercanos a 12.6 °Brix en frutos maduros. La diferencia se debe principalmente a que la presente investigación evaluó una bebida liofilizada rehidratada, mientras que los autores analizaron pulpa fresca de la fruta. Durante la rehidratación se adiciona agua, produciendo una dilución de los azúcares y otros sólidos solubles.

Respecto al pH de las bebidas osciló entre 3.92 ± 0.01 y 4.59 ± 0.03 , observándose los mayores valores en los tratamientos T7 y T9. Estos resultados son superiores a los reportados para gulupa fresca. Espinosa y Rodríguez (2020) registraron valores entre 2.67 y 2.96, mientras que Jiménez et al. (2020), encontraron valores cercanos a 2.88–2.93 en frutos de diferentes estados de maduración. La diferencia puede atribuirse a la incorporación de mashua en la formulación y al proceso de rehidratación. La gulupa es una fruta naturalmente rica en ácidos orgánicos, al mezclarse con mashua y posteriormente rehidratarse, la concentración de dichos ácidos disminuye, generando bebidas menos ácidas y, por tanto, con valores de pH más elevados.

Y, por último, respecto a la acidez presentó valores entre $1.65 \pm 0.12\%$ y $2.05 \pm 0.15\%$, siendo T7 el tratamiento menos ácido y T0 el más ácido. Estos resultados son inferiores a los reportados para pulpa de gulupa. Espinosa y Rodríguez (2020) informaron valores de 3.13 a 5.59 % de ácido cítrico, mientras que Jiménez et al. (2020) registraron valores de aproximadamente 3.33 a 4.51% dependiendo del grado de madurez del fruto. La menor acidez encontrada en la presente investigación puede explicarse por dos factores: la adición de mashua redujo proporcionalmente el contenido de ácidos orgánicos aportados por la gulupa y, la reconstitución de los liofilizados mediante agua provocó una disminución de la concentración de los ácidos presentes en la formulación final.

Por tanto, las diferencias observadas respecto a los estudios realizados en gulupa fresca se atribuyen principalmente a la naturaleza del producto desarrollado, una bebida funcional liofilizada rehidratada elaborada con una mezcla de mashua y gulupa. La incorporación de mashua y la dilución generada durante la rehidratación disminuyeron la concentración de sólidos solubles y ácidos orgánicos, originando menores valores de °Brix y acidez titulable, así como valores de pH superiores a los reportados para la fruta fresca.

4.4. EVALUACIÓN SENSORIAL DE LA BEBIDA FUNCIONAL LIOFILIZADA REHIDRATADA

4.4.1. Resultados del análisis de varianza (ANOVA)

Los resultados de evaluar la existencia de diferencias significativas entre los tratamientos formulados a base de mashua y gulupa, a través del análisis de varianza (ANOVA) para el atributo sensoriales de olor, utilizando un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$. es el siguiente:

Tabla 22

Análisis de Varianza (ANOVA) para evaluar el Olor de la bebida funcional liofilizada rehidratada

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	16.1931	11	1.4721	2.3890	0.0067	1.8049
Dentro de los grupos	361.7	587	0.6161			
Total	377.8931	598				

Nota. ANOVA de un factor aplicado al atributo olor de las formulaciones de bebida funcional liofilizada a base de mashua amarilla (*Tropaeolum tuberosum*) y gulupa (*Passiflora edulis f. edulis*). Se consideró un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$. Valores de $p < 0.05$ indican diferencias significativas entre tratamientos.

El Análisis de Varianza (ANOVA) para el atributo olor mostrado en la Tabla 22, presenta diferencias significativas entre los tratamientos evaluados ($F = 2.389$; $p = 0.0067$), debido a que el valor de probabilidad se ubicó por debajo del nivel de significancia establecido ($\alpha = 0.05$). Asimismo, el valor de F calculado fue superior al valor crítico de F ($2.389 > 1.805$), lo que indica que al menos uno de los tratamientos presentó una percepción de olor diferente respecto a los demás.

Los resultados de evaluar la existencia de diferencias significativas entre los tratamientos formulados a base de mashua y gulupa, a través del análisis de varianza (ANOVA) para el atributo sensoriales de color, utilizando un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$. es el siguiente:

Tabla 23

Análisis de Varianza (ANOVA) para evaluar el Color de la bebida funcional liofilizada rehidratada

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	14.8983	11	1.3543	2.2303	0.0118	1.8049
Dentro de los grupos	357.06	588	0.60728			
Total	371.9583	599				

Nota. Resultados del análisis de varianza (ANOVA) correspondiente al atributo color de las bebidas funcionales liofilizadas formuladas con diferentes proporciones de mashua amarilla y gulupa. Se trabajó con un nivel de confianza del 95 % ($\alpha = 0.05$).

Los resultados del ANOVA presentados en la Tabla 23, indicaron un efecto significativo de los tratamientos sobre la percepción del color ($p = 0.0118$). Asimismo, el estadístico F calculado (2.230) superó al valor crítico de F (1.805), evidenciando que las formulaciones no fueron evaluadas de manera homogénea por los jueces en este atributo. En consecuencia, se aplicó la prueba de Tukey para identificar los tratamientos que presentaron diferencias significativas.

Los resultados de evaluar la existencia de diferencias significativas entre los tratamientos formulados a base de mashua y gulupa, a través del análisis de varianza (ANOVA) para el atributo sensoriales de sabor, utilizando un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$. es el siguiente:

Tabla 24

Análisis de Varianza (ANOVA) para evaluar el Sabor de la bebida funcional liofilizada rehidratada

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	95.125	11	8.6477	11.2561	4.18E-19	1.8049
Dentro de los grupos	451.74	588	0.7682			
Total	546.865	599				

Nota. Análisis de varianza (ANOVA) realizado para el atributo sabor de las bebidas funcionales liofilizadas elaboradas con diferentes proporciones de mashua amarilla y gulupa. Se consideró un nivel de significancia de 0.05.

El ANOVA aplicado al atributo sabor presentado en la Tabla 24, evidenció diferencias altamente significativas entre los tratamientos evaluados ($p < 0.05$). El valor de F calculado (11.256) fue considerablemente por encima del valor crítico de F (1.805), indicando que las variaciones en las proporciones de mashua amarilla y gulupa influyeron de manera importante en la percepción del sabor por parte de los jueces. Se empleó la prueba de comparación múltiple de Tukey para establecer los tratamientos que explican dichas diferencias.

Los resultados de evaluar la existencia de diferencias significativas entre los tratamientos formulados a base de mashua y gulupa, a través del análisis de varianza (ANOVA) para el atributo sensoriales del Aspecto general, utilizando un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$. es el siguiente:

Tabla 25

Análisis de Varianza (ANOVA) para evaluar el Aspecto General de la bebida funcional liofilizada rehidratada

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	34.86	11	3.1690	6.2188	9.87E-10	1.8049
Dentro de los grupos	299.64	588	0.5095			
Total	334.5	599				

Nota. Resultados del análisis de varianza (ANOVA) para el atributo aspecto general de las bebidas funcionales liofilizadas formuladas con diferentes niveles de mashua amarilla y gulupa. El análisis se efectuó considerando un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$.

Respecto a los valores presentados en la Tabla 25 relacionado con el aspecto general, el análisis estadístico reveló diferencias significativas entre los tratamientos evaluados ($p = 9.87 \times 10^{-10}$). Asimismo, el valor de F calculado (6.219) fue superior al valor crítico de F (1.805), lo que demuestra que la aceptación global de las formulaciones varió significativamente entre los jueces. Estos resultados sugieren que las diferentes proporciones de mashua amarilla y gulupa influyeron en la percepción integral del producto, Por ello, se aplicó la prueba de Tukey, al igual que en los demás casos, para establecer las diferencias estadísticas entre tratamientos.

Los resultados evidenciaron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos evaluados en todos los atributos sensoriales ($p < 0.05$). A continuación, se presentan resumidos los valores de probabilidad obtenidos para cada atributo evaluado:

Tabla 26*Resultados del análisis de varianza (ANOVA) de los atributos sensoriales*

Atributo	P-VALUE	Interpretación
Olor	0.0067	Significativo
Color	0.0118	Significativo
Sabor	0.0000	Altamente Significativo
Aspecto General	0.0000	Altamente Significativo

Nota. Nivel de significancia $\alpha = 0.05$.

Las diferentes proporciones de mashua y gulupa influyeron en la percepción sensorial del producto. En los atributos olor ($p = 0.0067$) y color ($p = 0.0118$) se observan diferencias significativas entre tratamientos, mientras que para sabor y aspecto general se registraron valores de p inferiores a 0.001, evidenciando una influencia de la formulación sobre estos atributos.

4.4.2. Comparación de medias de los tratamientos evaluados

Los promedios de aceptación sensorial de los tratamientos evaluados, se presentan en la siguiente tabla:

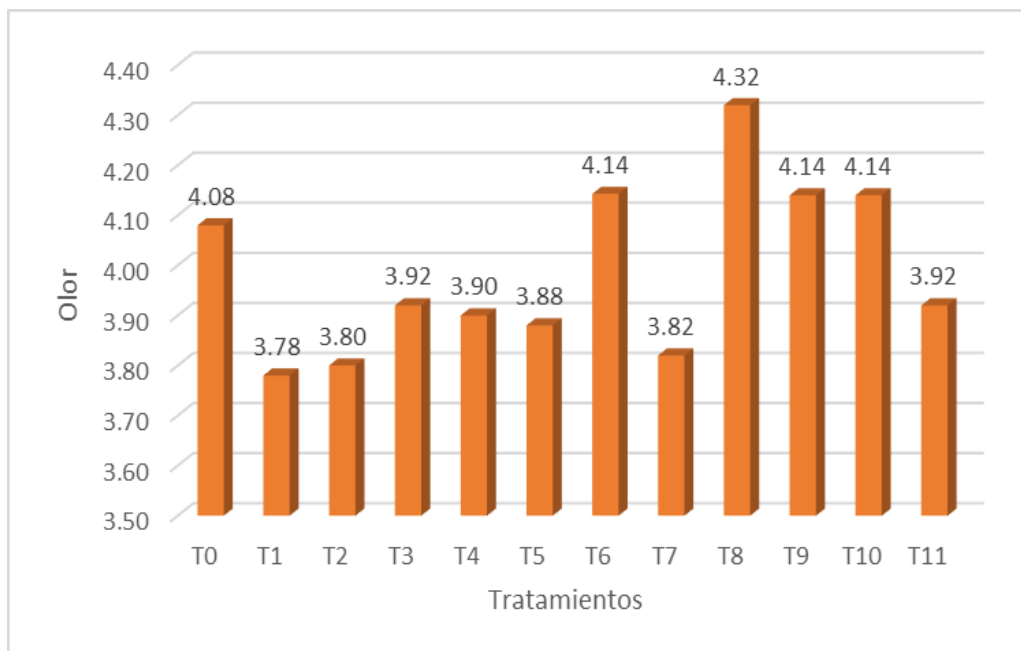
Tabla 27*Promedios de aceptación sensorial de los tratamientos evaluados*

Tratamientos	Olor	Color	Sabor	Aspecto general
T0	4.08	4.22	3.74	4.28
T1	3.78	4.04	3.14	3.66
T2	3.80	3.84	3.38	3.86
T3	3.92	4.12	3.40	4.00
T4	3.90	3.86	3.44	3.78
T5	3.88	4.06	3.40	3.88
T6	4.14	4.00	3.86	4.34
T7	3.82	3.74	3.66	3.94
T8	4.32	4.28	4.60	4.48
T9	4.14	4.14	4.10	4.24
T10	4.14	4.20	4.12	4.20
T11	3.92	4.00	3.98	3.94
Promedio más alto	4.32	4.28	4.60	4.48

El siguiente gráfico, muestra la aceptación sensorial del atributo olor para el tratamiento evaluado:

Gráfico 5

Aceptación sensorial del atributo Olor de los tratamientos evaluados



Nota. Resultados de la evaluación sensorial del atributo olor de las bebidas funcionales liofilizadas rehidratadas.

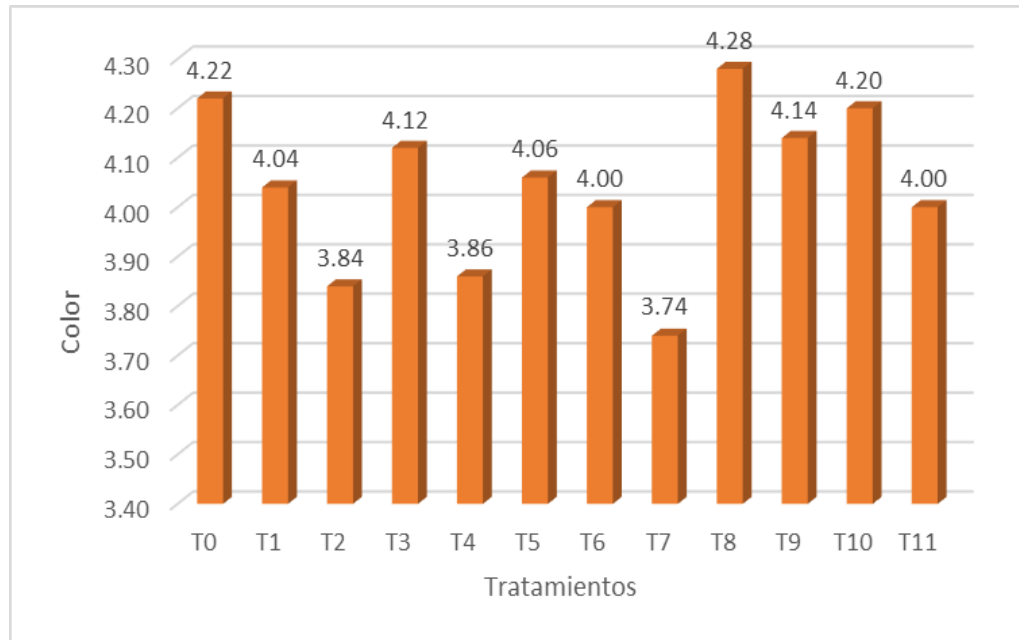
Los resultados presentes en el Gráfico 5, muestran variabilidad entre los tratamientos, evidenciando que las distintas proporciones de mashua y gulupa influyeron en la percepción sensorial del producto.

Asimismo, en el gráfico 8 se muestran los resultados de aceptación sensorial del atributo olor de las diferentes formulaciones evaluadas. Los promedios oscilaron entre 3.78 y 4.32 puntos en la escala hedónica empleada, evidenciando una aceptación favorable por parte de los panelistas. El tratamiento T8 presentó la mayor puntuación promedio (4.32), seguido de T6 (4.14), T9 (4.14) y T10 (4.14), mientras que T1 registró la menor aceptación (3.78).

El siguiente gráfico, muestra la aceptación sensorial del atributo Color para el tratamiento evaluado:

Gráfico 6

Aceptación sensorial del atributo Color de los tratamientos evaluados



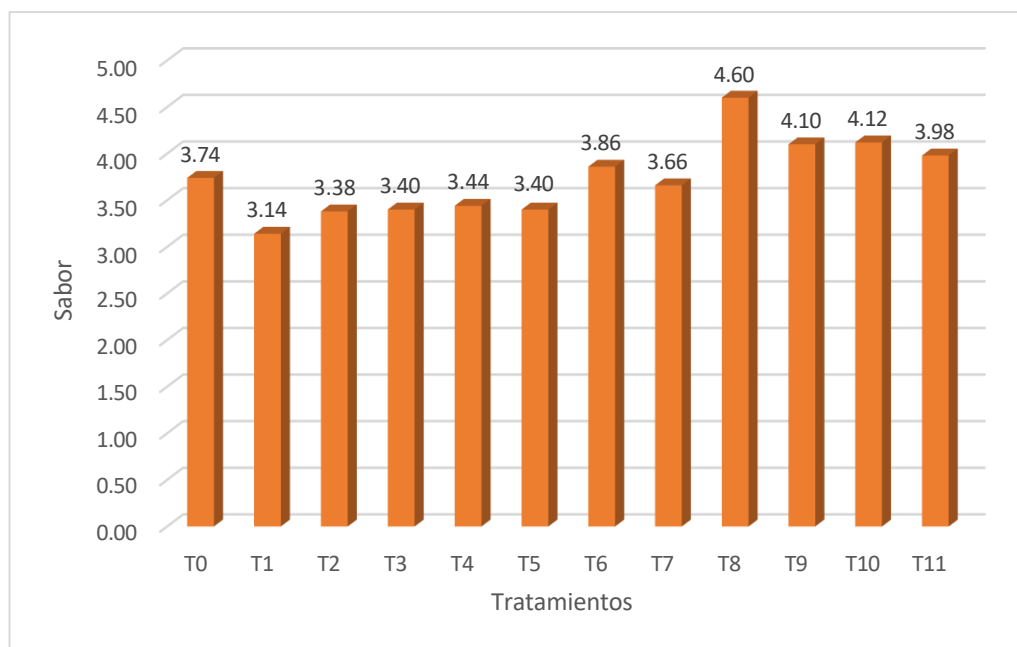
Nota. Resultados de la evaluación sensorial del atributo color de las bebidas funcionales liofilizadas rehidratadas.

El Gráfico 6 muestra los valores de aceptación para el atributo color, los cuales oscilaron entre 3.74 y 4.28 puntos. El tratamiento T8 presentó la mayor calificación (4.28), seguido por T0 (4.22) y T10 (4.20), lo que indica una mejor percepción visual por parte de los panelistas. En contraste, el tratamiento T7 obtuvo la menor puntuación (3.74), aunque se mantuvo dentro de la categoría de aceptación favorable. Estos resultados sugieren que las diferentes proporciones de mashua amarilla y gulupa influyeron en la intensidad y tonalidad del color de las bebidas rehidratadas, siendo más aceptadas aquellas formulaciones que presentaron una apariencia visual más atractiva y uniforme. En general, todos los tratamientos alcanzaron puntuaciones superiores a 3.7, evidenciando una adecuada aceptación del color.

El siguiente gráfico, muestra la aceptación sensorial del atributo sabor para el tratamiento evaluado:

Gráfico 7

Aceptación sensorial del atributo Sabor de los tratamientos evaluados



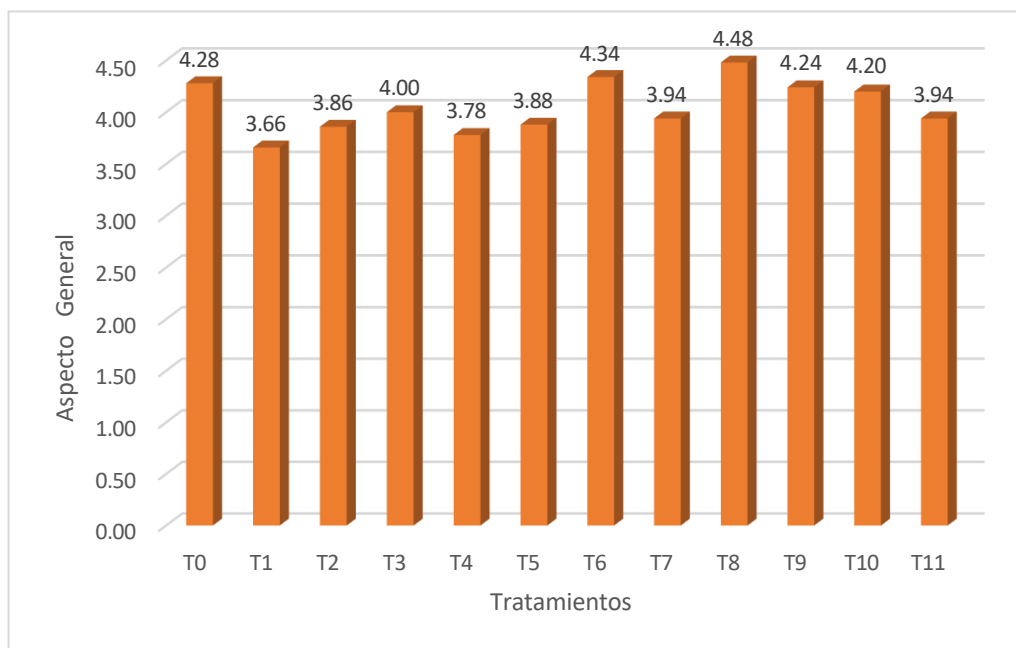
Nota. Resultados de la evaluación sensorial del atributo sabor de las bebidas funcionales liofilizadas rehidratadas.

El Gráfico 7 muestra el atributo sabor que presenta la mayor variabilidad entre los parámetros evaluados, con valores comprendidos entre 3.14 y 4.60 puntos. El tratamiento T8 registró la mayor aceptación (4.60), seguido por T10 (4.12) y T9 (4.10). Por el contrario, el tratamiento T1 obtuvo la menor puntuación (3.14). La superior aceptación de T8 podría atribuirse a un equilibrio adecuado entre el dulzor natural de la mashua y la acidez característica de la gulupa, generando una sensación gustativa más agradable para los evaluadores. Los resultados evidencian que el sabor fue el atributo con más determinantes en la preferencia de los panelistas, ya que los tratamientos con mayores puntuaciones en este parámetro también tendieron a presentar los mayores promedios generales de aceptación.

El siguiente gráfico, muestra la aceptación sensorial del atributo Aspecto General para el tratamiento evaluado:

Gráfico 8

Aceptación sensorial del atributo Aspecto General de los tratamientos evaluados



Nota. El promedio general se obtuvo a partir del promedio de los atributos sensoriales evaluados.

El Gráfico 8 presenta las puntuaciones del aspecto general, las cuales variaron entre 3.66 y 4.48 puntos. El tratamiento T8 alcanzó la mayor valoración (4.48), seguido por T6 (4.34) y T0 (4.28), mientras que el tratamiento T1 presentó la menor puntuación (3.66). La elevada aceptación de T8 indica que los panelistas percibieron favorablemente el conjunto de características sensoriales de esta formulación, incluyendo color, homogeneidad, apariencia y presentación global. Por otro lado, aunque T1 obtuvo la menor valoración, el puntaje se mantuvo por encima del valor medio de la escala hedónica utilizada, lo que refleja una aceptación moderada. En términos generales, los resultados muestran que todas las formulaciones fueron aceptadas por los consumidores, destacando T8 como el tratamiento con mejor percepción integral.

4.4.3. Comparación múltiple de medias mediante la prueba de Tukey

Los valores obtenidos de la prueba de Tukey respecto al atributo Olor para identificar diferencias significativas entre las medias de los tratamientos evaluados, se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 28

Comparación múltiple de medias para el atributo olor mediante la prueba de Tukey

Tratamiento	Media	Grupo Tukey
T8	4.32	a
T6	4.14	ab
T9	4.14	ab
T10	4.14	ab
T0	4.08	ab
T3	3.92	ab
T11	3.92	ab
T4	3.90	ab
T5	3.88	ab
T7	3.82	ab
T2	3.80	b
T1	3.78	b

Nota. Medias seguidas por letras diferentes indican diferencias significativas según la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$). Aquellos tratamientos que comparten una misma letra no difieren significativamente entre sí.

La prueba de Tukey para el atributo olor mostró en la Tabla 28 que el tratamiento T8 obtuvo la mayor puntuación promedio (4.32), diferenciándose significativamente de los tratamientos T1 (3.78) y T2 (3.80). Sin embargo, no se encontraron diferencias estadísticas entre el resto de las formulaciones, debido a que compartieron grupos homogéneos. Estos resultados indican que,

aunque el ANOVA detectó diferencias globales entre tratamientos, las variaciones en la percepción del olor fueron limitadas y se concentraron principalmente entre las formulaciones con mayor y menor aceptación.

Los valores obtenidos de la prueba de Tukey respecto al atributo Color para identificar diferencias significativas entre las medias de los tratamientos evaluados, se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 29

Comparación múltiple de medias para el atributo color mediante la prueba de Tukey

Tratamiento	Media	Grupo Tukey
T8	4.28	a
T0	4.22	ab
T10	4.20	ab
T9	4.14	ab
T3	4.12	ab
T5	4.06	ab
T1	4.04	ab
T6	4.00	ab
T11	4.00	ab
T4	3.86	ab
T2	3.84	b
T7	3.74	b

Nota. Medias seguidas por letras diferentes indican diferencias significativas según la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$). Aquellos tratamientos que comparten una misma letra no difieren significativamente entre sí.

La prueba de Tukey aplicada al atributo color mostró en la Tabla 29 que el tratamiento T8 presentó la mayor puntuación promedio (4.28), mientras que T7 obtuvo la menor valoración (3.74). Las diferencias significativas se observaron principalmente entre los tratamientos con valores extremos, lo que sugiere que las variaciones en la formulación tuvieron una influencia moderada sobre este atributo sensorial.

Los valores obtenidos de la prueba de Tukey respecto al atributo Sabor para identificar diferencias significativas entre las medias de los tratamientos evaluados, se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 30

Comparación múltiple de medias para el atributo sabor mediante la prueba de Tukey

Tratamiento	Media	Grupo Tukey
T8	4.60	a
T10	4.12	b
T9	4.10	b
T11	3.98	bc
T6	3.86	bc
T0	3.74	cd
T7	3.66	cd
T4	3.44	de
T3	3.40	de
T5	3.40	de
T2	3.38	de
T1	3.14	e

Nota. Medias seguidas por letras diferentes indican diferencias significativas según la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$). Aquellos tratamientos que comparten una misma letra no difieren significativamente entre sí.

La prueba de Tukey observada en la Tabla 30, evidenció diferencias significativas entre las formulaciones evaluadas para el atributo sabor. El tratamiento T8 alcanzó la mayor puntuación promedio (4.60), ubicándose en un grupo estadístico superior respecto a los tratamientos con menor aceptación. Por el contrario, T1 presentó la media más baja (3.14), formando parte del grupo de menor preferencia. Los tratamientos T9 y T10 también obtuvieron valoraciones favorables, mientras que las formulaciones restantes se distribuyeron en grupos intermedios. Estos resultados confirman que las proporciones de mashua amarilla y gulupa ejercieron una influencia importante sobre la aceptación del sabor, siendo este el atributo que mostró la mayor diferenciación entre tratamientos.

Tabla 31

Comparación múltiple de medias para el atributo aspecto general mediante la prueba de Tukey

Tratamiento	Media	Grupo Tukey
T8	4.48	a
T6	4.34	ab
T0	4.28	ab
T9	4.24	ab
T10	4.20	ab
T3	4.00	bc
T7	3.94	bc
T11	3.94	bc
T5	3.88	bc
T2	3.86	bc
T4	3.78	c
T1	3.66	c

Nota. Medias seguidas por letras diferentes indican diferencias significativas según la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$). Aquellos tratamientos que comparten una misma letra no difieren significativamente entre sí.

La prueba de Tukey presentada en la Tabla 31 para el atributo aspecto general mostró diferencias significativas entre las formulaciones evaluadas. El tratamiento T8 presentó la mayor puntuación promedio (4.48), ubicándose en el grupo de mayor aceptación por parte de los jueces. Asimismo, los tratamientos T6, T0, T9 y T10 mostraron valoraciones favorables al compartir grupos estadísticos con el tratamiento de mejor desempeño. Por otro lado, T1 registró la menor puntuación promedio (3.66), formando parte del grupo de menor aceptación. Estos resultados indican que las proporciones de mashua amarilla y gulupa influyeron en la percepción global del producto, siendo el tratamiento T8 el que alcanzó la mejor aceptación integral.

4.5. OPTIMIZACIÓN DE LA FORMULACIÓN DE LA BEBIDA FUNCIONAL LIOFILIZADA

4.5.1. Análisis del atributo olor

Tabla 32.

Análisis sensorial del atributo olor

Tratamiento	A: Pasta	B: Zumo	Olor
	liofilizada de Mashua (%)	liofilizado de Gulupa (%)	
T0	0	100	4.08 ± 0.40
T1	45	55	3.78 ± 0.36
T2	35	65	3.80 ± 0.33
T3	30	70	3.92 ± 0.31
T4	50	50	3.90 ± 0.28
T5	40	60	3.88 ± 0.26
T6	10	90	4.14 ± 0.29
T7	50	50	3.82 ± 0.25
T8	20	80	4.32 ± 0.22
T9	50	50	4.14 ± 0.32
T10	10	90	4.14 ± 0.34
T11	15	85	3.92 ± 0.38

Nota. Los valores representan la media ± DS (n=50)

Los resultados del atributo olor, presentados en la Tabla 32, evidenciaron una aceptabilidad sensorial favorable, con puntuaciones entre 3.78 y 4.32 en la escala hedónica. El tratamiento T8 obtuvo la mayor valoración (4.32 ± 0.22), seguido del T6 (4.14 ± 0.29), T9 (4.14 ± 0.32) y T10 (4.14 ± 0.34), evidenciando una mayor preferencia de los evaluadores hacia el olor de estos tratamientos.

En cambio, las menores puntuaciones correspondieron al T1 (3.78 ± 0.36), T2 (3.80 ± 0.33) y T7 (3.82 ± 0.25), aunque se mantuvieron dentro de un nivel favorable de aceptación. Estas diferencias podrían relacionarse con la percepción de los compuestos volátiles característicos de las materias primas, cuya interacción puede modificar el perfil aromático y el agrado de la bebida.

Tabla 33.*ANOVA del Modelo cuadrático de mezclas para el atributo olor*

Fuente de variación	Suma de cuadrados	gl	Cuadrado medio	Valor F	p-valor (Prob > F)	Significancia
Modelo	0.096	2	0.048	1.91	0.2035	No significativo
Mezcla lineal	0.094	1	0.094	3.74	0.0851	
Residual	0.23	9	0.025			
Falta de ajuste	0.17	6	0.029	1.55	0.3868	No significativo
Error puro	0.055	3	0.018			
Total corregido	0.32	11				

Nota. ANOVA: análisis de varianza; gl: grados de libertad. Se consideró un nivel de significancia de $p < 0.05$.

El análisis de varianza (ANOVA) del atributo olor mostrado en la Tabla 33, evidenció que el modelo cuadrático de mezclas no fue estadísticamente significativo ($p = 0.2035$; $F = 1.91$), indicando que la variabilidad en la aceptabilidad del olor no es explicada significativamente por el modelo. Asimismo, la mezcla lineal ($p = 0.0851$) no fue significativo, lo que sugiere que las proporciones de ambos componentes no influyen de forma determinante sobre la percepción del olor dentro del rango evaluado.

La falta de ajuste tampoco fue significativa ($p = 0.3868$), indicando una adecuada correspondencia entre el modelo y los datos experimentales. En conjunto, estos resultados sugieren que el olor presenta una respuesta relativamente estable frente a las variaciones en la formulación.

Tabla 34.*Parámetros del modelo matemático para el atributo olor*

Componente	Estimación del coeficiente	gl	Error estándar	IC 95% (Límite inferior)	IC 95% (Límite superior)	VIF
A: Pasta						
lioofilizada de Mashua	3.89	1	0.082	3.71	4.08	1.52
B: Zumo						
lioofilizado de Gulupa	4.17	1	0.13	3.87	4.46	2.36

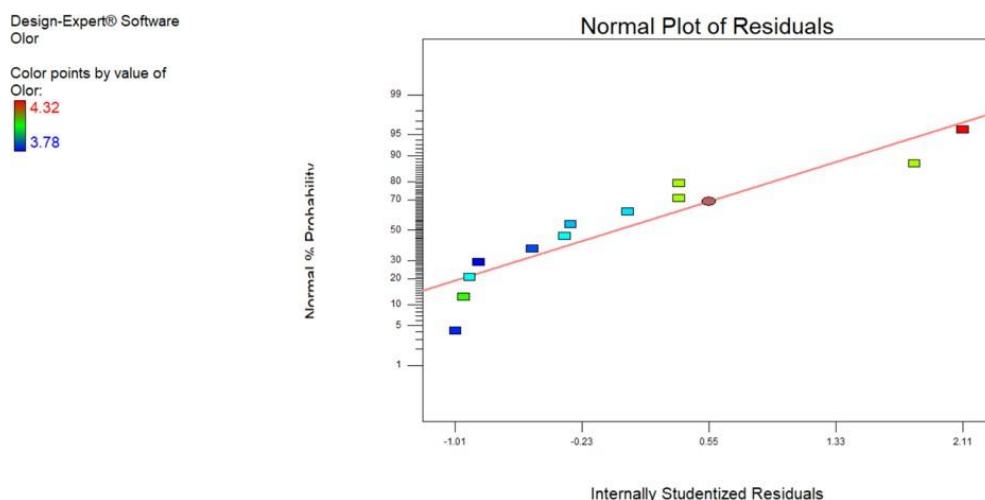
Nota. gl: grados de libertad; IC: intervalo de confianza al 95%; VIF: factor de inflación de la varianza.

Los coeficientes estimados del modelo matemático para el atributo olor, como se indican en la Tabla 34 fueron de 3.89 para la pasta liofilizada de mashua (A) y 4.17 para el zumo liofilizado de gulupa (B), observándose una mayor estimación para la gulupa. Esto indica una tendencia hacia mayores valores de aceptación del olor cuando existe una mayor participación de este componente en la mezcla.

Los intervalos de confianza al 95 % para los dos componentes no incluyen al cero (A: 3.71 – 4.08; B: 3,87 – 4,46), evidenciando incertidumbre respecto al efecto de la interacción. Asimismo, los valores de VIF (1.52 y 2,36) no evidencian problemas importantes de colinealidad entre los términos del modelo. No obstante, debido a que el modelo global no fue significativo, estos coeficientes deben interpretarse como tendencias estimadas y no como efectos estadísticamente demostrados.

Gráfico 9.

Diagrama de probabilidad normal de los residuos estandarizados del atributo olor

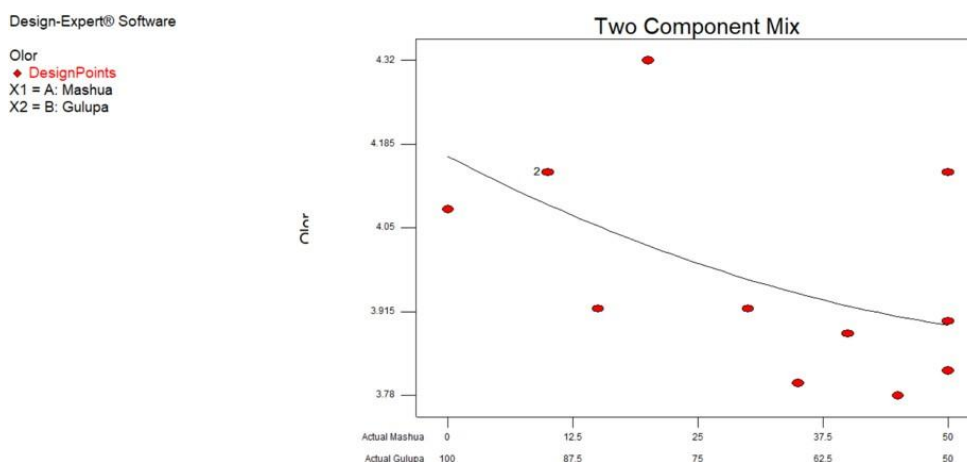


Nota. El atributo olor fue evaluado mediante una escala hedónica. Gráfico generado mediante Design-Expert®. Los residuos estandarizados permiten evaluar gráficamente el cumplimiento del supuesto de normalidad.

De acuerdo con el Gráfico 9, el diagrama de probabilidad normal muestra que los residuos estandarizados presentan una distribución aproximadamente alineada con la línea de referencia, aunque se observan algunas desviaciones en determinados puntos, principalmente hacia los extremos. No se evidencia una desviación sistemática marcada respecto a la línea de tendencia, por lo que el comportamiento de los residuos puede considerarse razonablemente compatible con el supuesto de normalidad.

Gráfico 10.

Diagrama de mezcla de dos componentes para el atributo olor



Nota. A: pasta liofilizada de mashua; B: zumo liofilizado de gulupa. El atributo olor fue evaluado mediante una escala hedónica. La línea representa la tendencia estimada de la respuesta en función de la proporción de los componentes de la mezcla. Gráfico generado mediante Design-Expert®.

Como se observa en el Gráfico 10, el diagrama de mezcla de dos componentes para el atributo olor muestra una tendencia general hacia mayores valores de aceptación conforme aumenta la proporción de gulupa, mientras que las formulaciones con mayor participación de mashua presentan valores relativamente menores. Esta tendencia se relaciona con los resultados de la evaluación sensorial, donde el tratamiento T8, formulado con 20 % de mashua y 80 % de gulupa, alcanzó la mayor puntuación de olor con 4.32 puntos, seguido del T6, T9 y T10, con 4.14 puntos. En contraste, el T1, con 45 % de mashua y 55 % de gulupa, presentó la menor valoración, con 3.78 puntos.

Por tanto, los valores experimentales muestran que la formulación correspondiente al T8 presentó una diferencia de 0.54 puntos respecto al T1, evidenciando una mayor aceptación sensorial del olor en la formulación seleccionada como óptima. Sin embargo, debido a que el modelo cuadrático no fue estadísticamente significativo ($p = 0.2035$), la tendencia observada en la gráfica debe considerarse descriptiva y no como evidencia de un efecto significativo de las proporciones de mashua y gulupa sobre el atributo olor.

4.5.2. Análisis del atributo color

Tabla 35.

Análisis sensorial del atributo color

Tratamiento	A: Pasta	B: Zumo	Color
	liofilizada de Mashua (%)	liofilizado de Gulupa (%)	
T0	0	100	4.22 ± 1.03
T1	45	55	4.04 ± 0.96
T2	35	65	3.84 ± 0.90
T3	30	70	4.12 ± 0.83
T4	50	50	3.86 ± 0.78
T5	40	60	4.06 ± 0.73
T6	10	90	4.00 ± 0.68
T7	50	50	3.74 ± 0.65
T8	20	80	4.28 ± 0.61
T9	50	50	4.14 ± 0.85
T10	10	90	4.20 ± 0.91
T11	15	85	4.00 ± 1.01

Nota. Los valores representan la media ± DS (n=50)

Los resultados del atributo color, presentados en la Tabla 35, mostraron puntuaciones comprendidas entre 3.74 y 4.28 en la escala hedónica. El tratamiento T8 presentó la mayor aceptación (4.28 ± 0.61), seguido del T0 (4.22 ± 1.03), T10 (4.20 ± 0.91) y T9 (4.14 ± 0.85), reflejando una valoración favorable de las características visuales de estas formulaciones.

Por otro lado, las menores puntuaciones se obtuvieron en el T7 (3.74 ± 0.65), T2 (3.84 ± 0.90) y T4 (3.86 ± 0.78). La variación en las puntuaciones podría estar asociada con los cambios en la tonalidad e intensidad del color generados por la combinación de los componentes de la bebida, influyendo en la percepción visual y, por tanto, en su aceptación.

Tabla 36.*ANOVA del Modelo cuadrático de mezclas para el atributo color*

Fuente de variación	Suma de cuadrados	gl	Cuadrado medio	Valor F	p-valor (Prob > F)	Significancia
Modelo	0.092	2	0.046	2	0.1917	No significativo
Mezcla lineal	0.091	1	0.091	3.95	0.0781	
Residual	0.21	9	0.023			
Falta de ajuste	0.1	6	0.017	0.49	0.7903	No significativo
Error puro	0.1	3	0.035			
Total corregido	0.3	11				

Nota. ANOVA: análisis de varianza; gl: grados de libertad. Se consideró un nivel de significancia de $p < 0.05$.

El análisis de varianza (ANOVA) del atributo color mostrado en la Tabla 36, evidenció que el modelo cuadrático no presentó significancia estadística ($p = 0.1917$; $F = 2.00$), por lo que la variabilidad observada en la aceptación del color no es explicada significativamente por el modelo. La mezcla lineal ($p = 0.0781$) no fue significativo, indicando que las proporciones de los componentes no ejercen una influencia determinante sobre la aceptación del color dentro del rango estudiado.

Asimismo, la falta de ajuste no fue significativa ($p = 0.7903$), evidenciando una adecuada correspondencia del modelo con los datos. Por tanto, el color mostró un comportamiento relativamente estable ante las variaciones en la formulación, pese a las diferencias numéricas observadas entre tratamientos.

Tabla 37.*Parámetros del modelo matemático para el atributo color*

Componente	Estimación del coeficiente	gl	Error estándar	IC 95% (Límite inferior)	IC 95% (Límite superior)	VIF
A: Pasta						
lío­filizada de Mashua	3.93	1	0.079	3.75	4.11	1.52
B: Zumo						
lío­filizado de Gulupa	4.17	1	0.13	3.89	4.46	2.36

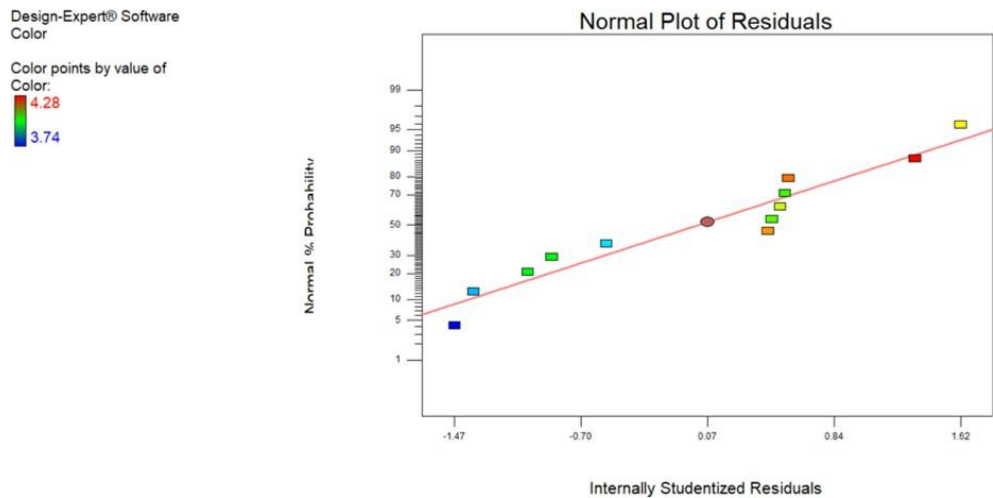
Nota. gl: grados de libertad; IC: intervalo de confianza al 95%; VIF: factor de inflación de la varianza.

Los coeficientes del modelo matemático para el atributo color, como se indican en la Tabla 37 fueron de 3.93 para la pasta liofiliza de mashua y 4.17 para el zumo liofilizado de gulupa, evidenciándose una mayor estimación para este último componente. Esto indica una tendencia hacia una mayor aceptación del color en formulaciones con mayor participación de gulupa.

Los intervalos de confianza al 95 % para los dos componentes no incluyen al cero (A: 3.75 – 4.11; B: 3.89 – 4.46), por ello, no se puede establecer un efecto concluyente de la interacción. Los VIF obtenidos (1.52 y 2.36) indican que no existe una colinealidad problemática entre los términos del modelo. Sin embargo, considerando que el modelo global no fue significativo, los coeficientes representan principalmente tendencias de la respuesta.

Gráfico 11.

Diagrama de probabilidad normal de los residuos estandarizados del atributo color

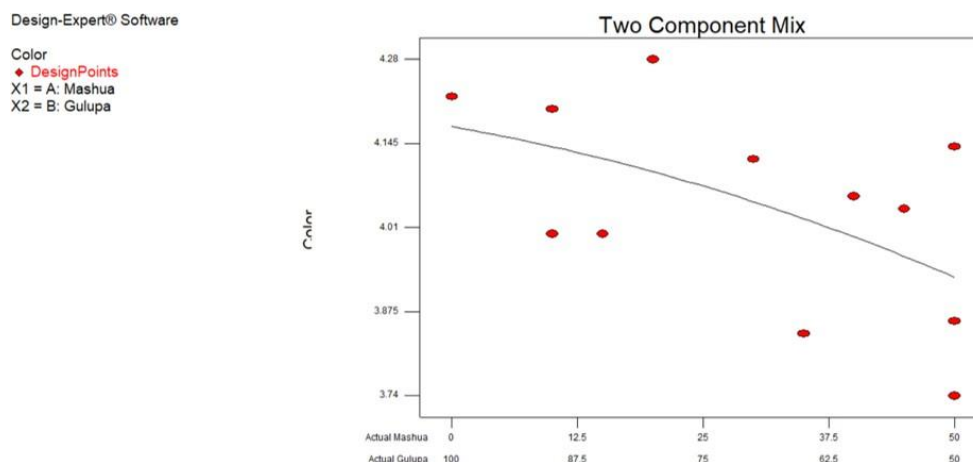


Nota. El atributo color fue evaluado mediante una escala hedónica. Gráfico generado mediante Design-Expert®. La representación permite evaluar visualmente la distribución de los residuos estandarizados.

El Gráfico 11 muestra que los residuos se distribuyen relativamente próximos a la línea de referencia, aunque se presentan algunas desviaciones en determinados puntos. La ausencia de un patrón sistemático claramente definido indica que los residuos presentan un comportamiento aproximadamente compatible con la distribución normal. Por tanto, gráficamente, no se evidencia una desviación severa del supuesto de normalidad del modelo.

Gráfico 12.

Diagrama de mezcla de dos componentes para el atributo color



Nota. A: pasta liofilizada de mashua; B: zumo liofilizado de gulupa. El atributo color fue evaluado mediante una escala hedónica. La línea representa la tendencia estimada de la respuesta en función de la proporción de los componentes de la mezcla. Gráfico generado mediante Design-Expert®.

Como se observa en el Gráfico 12, el diagrama de mezcla de dos componentes para el atributo color presenta una tendencia general hacia mayores valores de aceptación en las formulaciones con mayor participación de gulupa. Esta tendencia se encuentra respaldada por los valores de la evaluación sensorial, en la cual el T8 (20 % de mashua y 80 % de gulupa) obtuvo la mayor puntuación, con 4.28 puntos, seguido del T0 con 4.22 y el T10 con 4.20 puntos. Por otro lado, el T7 presentó la menor puntuación, con 3.74 puntos.

En este sentido, el tratamiento óptimo (T8) superó en 0.54 puntos al tratamiento T7, lo que evidencia una mayor valoración del color para dicha formulación. La distribución de los valores permite observar que la mayor aceptación experimental se concentró principalmente en formulaciones con elevada proporción de gulupa. No obstante, dado que el modelo cuadrático no presentó significancia estadística ($p = 0.1917$), la tendencia mostrada por la gráfica debe interpretarse de manera descriptiva, sin establecer que la proporción de gulupa haya producido un efecto significativo sobre la aceptación del color.

4.5.3. Análisis del atributo sabor

Tabla 38.

Análisis sensorial del atributo sabor

Tratamiento	A: Pasta	B: Zumo	Sabor
	liofilizada de Mashua (%)	liofilizado de Gulupa (%)	
T0	0	100	3.74 ± 0.42
T1	45	55	3.14 ± 0.38
T2	35	65	3.38 ± 0.35
T3	30	70	3.40 ± 0.33
T4	50	50	3.44 ± 0.30
T5	40	60	3.40 ± 0.28
T6	10	90	3.86 ± 0.31
T7	50	50	3.66 ± 0.27
T8	20	80	4.60 ± 0.25
T9	50	50	4.10 ± 0.34
T10	10	90	4.12 ± 0.37
T11	15	85	3.98 ± 0.40

Nota. Los valores representan la media ± DS (n=50)

Los resultados del atributo sabor, presentados en la Tabla 38, evidenciaron puntuaciones entre 3.14 y 4.60 en la escala hedónica. El tratamiento T8 alcanzó la mayor valoración (4.60 ± 0.25), seguido del T10 (4.12 ± 0.37), T9 (4.10 ± 0.34) y T11 (3.98 ± 0.40), mostrando una mayor preferencia de los evaluadores por el perfil gustativo de estos tratamientos.

Sin embargo, las menores puntuaciones se registraron en el T1 (3.14 ± 0.38), T2 (3.38 ± 0.35), T3 (3.40 ± 0.33) y T5 (3.40 ± 0.28). Estas diferencias podrían explicarse por la interacción entre los componentes de la formulación, que puede modificar el equilibrio entre sabores característicos, acidez y dulzor, determinando la percepción global del sabor.

Tabla 39.*ANOVA del Modelo cuadrático de mezclas para el atributo sabor*

Fuente de variación	Suma de cuadrados	gl	Cuadrado medio	Valor F	p-valor (Prob > F)	Significancia
Modelo	0.38	2	0.19	1.12	0.3673	No significativo
Mezcla lineal	0.38	1	0.38	2.24	0.1684	
Residual	1.52	9	0.17			
Falta de ajuste	1.26	6	0.21	2.43	0.2489	No significativo
Error puro	0.26	3	0.087			
Total corregido	1.9	11				

Nota. ANOVA: análisis de varianza; gl: grados de libertad. Se consideró un nivel de significancia de $p < 0.05$.

El análisis de varianza (ANOVA) del atributo sabor mostrado en la Tabla 39, evidenció que el modelo cuadrático no fue estadísticamente significativo ($p = 0.3673$; $F = 1.12$), indicando que la variabilidad en la aceptabilidad del sabor no es explicada significativamente por el modelo. La mezcla lineal ($p = 0.1684$) presentó un resultado no significativo, lo que sugiere que las proporciones de ambos componentes no influyen de forma determinante sobre la percepción del sabor dentro del rango evaluado.

La falta de ajuste no fue significativa ($p = 0.2489$), indicando una adecuada correspondencia entre el modelo y los datos experimentales. Aunque se observaron diferencias numéricas importantes, como la mayor valoración del T8, estas no pueden atribuirse estadísticamente a la formulación, evidenciando una baja sensibilidad del sabor frente a los cambios en la mezcla.

Tabla 40.*Parámetros del modelo matemático para el atributo sabor*

Componente	Estimación del coeficiente	gl	Error estándar	IC 95% (Límite inferior)	IC 95% (Límite superior)	VIF
A: Pasta						
lío filizada de Mashua	3.52	1	0.21	3.04	4.01	1.52
B: Zumo						
lío filizado de Gulupa	4.03	1	0.34	3.26	4.81	2.36

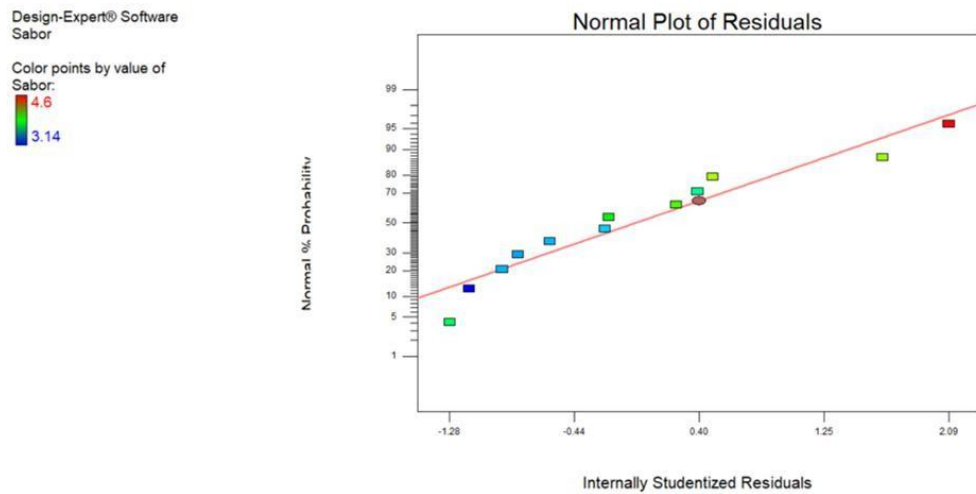
Nota. gl: grados de libertad; IC: intervalo de confianza al 95%; VIF: factor de inflación de la varianza.

Los coeficientes estimados para el atributo sabor, como se indican en la Tabla 40 fueron de 3.52 para la pasta liofilizada de mashua y 4.03 para el zumo liofilizado de gulupa, observándose nuevamente una mayor estimación para la gulupa. Esto indica una tendencia hacia una mayor respuesta sensorial asociada a este componente.

Los intervalos de confianza al 95 % para los dos componentes no incluyen al cero (A: 3.04 – 4.01; B: 3.26 – 4.81), evidenciando una elevada incertidumbre respecto a su efecto. Los valores de VIF fueron de 1.52 y 2.36, indicando ausencia de problemas importantes de colinealidad. A pesar de que el zumo liofilizado de gulupa presentó el mayor coeficiente estimado, el ANOVA mostró que el modelo global no fue significativo; por ello, estos valores deben interpretarse como tendencias y no como efectos estadísticamente comprobados.

Gráfico 13.

Diagrama de probabilidad normal de los residuos estandarizados del atributo sabor

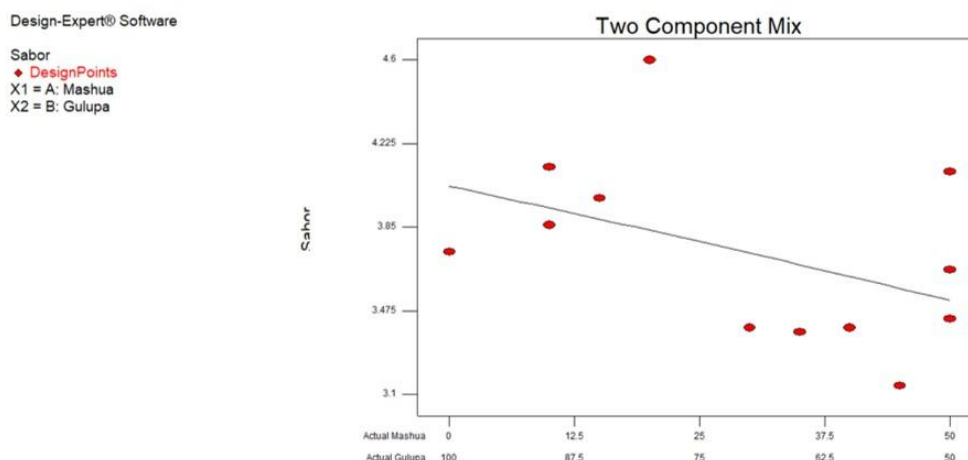


Nota. El atributo sabor fue evaluado mediante una escala hedónica. Gráfico generado mediante Design-Expert®. La representación permite verificar visualmente la distribución de los residuos estandarizados.

El Gráfico 13 muestra que la mayoría de los residuos estandarizados se encuentra cercana a la línea de referencia, aunque se observan algunas desviaciones en los extremos. Los puntos presentan una tendencia aproximadamente lineal y no se observa una estructura sistemática marcada. Por tanto, el comportamiento de los residuos puede considerarse razonablemente compatible con el supuesto de normalidad requerido para el análisis del modelo.

Gráfico 14.

Diagrama de mezcla de dos componentes para el atributo sabor



Nota. A: pasta liofilizada de mashua; B: zumo liofilizado de gulupa. El atributo sabor fue evaluado mediante una escala hedónica. La línea representa la tendencia estimada de la respuesta según la proporción de los componentes. Gráfico generado mediante Design-Expert®.

Como se observa en el Gráfico 14, el diagrama de mezcla de dos componentes para el atributo sabor muestra una tendencia hacia mayores valores de aceptación conforme aumenta la proporción de gulupa, mientras que la aceptación tiende a disminuir con una mayor participación de mashua. Esta tendencia coincide con los resultados de la evaluación sensorial, donde el T8 (20 % de mashua y 80 % de gulupa) obtuvo la mayor puntuación (4.60 puntos), mientras que el T1 (45 % de mashua y 55 % de gulupa) presentó la menor (3.14 puntos). Asimismo, el T10 y T9 alcanzaron valores de 4.12 y 4.10 puntos, respectivamente, superiores a varios tratamientos con mayor proporción de mashua.

Por lo tanto, el T8 presentó la respuesta experimental más favorable para el sabor, con una diferencia de 1.46 puntos respecto al T1, siendo la mayor diferencia numérica observada entre ambos tratamientos. Sin embargo, debido a que el modelo cuadrático no fue estadísticamente significativo ($p = 0.3673$), las tendencias observadas en la gráfica y las diferencias entre tratamientos deben interpretarse de manera descriptiva, sin atribuirles como un efecto estadísticamente significativo de la proporción de mashua y gulupa sobre la aceptación del sabor.

4.5.4. Análisis del atributo aspecto general

Tabla 41.

Análisis sensorial del atributo apariencia general

Tratamiento	A: Pasta liofilizada de Mashua (%)	B: Zumo liofilizado de Gulupa (%)	Apariencia general
T0	0	100	4.28 ± 0.25
T1	45	55	3.66 ± 0.22
T2	35	65	3.86 ± 0.18
T3	30	70	4.00 ± 0.15
T4	50	50	3.78 ± 0.13
T5	40	60	3.88 ± 0.14
T6	10	90	4.34 ± 0.18
T7	50	50	3.94 ± 0.21
T8	20	80	4.48 ± 0.10
T9	50	50	4.24 ± 0.17
T10	10	90	4.20 ± 0.21
T11	15	85	3.94 ± 0.24

Nota. Los valores representan la media ± DS (n=50)

Los resultados de la apariencia general, presentados en la Tabla 41, mostraron valores de aceptación comprendidos entre 3.66 y 4.48 en la escala hedónica. El tratamiento T8 obtuvo la mayor puntuación (4.48 ± 0.10), seguido de T6 (4.34 ± 0.18), T0 (4.28 ± 0.25) y T9 (4.24 ± 0.17), evidenciando una valoración favorable de la presentación global de estas formulaciones.

En cambio, las menores puntuaciones correspondieron al T1 (3.66 ± 0.22), T4 (3.78 ± 0.13) y T2 (3.86 ± 0.18). Las diferencias observadas podrían estar relacionadas con la percepción conjunta de características como color, homogeneidad y aspecto visual, las cuales influyen en la primera impresión y aceptación general de la bebida.

Tabla 42.*ANOVA del Modelo cuadrático de mezclas para el atributo apariencia general*

Fuente de variación	Suma de cuadrados	gl	Cuadrado medio	Valor F	p-valor (Prob > F)	Significancia
Modelo	0.27	2	0.14	2.85	0.1097	No significativo
Mezcla lineal	0.26	1	0.26	5.55	0.0429	
Residual	0.43	9	0.047			
Falta de ajuste	0.31	6	0.051	1.29	0.4497	No significativo
Error puro	0.12	3	0.04			
Total corregido	0.7	11				

Nota. ANOVA: análisis de varianza; gl: grados de libertad. Se consideró un nivel de significancia de $p < 0.05$.

El análisis de varianza (ANOVA) del atributo apariencia general mostrado en la Tabla 42, evidenció que el modelo cuadrático no fue estadísticamente significativo ($p = 0.1097$; $F = 2.85$), indicando que el modelo completo no explica significativamente la variabilidad de la respuesta. Sin embargo, la mezcla lineal presentó un efecto significativo ($p = 0.0429$), lo que sugiere que la proporción conjunta de mashua y gulupa influye sobre la aceptación de la apariencia general dentro del rango evaluado.

La falta de ajuste tampoco fue significativa ($p = 0.4497$), evidenciando una adecuada correspondencia entre el modelo y los datos experimentales. En consecuencia, la apariencia general muestra cierta sensibilidad a la composición de la mezcla en su componente lineal, aunque el modelo cuadrático global no permite establecer un efecto significativo de la formulación en su conjunto.

Tabla 43.*Parámetros del modelo matemático para el atributo apariencia general*

Componente	Estimación del coeficiente	gl	Error estándar	IC 95% (Límite inferior)	IC 95% (Límite superior)	VIF
A: Pasta						
lío­filizada de Mashua	3.9	1	0.11	3.64	4.15	1.52
B: Zumo						
lío­filizado de Gulupa	4.36	1	0.18	3.95	4.76	2.36

Nota. gl: grados de libertad; IC: intervalo de confianza al 95%; VIF: factor de inflación de la varianza.

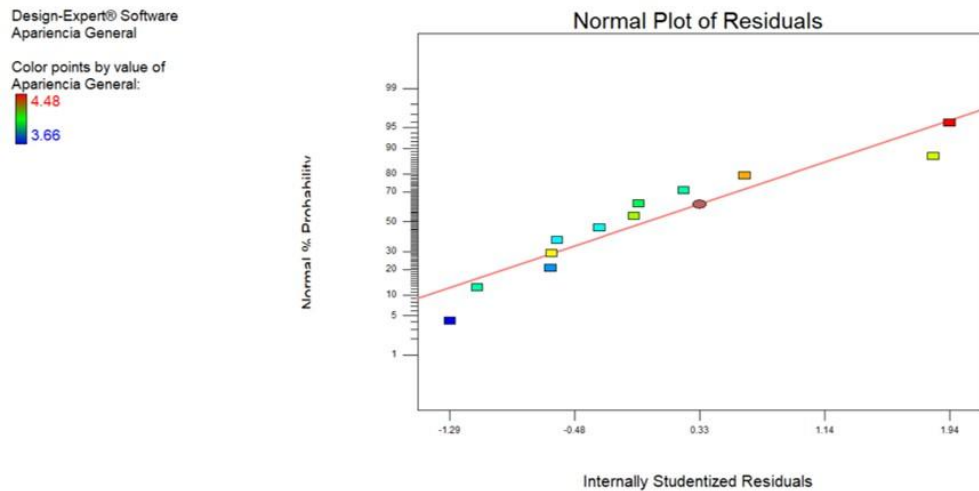
Los coeficientes estimados para el atributo apariencia general, como se indican en la Tabla 43 fueron de 3.90 para la pasta liofilizada de mashua y 4.36 para el zumo liofilizado de gulupa, observándose una mayor estimación para la gulupa. Este comportamiento indica una tendencia hacia mayores niveles de aceptación de la apariencia general cuando aumenta la participación de este componente.

Los intervalos de confianza al 95 % para los dos componentes no incluyen al cero (A: 3.64 – 4,15, B: 3.95 – 4.76), por lo que no se evidencia un efecto concluyente de la interacción. Los valores de VIF (1.52 y 2.36) indican ausencia de problemas importantes de colinealidad.

En conjunto, los coeficientes muestran una mayor estimación para el zumo liofilizado de gulupa, comportamiento que coincide con la tendencia observada experimentalmente. No obstante, dado que el modelo global no fue significativo, estos coeficientes deben considerarse como tendencias de respuesta, mientras que el efecto significativo identificado corresponde específicamente al término de mezcla lineal.

Gráfico 15.

Diagrama de probabilidad normal de los residuos estandarizados del atributo apariencia general

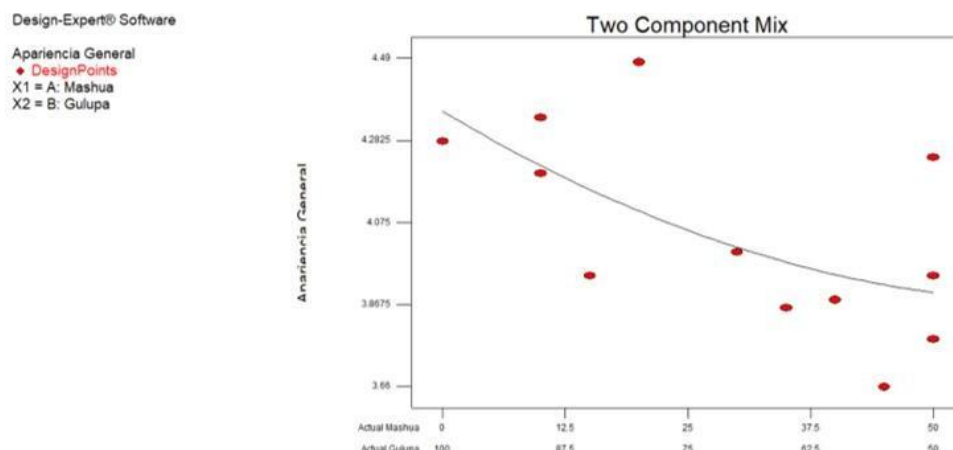


Nota. La apariencia general fue evaluada mediante una escala hedónica. Gráfico generado mediante Design-Expert®. La representación permite evaluar visualmente el comportamiento de los residuos estandarizados.

El Gráfico 15 muestra que los residuos estandarizados presentan una tendencia aproximadamente lineal respecto a la línea de referencia, aunque se observan algunas desviaciones en los extremos. La mayor parte de los puntos se concentra alrededor de la línea, sin evidenciar un patrón sistemático pronunciado. Por ello, gráficamente, los residuos presentan un comportamiento razonablemente compatible con el supuesto de normalidad.

Gráfico 16.

Diagrama de mezcla de dos componentes para el atributo apariencia general.



Nota. A: pasta liofilizada de mashua; B: zumo liofilizado de gulupa. La apariencia general fue evaluada mediante una escala hedónica. La línea representa la tendencia estimada de la respuesta en función de las proporciones de los componentes de la mezcla. Gráfico generado mediante Design-Expert®.

Como se observa en el Gráfico 16, el diagrama de mezcla de dos componentes para la apariencia general muestra una tendencia hacia mayores valores de aceptación en formulaciones con mayor participación de gulupa, mientras que la aceptación tiende a disminuir con una mayor proporción de mashua. Esta tendencia coincide con la evaluación sensorial, donde el T8 (20 % de mashua y 80 % de gulupa) obtuvo la mayor puntuación (4.48 puntos), seguido del T6 con 4.34 y el T0 con 4.28 puntos. En contraste, el T1 presentó la menor valoración (3.66 puntos), por lo que el T8 mostró una diferencia de 0.82 puntos respecto al tratamiento de menor aceptación.

Por lo tanto, el T8 presentó la respuesta experimental más favorable para la apariencia general, contribuyendo además al mayor promedio de aceptación conjunta de los cuatro atributos (4.42 puntos). Si bien la mezcla lineal presentó significancia estadística ($p = 0.0429$), el modelo cuadrático global no fue significativo ($p = 0.1097$); por ello, las tendencias observadas deben interpretarse principalmente de forma descriptiva y no como evidencia de que el T8 sea estadísticamente superior a los demás tratamientos.

4.5.5. Determinación de la formulación óptima de la bebida funcional liofilizada

Para la determinación de la formulación óptima de la bebida funcional liofilizada de mashua y gulupa, se empleó la técnica de optimización. En este caso, la selección de las variables de respuesta se realizó considerando principalmente la aceptabilidad sensorial, debido a su importancia para determinar el nivel de aceptación del producto por parte del consumidor.

Se consideraron como variables de respuesta los atributos sensoriales de olor, color, sabor y apariencia general, debido a que permiten evaluar de manera integral la percepción y aceptación del producto. La evaluación fue realizada mediante una prueba sensorial afectiva con panelistas no entrenados, utilizando una escala hedónica de cinco puntos.

Por tanto, las restricciones establecidas para la optimización fueron:

- **Maximización del olor:** 3.78 – 4.32
- **Maximización del color:** 3.74 – 4.28
- **Maximización del sabor:** 3.14 – 4.6
- **Maximización de la apariencia general:** 3.66 – 4.48

Las restricciones correspondientes a cada atributo fueron ingresadas al software Design-Expert® versión 7.0, asignando igual importancia a cada variable de respuesta. Como resultado del análisis y considerando los valores obtenidos experimentalmente, se determinó que el tratamiento T8, correspondiente a 20 % de pasta liofilizada de mashua y 80 % de zumo liofilizado de gulupa, presentó la mayor aceptabilidad sensorial global, por lo que fue seleccionado como la formulación óptima de la bebida funcional liofilizada.

Tabla 44.*Determinación de la formulación óptima de la bebida funcional liofilizada*

Tratamiento	Pasta liofilizada de mashua	Zumo liofilizado de gulupa	Olor	Color	Sabor	Apariencia general
T8	20%	80%	4.32	4.28	4.60	4.48

Nota. La formulación óptima fue seleccionada considerando el tratamiento que presentó la mayor aceptación sensorial conjunta.

La Tabla 44 muestra que, entre los tratamientos evaluados, el tratamiento T8 constituido por 20 % de mashua y 80 % de gulupa, presentó la mayor aceptación sensorial conjunta, con un promedio de 4.42 puntos. Esta formulación obtuvo puntuaciones de 4.32 para olor, 4.28 para color, 4.60 para sabor y 4.48 para apariencia general, destacándose principalmente en los atributos de sabor y apariencia general.

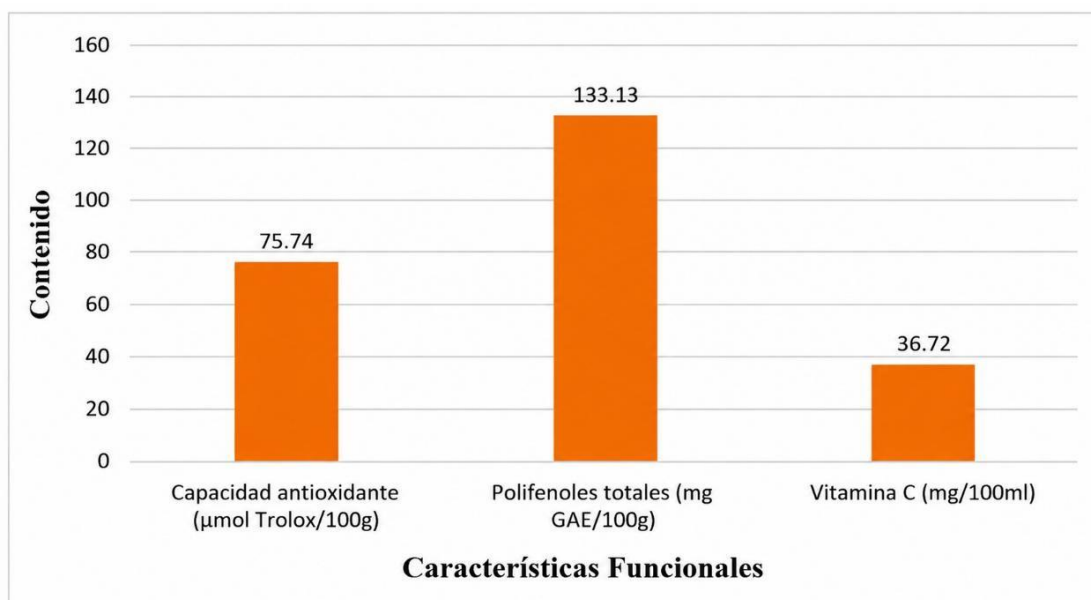
La predominancia del zumo liofilizado de gulupa en la formulación favoreció la aceptación sensorial general del producto, particularmente en el sabor y la apariencia, lo que indica que dicho tratamiento proporcionó características sensoriales más favorables para los panelistas.

4.6. CAPACIDAD ANTIOXIDANTE, POLIFENOLES TOTALES Y VITAMINA C DE LA BEBIDA FUNCIONAL LIOFILIZADA ÓPTIMA

En el siguiente gráfico, se evidencian los valores de las propiedades funcionales de la formulación óptima:

Gráfico 17.

Características funcionales de la bebida funcional liofilizada óptima



Nota. Valores expresados como media $\pm$ desviación estándar de la bebida funcional liofilizada óptima.

Los resultados presentados en el Gráfico 9 mostraron que la bebida funcional liofilizada óptima presentó una capacidad antioxidante de 75.74 ± 2.34 μmol Trolox/100 g, evidenciando la presencia de compuestos con actividad antioxidante. Asimismo, el contenido de polifenoles totales fue de 133.13 ± 0.03 mg GAE/100 g y el contenido de vitamina C fue de 36.72 ± 0.19 mg/100 g, lo que respalda el potencial funcional y nutricional del producto desarrollado.

En cuanto a los polifenoles totales, el valor obtenido se encuentra dentro del rango reportado por Vera et al. (2025), quienes en su revisión señalaron valores entre 116 y 1630 mg GAE/100 g para la mashua. Esta coincidencia permite evidenciar que la bebida elaborada a base de mashua y gulupa conserva una cantidad importante de compuestos fenólicos, a pesar de haber sido sometida al proceso de transformación y reconstitución. Las variaciones pueden relacionarse con factores como la variedad de mashua empleada, el grado de madurez de las materias primas, la proporción utilizada en la formulación y las condiciones del procesamiento.

V. CONCLUSIONES

1. Se logró que, de la formulación de bebida funcional liofilizada a base de mashua amarilla y gulupa se obtenga un producto con adecuada aceptación sensorial y características funcionales, la cual corresponde al tratamiento T8, compuesta por 20% de mashua y 80% de gulupa, presentando la mayor aceptabilidad sensorial, alcanzando un promedio global de 4.42 puntos en la escala hedónica utilizada.
2. La caracterización de las materias primas evidenció diferencias fisicoquímicas entre la mashua amarilla y la gulupa. La mashua presentó mayor contenido de cenizas ($1.18 \pm 0.08\%$), fibra ($2.33 \pm 0.07\%$) y vitamina C (81.86 ± 1.09 mg/100 g), mientras que la gulupa destacó por sus mayores valores de sólidos solubles totales (16.53 ± 0.25 °Brix) y acidez titulable ($29.16 \pm 0.33\%$), demostrando la complementariedad de ambas materias primas para el desarrollo de una bebida funcional.
3. El proceso de liofilización permitió obtener productos deshidratados a partir de la pasta de mashua y el zumo de gulupa, obteniéndose rendimientos de 18.53% para la pasta de mashua y 9.71% para el zumo de gulupa; lo cual permitió evaluar el desempeño del proceso de liofilización y determinar la recuperación de sólidos de cada matriz alimentaria, constituyendo el rendimiento un indicador de la eficiencia del proceso en las condiciones evaluadas.
4. Las bebidas rehidratadas obtenidas a partir de las diferentes formulaciones presentaron variaciones en sus características fisicoquímicas, en función de las proporciones de mashua y gulupa evaluadas. La evaluación sensorial determinó los niveles de aceptación de las formulaciones respecto a los atributos, permitiendo cuantificar las características fisicoquímicas y sensoriales de las bebidas funcionales rehidratadas elaboradas a base de mashua y gulupa.
5. La evaluación sensorial de las formulaciones obtenidas evidenció diferencias significativas ($p < 0.05$) en los atributos de olor, color, sabor y aspecto general., permitiendo comparar el nivel de aceptabilidad sensorial entre las formulaciones evaluadas, considerando la proporción de mashua y gulupa como factor de variación en la composición del producto.
6. La bebida funcional liofilizada óptima presentó una capacidad antioxidante de 75.74 ± 2.34 μ mol Trolox/100 g, un contenido de polifenoles totales de 133.13 ± 0.03 mg GAE/100 g y un contenido de vitamina C de 36.72 ± 0.19 mg/100 mL, determinándose cuantitativamente los principales compuestos bioactivos asociados a su actividad funcional.

VI. RECOMENDACIONES

1. Evaluar la estabilidad fisicoquímica, microbiológica y funcional de la bebida funcional liofilizada durante el almacenamiento, bajo diferentes condiciones de temperatura, humedad relativa y sistemas de envasado hermético, con la finalidad de establecer con mayor precisión su vida útil y condiciones óptimas de conservación.
2. Ampliar la caracterización funcional del producto mediante la cuantificación de compuestos bioactivos adicionales presentes en la mashua amarilla y la gulupa, tales como flavonoides totales, antocianinas, glucosinolatos y otros metabolitos secundarios, para fortalecer la evaluación integral del potencial funcional del producto.
3. Complementar la evaluación sensorial mediante estudios con un mayor número de consumidores e inclusión de diferentes grupos poblacionales, así como la aplicación de análisis sensorial descriptivo cuantitativo (QDA), con el propósito de obtener una caracterización sensorial más representativa y robusta de la formulación óptima.
4. Investigar el efecto de diferentes condiciones de liofilización (temperatura de congelación, presión de vacío y tiempo de secado) y sobre las propiedades fisicoquímicas, sensoriales y funcionales de la bebida, con la finalidad de optimizar su calidad y estandarizar su preparación.
5. Evaluar la factibilidad técnica, económica y productiva de la bebida funcional liofilizada a escala piloto e industrial, incorporando análisis de costos de producción, rendimiento global del proceso, requerimientos de equipamiento y viabilidad de transferencia tecnológica, orientado a su potencial escalamiento y comercialización.
6. Promover el aprovechamiento integral de la mashua amarilla y la gulupa mediante el desarrollo de nuevos alimentos funcionales y matrices alimentarias innovadoras, contribuyendo a la diversificación de productos agroindustriales con valor agregado y al fortalecimiento de las cadenas productivas locales.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acurio, L., Salazar, D., García Segovia, P., Martínez Monzó, J., & Igual, M. (26 de mayo de 2023). Third-Generation Snacks Manufactured from Andean Tubers and Tuberous Root Flours: Microwave Expansion Kinetics and Characterization. Obtenido de <https://www.mdpi.com/2304-8158/12/11/2168>
- Agualongo Tenelema, L., & Talahua Quingaguano, L. (2024). *Desarrollo de una bebida Funcional Rica en Antioxidantes a base de Flor de Jamaica (Hibiscus sabdariffa), Mortiño (Vaccinium meridionale) y Sábila (Aloe vera) Edulcorada con Stevia*. Guaranda Ecuador. Obtenido de <https://dspace.ueb.edu.ec/server/api/core/bitstreams/2e2f7f88-372d-4c84-bc7a-3ac81164a485/content>
- Aguilar, A., Pedreschi, R., Carpentier, S., & Chirin, D. (2020). *Proteomic analysis of mashua (Tropaeolum tuberosum) tubers subjected to postharvest treatments*. Food chemistry, 305, 125485. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125485>
- Alves, C. (2022). *Nanopartícula de quitosana fúngica/goma arábica contendo óleo de semente de uva (Vitis vinífera) e catequina: preparação, caracterização e atividade antimicrobiana*. [Tesis de bachiller, Universidad Federal De Pernambuco]. Pernambuco. Obtenido de <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/46191>
- Arteaga, D., Chacón, L., Samamé, V., & Valverde, D. (2022). *Mashua (Tropaeolum tuberosum): Composición nutricional, características químicas, compuestos bioactivos y propiedades beneficiosas para la salud*. Agroindustrial Science, 12(1), 95-101. Obtenido de <https://doi.org/10.17268/agroind.sci.2022.01.12>
- Avalos Rozas, L., Mendieta Navio, L., Huachllanqui Olivera, C., & Pareja Ramos, S. (2025). *Optimización mediante la Metodología de Superficie de Respuesta (RSM) para la formulación de una bebida funcional a base de lactosuero, durazno (Prunus persica) y polen de abeja*. Apurimac: Cosmovision Andina. Obtenido de file:///C:/Users/usuario/Downloads/Optimizacion_mediante_la_Metodologia_de_Superficie.pdf
- Barrionuevo Flores, C. (2024). *Formulación y evaluación de néctar a base de mango (Mangifera indica), maracuyá (Passiflora edulis) y mashua (Tropaeolum tuberosum)*. Nuevo Chimbote. Obtenido de

[https://repositorio.uns.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14278/4633/Tesis%20Barrio nuevo.pdf?](https://repositorio.uns.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14278/4633/Tesis%20Barrio%20nuevo.pdf?)

Bazán Plasencia, J., & Mejía Vásquez, A. (2023). “*Formulación de una bebida funcional de naranja (Citrus Sinensis), limón (Citrus Limón), jengibre (Zingiber Officinale) y miel; su aceptabilidad, vitamina c y polifenoles totales*”. Chimbote. Obtenido de <https://repositorio.uns.edu.pe/handle/20.500.14278/4510>

Bermeo Escobar, L. (28 de 10 de 2020). Evaluación de la influencia del grado de madurez de la gulupa (Passiflora edulis Sims) sobre la aceptación sensorial en productos alimenticios. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/348061507_Evaluacion_de_la_influencia _del_grado_de_madurez_de_la_gulupa_Passiflora_edulis_Sims_sobre_la_aceptaci on_sensorial_en_productos_alimenticios?](https://www.researchgate.net/publication/348061507_Evaluacion_de_la_influencia_del_grado_de_madurez_de_la_gulupa_Passiflora_edulis_Sims_sobre_la_aceptacion_sensorial_en_productos_alimenticios?)

Bosa Cañon, A., & Pablos Perea, M. (2025). *Análisis del uso de diversos edulcorantes en bebidas funcionales y su impacto en la percepción sensorial*. Bogotá Colombia. Obtenido de <https://repository.universidadean.edu.co/server/api/core/bitstreams/1cd13fd4-7bfc-40e4-b18d-f0813f8982db/content>

Buzera, A., Gikundi, E., Orina, I., & Sila, D. (10 de febrero de 2022). Methods on Physical and Microstructural Properties of Potato Flour. *Foods*. 11(4):507. doi:10.3390/foods11040507. PMID: 35205983; PMCID: PMC8871150.

Chavarro, F. (30 de 10 de 2025). Gulupa Colombiana: Una joya agrícola con valor Nutricional y Proyección Internacional. *Vitalpro*. Obtenido de <https://www.virtualpro.co/actualidad/gulupa-colombiana-una-joya-agricola-con-valor-nutricional-y-proyeccion-internacional-63780>

Ciurzyńska, A., Janowicz, M., Karwacka, M., Galus, S., Gánko , K., & Kowalska, J. (2022). *The effect of hybrid drying methods on the quality of dried carrot*. *Applied Sciences*, 12(20), 10588. Obtenido de <https://doi.org/10.3390/app122010588>

Coloma, A., Flores Mamani, E., Quille Calizaya, G., Zaira Churata, A., Apaza Ticona, J., Calsina Ponce, W., . . . Huanca Rojas, F. (23 de marzo de 2022). Characterization of Nutritional and Bioactive Compound in Three Genotypes of Mashua (Tropaeolum

- tuberosum Ruiz and Pavón) from Different Agroecological Areas in Puno. Obtenido de <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8967561/pdf/IJFS2022-7550987.pdf>
- Costa, R., Gómez, P., & Díaz, J. (2022). *Gulupa (Passiflora edulis Sims), su potencial para exportación, su matriz y su firma de maduración: una revisión. Ciencia y Agricultura*, 19(1), 15-27. Obtenido de <https://doi.org/10.19053/01228420.v19.n1.2022.13822>
- De la Cruz Marquez, P., & Escobar Garcia, C. (2023). *Optimización del proceso de elaboración de bebida funcional utilizando quito quito (Solanum quitoense Lam.) y banana (Musa acuminata) variedad bizcochito, edulcorado con estevia*. La Merced - Perú. Obtenido de http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/4078/1/T026_47012992_T.pdf
- Díaz Ydrogo, Y. (2026). *Evaluación de las Características Sensoriales y Fisicoquímicas de un Helado Artesanal de Betarraga (Beta vulgaris) y Arándano (Vaccinium myrtillus)*. Cajamarca. Obtenido de <https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14074/10472/TESIS%20YOVANA%20PAOLA%20D%20c3%8dAZ%20YDROGO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Dilas, J., & Ascurra, D. (2020). *Mashua (Tropaeolum tuberosum Ruiz & Pavón) cultivo subutilizado con alto potencial para zonas altoandinas en el Perú. Alpha Centauri*, 1(1), 15-24. Obtenido de <https://doi.org/10.47422/ac.v1i1.3>
- Dionicio Varas, E., Boñon Rocha, E., Llontop Ayasta, N., Rojas Naccha, J., & Vásquez Villalobos, V. (05 de enero de 2026). *Oca (Oxalis tuberosa): Propiedades nutritivas y funcionales. Contenido de oxalato y su influencia en el humano*. Obtenido de <https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/agroindscience/article/view/7152/7148>
- Duarte Serna, S. (2024). *Caracterización fisicoquímica, tecnológica y funcional del residuo procedente de la obtención de la bebida vegetal de almendra. Estrategias de valorización*. Valencia - España. Obtenido de <https://riunet.upv.es/server/api/core/bitstreams/b02c2236-12dc-4a3d-b445-b5744fd13210/content>
- Espinosa, J., & Rodríguez, L. (2020). *Caracterización fisicoquímica y actividad antioxidante de gulupa (passiflora edulis Sims var. edulis), [Tesis de Titulo,*

- Universidad Nacional Abierta y a Distancia]. Obtenido de <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/33494>
- Esteban Quinto, G. (2021). *Formulación de una Bebida Funcional a Base de Macha Macha (Vaccinium Floribundum Kunt) y Evaluación de la Capacidad Antioxidante*. Huancavelica. Obtenido de <https://apirepositorio.unh.edu.pe/server/api/core/bitstreams/720274a5-6f30-4096-82d0-3dedc9d3627a/content>
- Esteban, G. (2021). *Formulación De Una Bebida Funcional A Base De Macha Macha (Vaccinium floribundum Kunth) Y EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD ANTIOXIDANTE. [Tesis para optar el título, Universidad Nacional de Huancavelica]*. Huancavelica. Obtenido de <http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/4026>
- Feng, S., Bi, J., Yi, J., Li, X., Li, J., & Ma, Y. (2022). *Cell wall polysaccharides and mono-/disaccharides as chemical determinants for the texture and hygroscopicity of freeze-dried fruit and vegetable cubes*. *Food Chemistry*, 395, 133574. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133574>
- Fernández Solórzano, C., & Romero Morillo, G. (2021). *Actividad Antioxidante y Polifenoles Totales de una Bebida Funcional a Base de Zumo y Cáscara de Punica Granatum*. Chimbote. Obtenido de <https://repositorio.uns.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14278/3822/52350.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Galindo Quispe, E. (2023). *INFLUENCIA DE ZONAS AGROECOLÓGICAS Y MÉTODOS DE SECADO SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS Y FUNCIONALES DE HARINA INSTANTÁNEA DE MASHUA NEGRA (Tropaeolum Tuberosum Ruiz & Pavón) EN PERÚ*. Puno. Obtenido de <https://repositorio.unap.edu.pe/server/api/core/bitstreams/7d637ce7-1caa-44ed-8b6d-aa4d703a731b/content>
- Gómez, M., Costa, A., & Díaz, J. (2022). *Gulupa (Passiflora edulis Sims), su potencial para exportación, su matriz y su firma de maduración: una revisión*. *Ciencia y Agricultura*, 19(1), 15-27. Obtenido de <https://doi.org/10.19053/01228420.v19.n1.2022.13822>

- Gualoto Lata, J. (2021). *Evaluación Nutricional de la Oca, Mashua, Quinua y Avena para su uso en la Elaboración de Muesli*. Ecuador. Obtenido de <https://dspace.esPOCH.edu.ec:8080/server/api/core/bitstreams/8ac631c5-31b4-4cca-932b-66c534174796/content>
- Guerra García, J. (2021). *Liofilización y caracterización de pulpa de Annona muricata (guanábana)*. Tarapoto. Obtenido de <https://repositorio.unsm.edu.pe/backend/api/core/bitstreams/3022b5d0-a7c8-4a95-b5df-52bc301153e6/content>
- He, X., Luan, F., Yang, Y., Wang, Z., Zhao, Z., Fang, J., . . . Li, Y. (2020). *Passiflora edulis: An insight into current researches on phytochemistry and pharmacology*. *Frontiers in Pharmacology*, 11, 617. Obtenido de <https://doi.org/10.3389/fphar.2020.00617>
- Hipo, P. (2021). *Estudio de una mezcla de sacarosa más mora (Rubus glaucus) liofilizada para su aplicación en la industria alimentaria. [Tesis para optar el título, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]*. Obtenido de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/15529>
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2020). *Informe técnico: producción nacional*. Obtenido de <http://m.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/boletines/12-informe-tecnico-produccion-nacional-oct-2020.pdf>
- Kyu, V. (2022). *Understanding heat transfer during the secondary drying stage of freeze drying: current practice and knowledge gaps*. *Journal of Pharmaceutical Sciences*, 111(2), 368-381. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.xphs.2021.09.032>
- Llocle, J., & Hancoccallo, F. (2023). *Elaboración y evaluación de vida útil de una bebida funcional a base de tumbo (Passiflora mollissima) y sábila (Aloe vera) con adición de spirulina (Arthrospira platensis)*. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12918/7264>
- Luera Quiñones, S., Correa , M., Moreno Rojo, C., Salvador Reyes, R., & Paucar Menacho, L. (2025). *Mashua (Tropaeolum tuberosum Ruiz & Pavón): Nutritional Composition, Bioactive Compounds, and Functional Potential as an Andean Natural Ingredient*. *Foods*, 14(24), 4198. Obtenido de <https://www.mdpi.com/2304-8158/14/24/4198>
- Martínez, R. (2020). *Influencia de la matriz en la estabilidad de la VC durante la liofilización del subproducto obtenido de la extracción de zumo de naranja*. [Tesis

- de Titulación, Universidad Politecnica de Valencia]. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10251/150125>
- Medina Marroquín, L. (2020). *Evaluación del Efecto del Procesamiento por Calor sobre el Contenido de Glucosinolatos de Mashua (Tropaeolum tuberosum) Deshidratada por Liofilización*. Tacna - Perú. Obtenido de <https://repositorio.unjbg.edu.pe/server/api/core/bitstreams/973606ef-b007-4ae0-a75a-ef9f91f066b7/content>
- Medina Marroquin, L., Yucra Condori, H., Gárate, J., Mendoza, C., & Deflorio, E. (11 de agosto de 2023). Effect of heat processing on bioactive compounds of dehydrated (lyophilized) purple mashua (Tropaeolum tuberosum). doi:<https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2023.028>
- Mejía, G. (2023). *Elaboración de una mezcla en polvo isotónica enriquecida con aminoácidos de cadena ramificada para preparar una bebida destinada a deportistas. [Tesis de Bachiller, Universidad Nacional de Chimborazo]*. Obtenido de <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/10993>
- Mesa La Rosa, F., & Valdivia Meza, J. (2020). *Estudio de Prefactibilidad para la Instalación de una Planta Industrial de Hojuelas de Mashua Deshidratada*. Lima. Obtenido de https://repositorio.ulima.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12724/12093/Mesa_La_Rosa_Fiorella_Gianina.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. (2022). Catálogo de Mashua del Banco de Germoplasma del INIA. Obtenido de http://Yopez_et-al_2025_mashua_germoplasma_INIA.pdf
- Mozo, W., & Chuquicusma, E. (2023). *Bebida funcional a base de arándanos (Vaccinium myrtillus) con extracto de almendra (Prunus dulcis), edulcorada con panela. [Tesis para obtener título, Universidad Nacional Del Santa]*. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.14278/4354>
- Navarrete, A. (2023). *Diseño de un sistema de deshidratado de frutas mediante método de liofilización. [Tesis de Titulación, Universidad De Concepción]*. Obtenido de <http://repositorio.udec.cl/jspui/handle/11594/10934>
- Ocampo Pérez, J., & Morales Liscano, G. (s.f.). *Aspectos Generales de la Gulupa. Tecnología para el cultivo de la Gulupa en colombia*. Obtenido de

<https://repository.agrosavia.co/server/api/core/bitstreams/ad4a5ea7-788d-4d01-bc24-8c064ddea571/content>

- Ożarowski, M., & Karpiński, T. (2021). *Extracts and flavonoids of Passiflora species as promising anti-inflammatory and antioxidant substances*. *Current Pharmaceutical Design*, 27(22), 2582–2604. Obtenido de <https://doi.org/10.2174/1381612826666200526150113>
- Paredes, I., & Areche, F. (2021). *Elaboración de una bebida funcional a base de malta de Amaranthus caudatus L. y pulpa de Hylocereus triangularis*. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 5(3), 3353-3366. Obtenido de https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v5i3.536
- Pérez Ayma, M. (2021). *DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS EN LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA EN LÁMINAS DE MASHUA (Tropaeolum tuberosum), MEDIANTE LA METODOLOGÍA DE SUPERFICIE DE RESPUESTA*. Abancay. Obtenido de <https://repositorio.unamba.edu.pe/server/api/core/bitstreams/3f5f945f-237d-4618-a4db-cc1c310b4183/content>
- Pincay Aguirre, G., Espinoza Vaca, H., & Murillo Llor, R. (2025). *Bebida Probiótica de lactosuero con pulpa liofilizada de tomate de árbol: optimización antioxidante y sostenible*. Ecuador. Obtenido de <https://revista.gnerando.org/revista/index.php/RCMG/article/view/751/775>
- ProsagroExport. (6 de octubre de 2022). Para qué sirve la gulupa y sus beneficios. Obtenido de <https://prosagroexport.com/blog/para-que-sirve-la-gulupa-y-sus-beneficios/>
- Reale, V., & Giner, S. (2021). *Liofilización de frutillas. Modelado matemático del período de secado primario o de sublimación*. In *VI Jornadas de Investigación, Transferencia, Extensión y Enseñanza (ITEE)*. Obtenido de <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/128255>
- Reyes Reyes, M., Núñez Bretón, L., Cooper Bribiesca, B., González Jiménez, F., Valencia Rios, B., Manero, O., & Alamilla Beltran, L. (diciembre de 2024). Maltodextrinas modificadas: estructura, fuentes, aplicaciones e importancia en la industria alimentaria. *REVISTA MATERIALES AVANZADOS NUMERO: 41*, 162-167.

- Rios, S., & Gil, M. (2021). *Microencapsulación por secado por aspersión de compuestos bioactivos en diversas matrices: una revisión. TecnoLógicas*, 24(51). Obtenido de <https://doi.org/10.22430/22565337.1836>
- Sánchez, E. (2020). *Estabilidad de complejos coacervados aislado de proteína de suero de leche-goma Árábica. [Tesis para optar el título, Universidad Autónoma del Estado México]*. Mexico. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.11799/109870>
- Taipe Santiago, R. (2025). *Vida útil de harina de dos morfotipos de Tropaeolum tuberosum "mashua". Ayacucho, 2023. Ayacucho.* Obtenido de <https://repositorio.unsch.edu.pe/server/api/core/bitstreams/c14be4db-eff5-4d84-bc15-d41c2d5382eb/content>
- Tapia Echarri, A. G. (2023). *Elaboración de una bebida funcional a base de Mashua negra (Tropaeolum tuberosum) con adición de extracto de maracuya y enriquecida con colágeno Hifrolizado y edulcorada con Estevia (Stevia rebaudiana) . Arequipa.* Obtenido de <https://repositorio.ucsm.edu.pe/server/api/core/bitstreams/3431a6d6-a174-4d71-9cc9-b016e96b7ebd/content>
- Torre Tello, M. (2021). *Efecto de la Aplicación de la Materia Orgánica en el Rendimiento de la Mashua (Tropaeolum Tuberosum) en Condiciones de Acobamba - Huancavelica.* Huancavelica. Obtenido de <https://apirepositorio.unh.edu.pe/server/api/core/bitstreams/cef57986-2fdd-4bb9-a1da-6d455e630490/content>
- Torres Loja, R., Garay Montes, R., Medina Vivanco, M., Mego Mego, V., Vidaurre Rojas, P., & Gamonal Centurion, Y. (09 de 10 de 2023). Optimización del proceso de liofilización de pulpa de maracuyá: efecto de diferentes aglomerantes en la cinética de secado y características del producto final. *Nutr Clín Diet Hosp.* 2024; 44(1):201-209. doi:DOI: 10.12873/441torres-loja
- Vera, W., Quevedo Olaya, h. L., Minchán Velayarce , H., Samaniego Rafaele, C., Rodríguez León, A., Salvador Reyes, R., & Quispe Santivañez , G. (28 de noviembre de 2025). From Ethnobotany to Food Innovation: Applications and Functional Potential of Mashua (*Tropaeolum tuberosum*). 30. Obtenido de <https://www.mdpi.com/2304-8158/14/23/4091>

VIII. ANEXOS

ANEXO A. EVIDENCIAS FOTOGRÁFICAS DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DE LA BEBIDA FUNCIONAL LIOFILIZADA

ANEXO A1. Proceso de elaboración de la pasta de mashua amarilla liofilizada



Figura A1.1. Recepción de MP



Figura A1.2. Selección



Figura A1.3. Pesado



Figura A1.4. Lavado y desinfección



Figura A1.5. Cocción



Figura A1.6. Pulpeado



Figura A1.7. Liofilizado



Figura A1.8. Molienda y tamizado

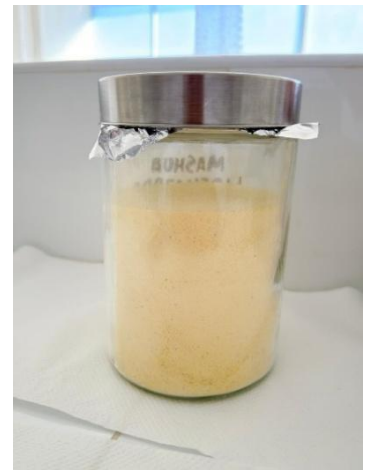


Figura A1.9. Pasta de mashua amarilla liofilizada

ANEXO A2. Obtención del zumo liofilizado de Gulupa



Figura A2.1. Recepción de MP



Figura A2.2. Selección

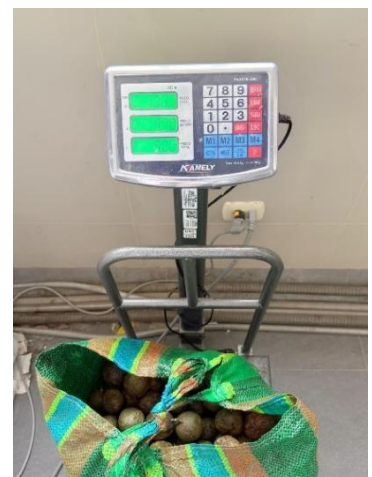


Figura A2.3. Pesado



Figura A2.4. Lavado y desinfección



Figura A2.5. Cortado



Figura A2.6. Pulpeado



Figura A2.7. Acondicionamiento del zumo



Figura A2.8. Liofilizado



Figura A2.9. Molienda y tamizado



Figura A2.10. Zumo liofilizado de gulupa

ANEXO A3. Obtención de la bebida funcional liofilizada

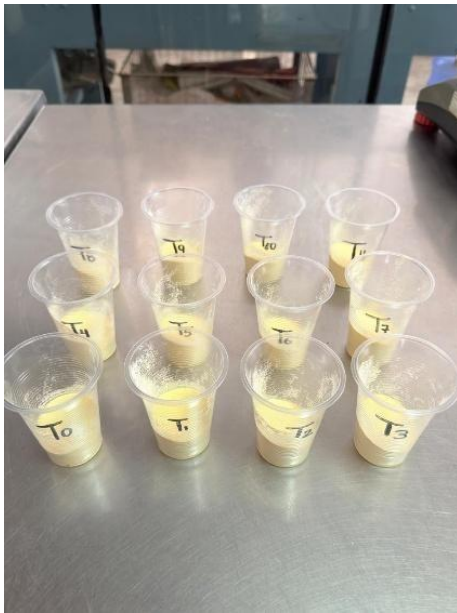


Figura A3.1. Formulación



Figura A3.2. Estandarización



Figura A3.3. Envasado



Figura A3.4. Almacenamiento

ANEXO A4. Obtención de la bebida funcional liofilizada rehidratada



Figura A4.1. Dilución



Figura A4.2. Agitación



Figura A4.3. Envasado



Figura A4.4. Almacenamiento

ANEXO B. RESULTADOS ESTADÍSTICOS COMPLEMENTARIOS
ANEXO B1. Análisis Proximal de la Mashua Amarilla

Figura B1.1. Determinación del % Humedad

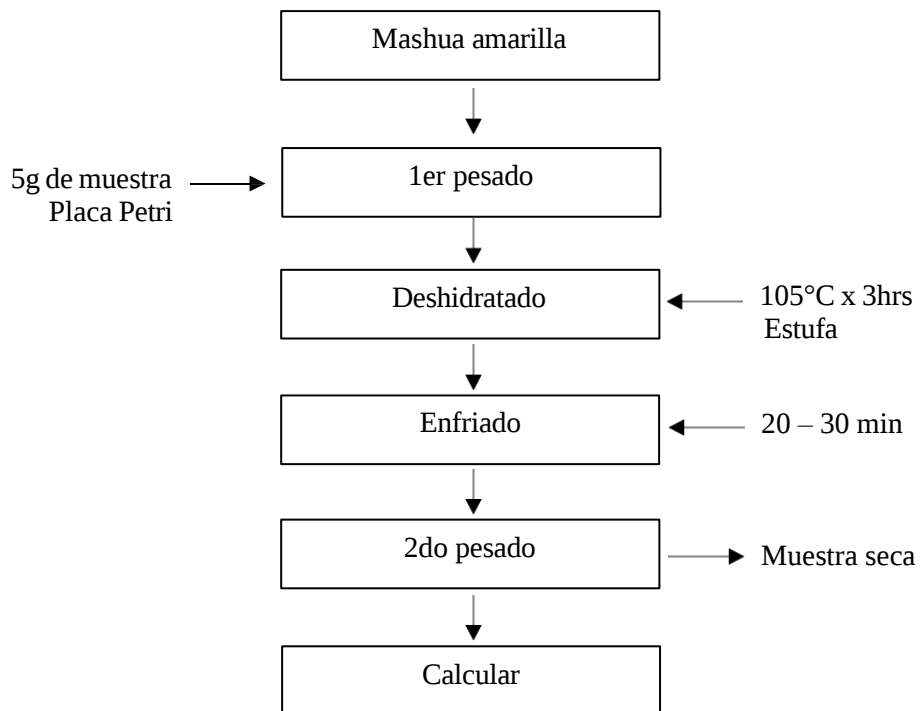


Diagrama de flujo del contenido de humedad

Fórmula:

$$\% \text{Humedad} = \frac{W_1 - W_2}{W_1} * 100\%$$

Donde:

- W_1 : Peso muestra inicial
- W_2 : (Peso placa + Muestra final) – Peso de placa

Figura B1.2. Determinación del % Cenizas

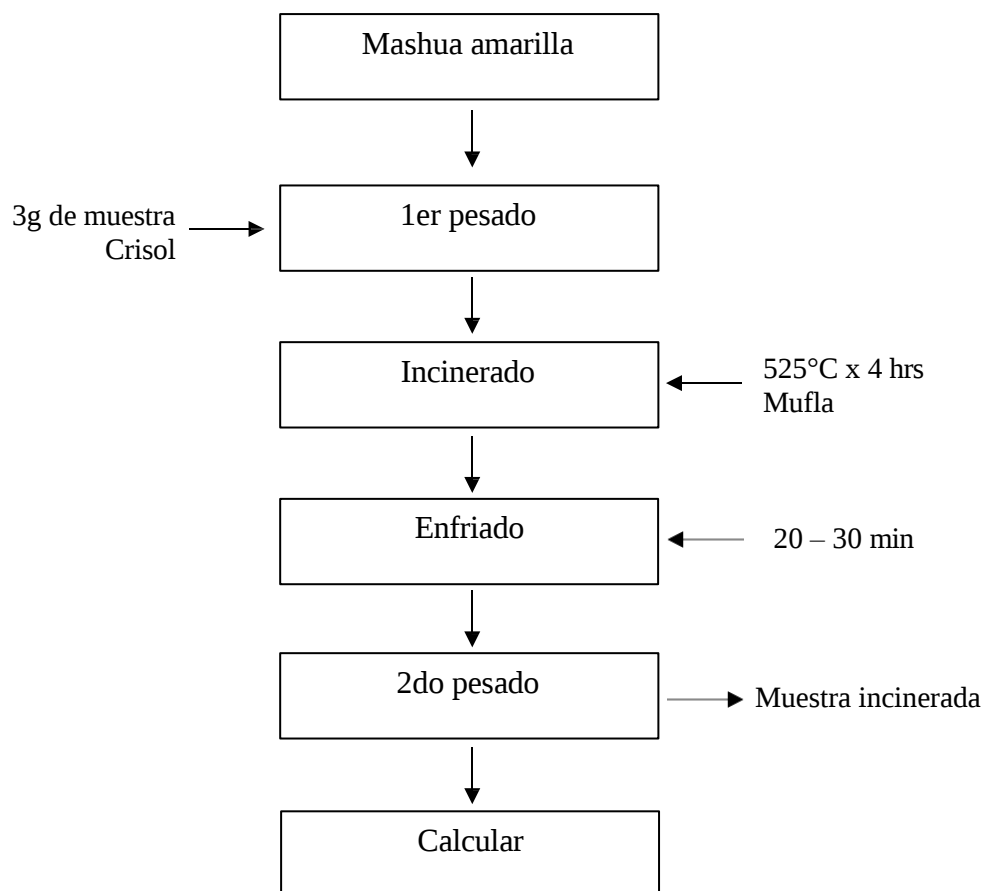


Diagrama de flujo del contenido de cenizas

Fórmula:

$$\% \text{Cenizas} = \frac{W_{\text{muestra final}}}{W_{\text{muestra inicial}}} * 100\%$$

Donde:

- $W_{\text{muestra final}}$: (Peso del crisol + Muestra final) – Peso del crisol
- $W_{\text{muestra inicial}}$: Peso muestra inicial

Figura B1.3. Determinación del % Grasa

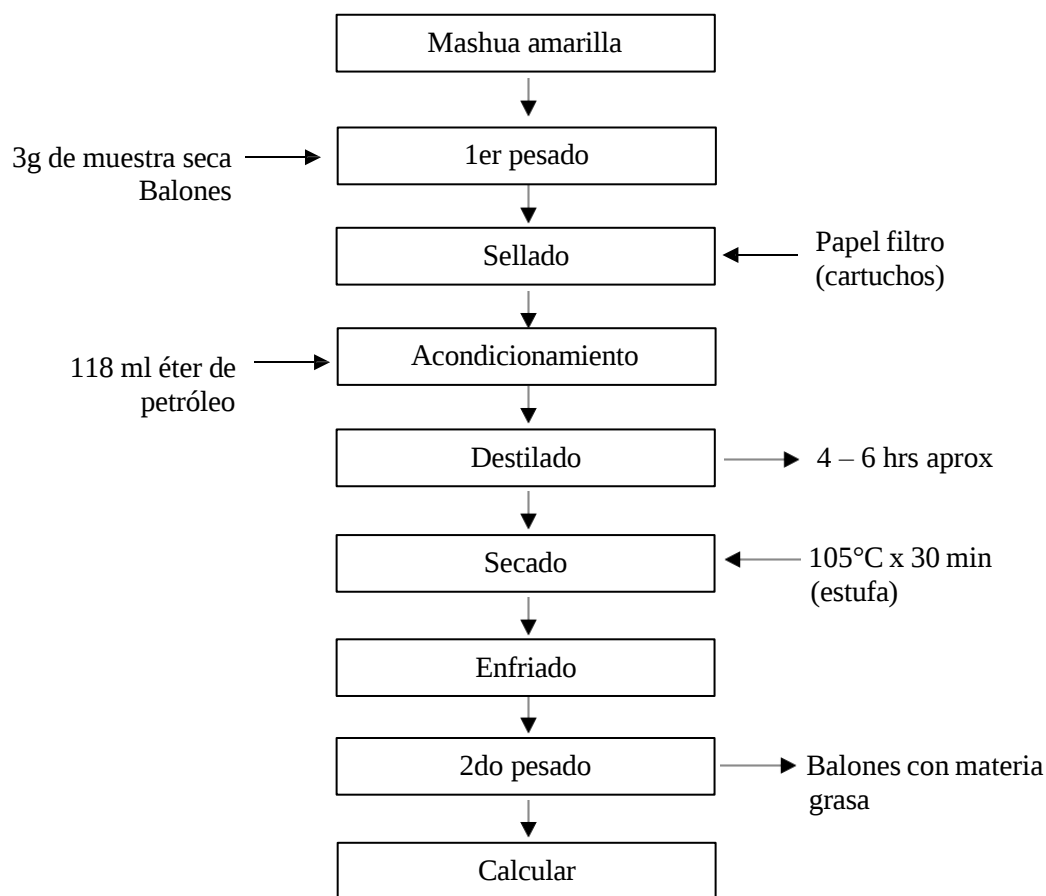


Diagrama de flujo del contenido de grasa

Fórmula:

$$\% \text{Grasa} = \frac{W_{\text{grasa}}}{W_{\text{muestra inicial}}} * 100\%$$

Donde:

- W_{grasa} : (Peso balón + Grasa) – Peso balón
- $W_{\text{muestra inicial}}$: Peso muestra inicial

Figura B1.4. Determinación del % Fibra

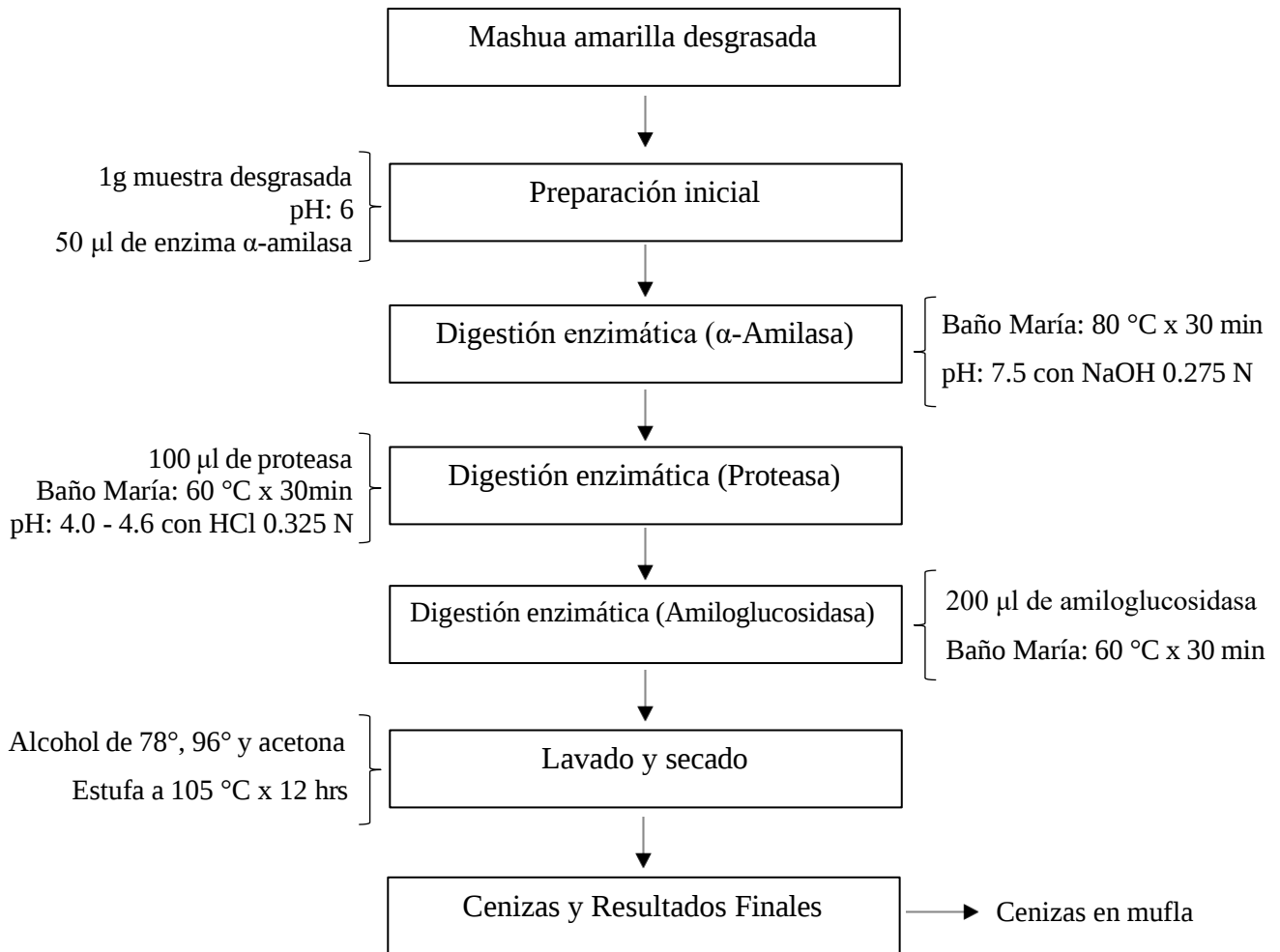


Diagrama de flujo del contenido de fibra dietaria

Fórmula:

$$\% \text{Fibra dietaria} = \frac{W_f - W_v}{W_m} * 100\%$$

Donde:

- W_f : Peso del vaso con fibra
- W_v : Peso del vaso vacío
- W_m : Peso de la muestra

Figura B1.5. Determinación del % Proteína

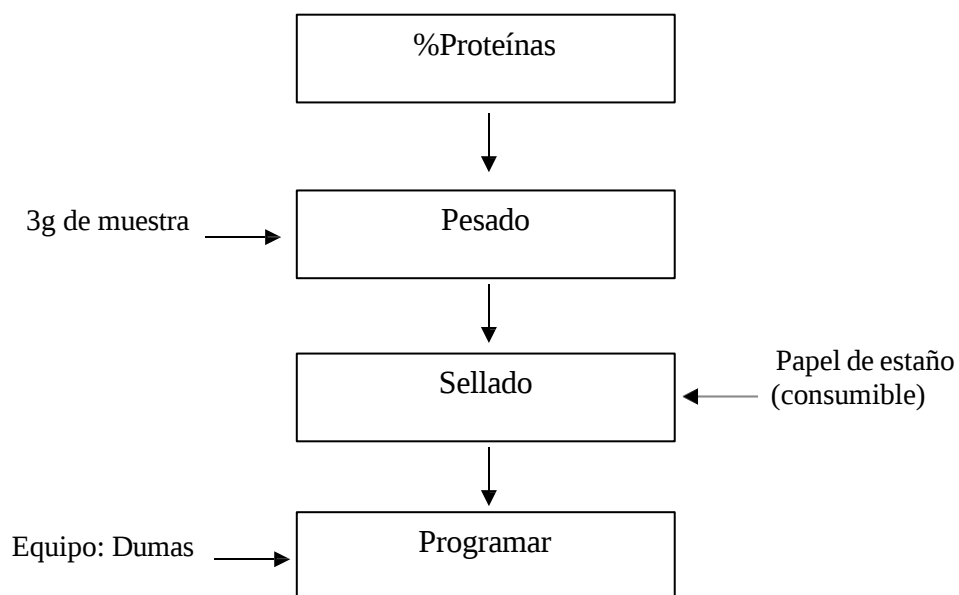


Diagrama de flujo del contenido de proteína

Fórmula:

$$\% \text{Proteína} = \% \text{N} \times \text{Factor de conversión}$$

ANEXO B2. Evidencias fotográficas del proceso análisis proximal de la mashua amarilla

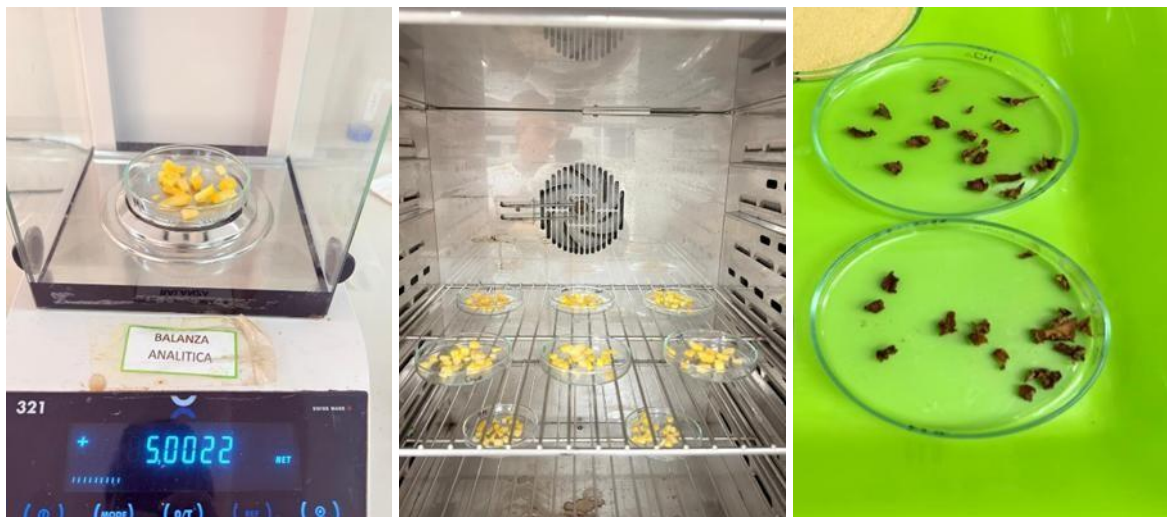


Figura B2.1. Determinación de %Humedad mashua amarilla



Figura B2.2. Determinación de %Cenizas mashua amarilla



Figura B2.3. Determinación de %Grasa mashua amarilla



Figura B2.4. Determinación de %Fibra mashua amarilla

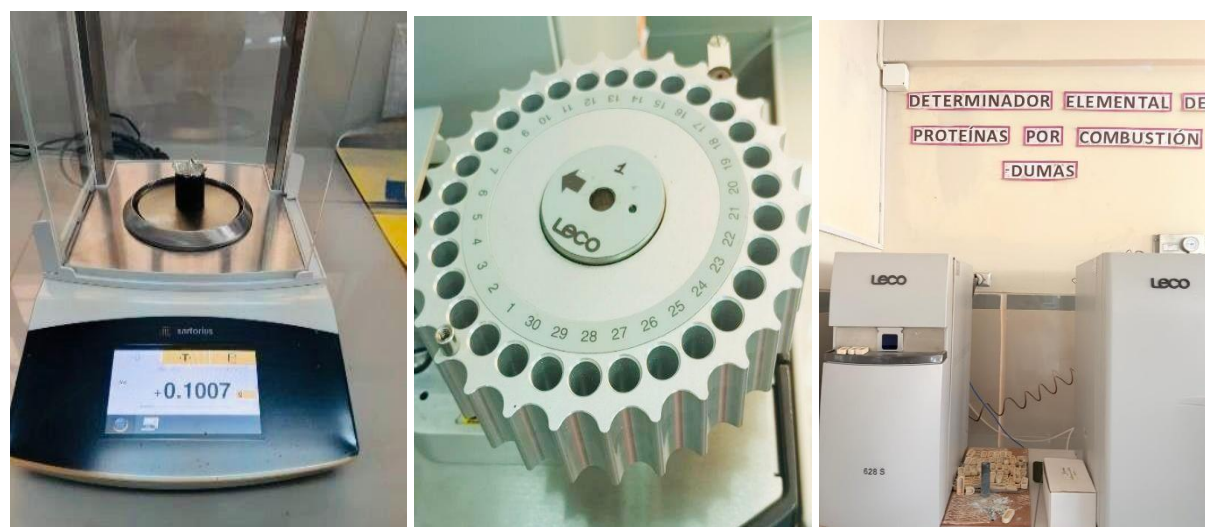


Figura B2.5. Determinación de %Proteína mashua amarilla

ANEXO B3. ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE LA MASHUA AMARILLA Y ZUMO DE GULUPA



Figura B3.1: Determinación Sólidos Solubles Totales (°Brix)



Figura B3.2: Determinación de %Acidez Titulable



Figura B3.3: Determinación de pH

ANEXO C. REPORTES DE LABORATORIO

ANEXO C1. Determinación de la capacidad antioxidante de la bebida funcional liofilizada óptima

Figura C1.1. Diagrama de flujo de la determinación de Capacidad Antioxidante (DPPH)

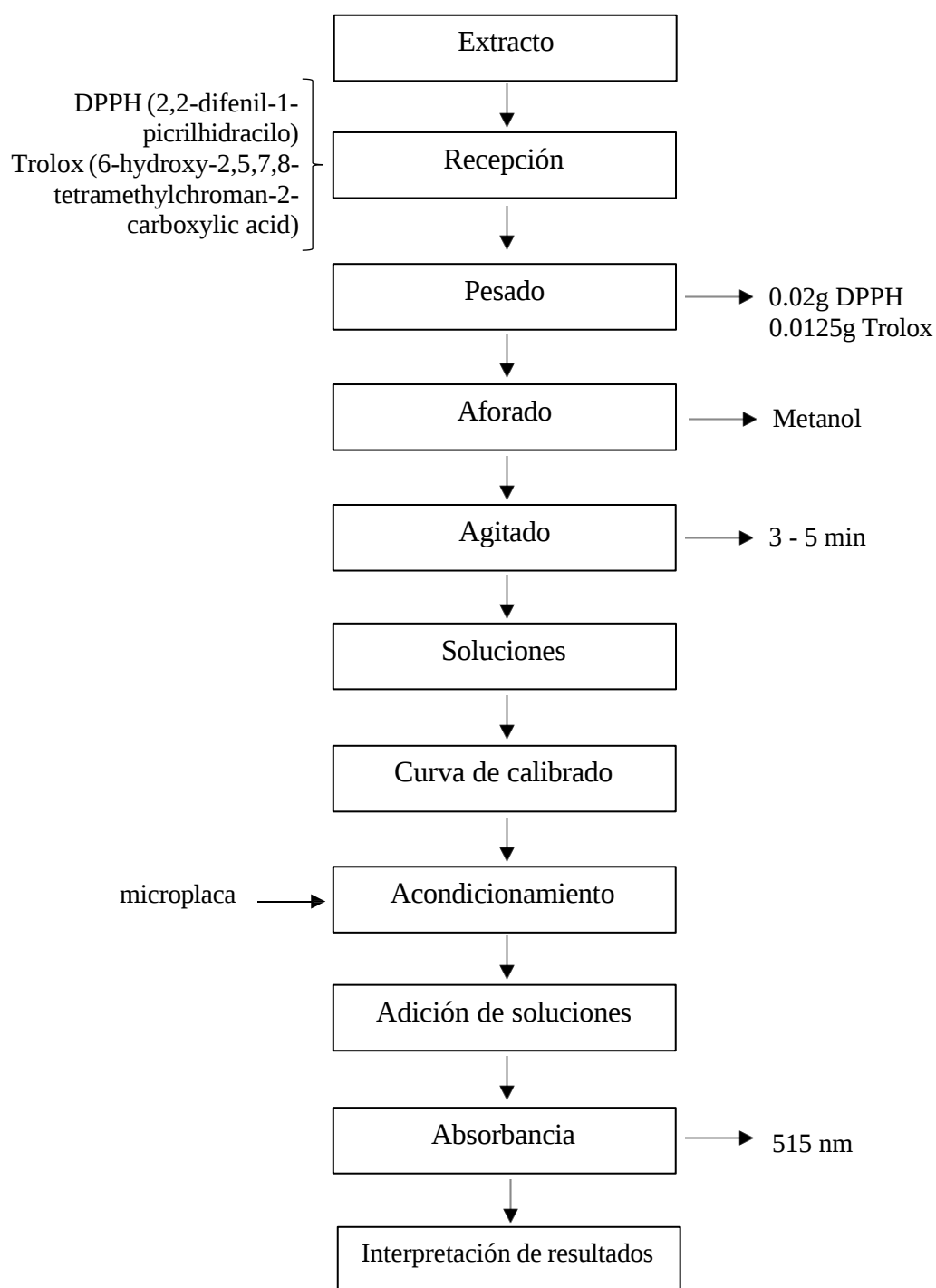


Tabla C1.

Concentraciones y absorbancias de la curva de calibrado – Capacidad Antioxidante

Tubo	Concentración Trolox (µL)	Absorbancia ajustada (515nm)	%DPPH Reducido
1	25	0.750	14.042
2	50	0.751	14.875
3	100	0.735	18.417
4	200	0.773	25.792
5	500	0.758	53.708

Cálculo del DPPH Reducido

$$\%DPPH \text{ Reducido} = \frac{A_0 - A_m}{A_0} \times 100$$

Donde:

A_0 : Absorbancia inicial de DPPH

A_m : Absorbancia de las concentraciones de DPPH ajustado

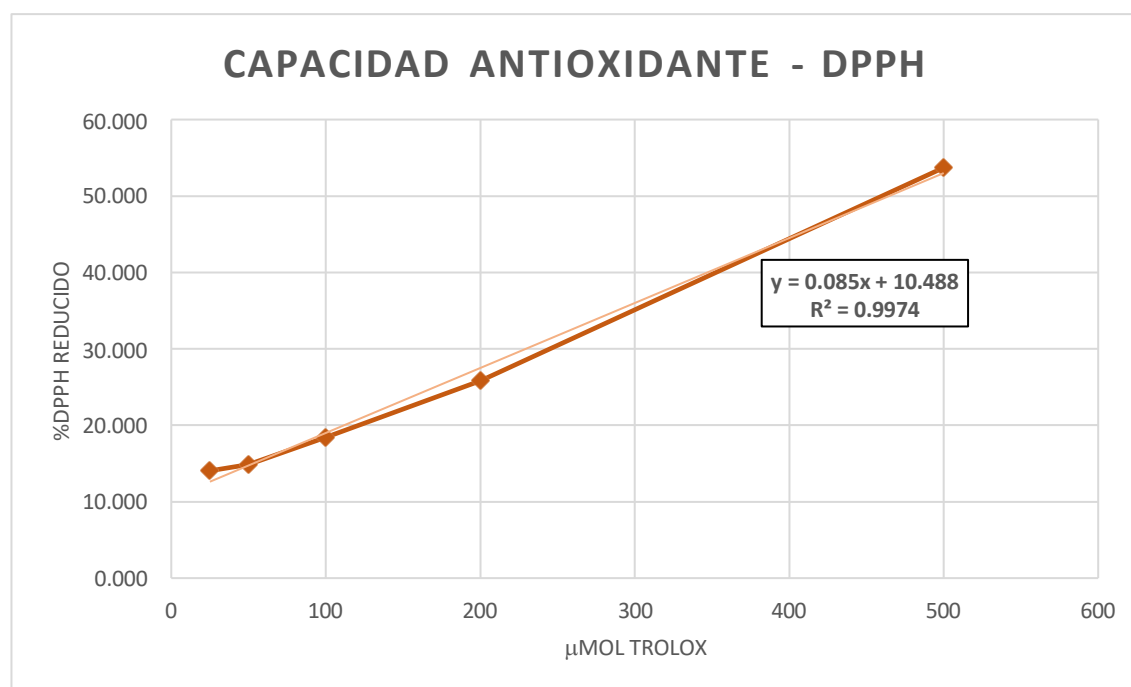


Figura C1.2. Curva de calibrado de la Capacidad Antioxidante (DPPH)

ANEXO C2. Determinación de polifenoles totales de la bebida funcional liofilizada óptima

Figura C2.1. Diagrama de flujo de la determinación de Polifenoles Totales

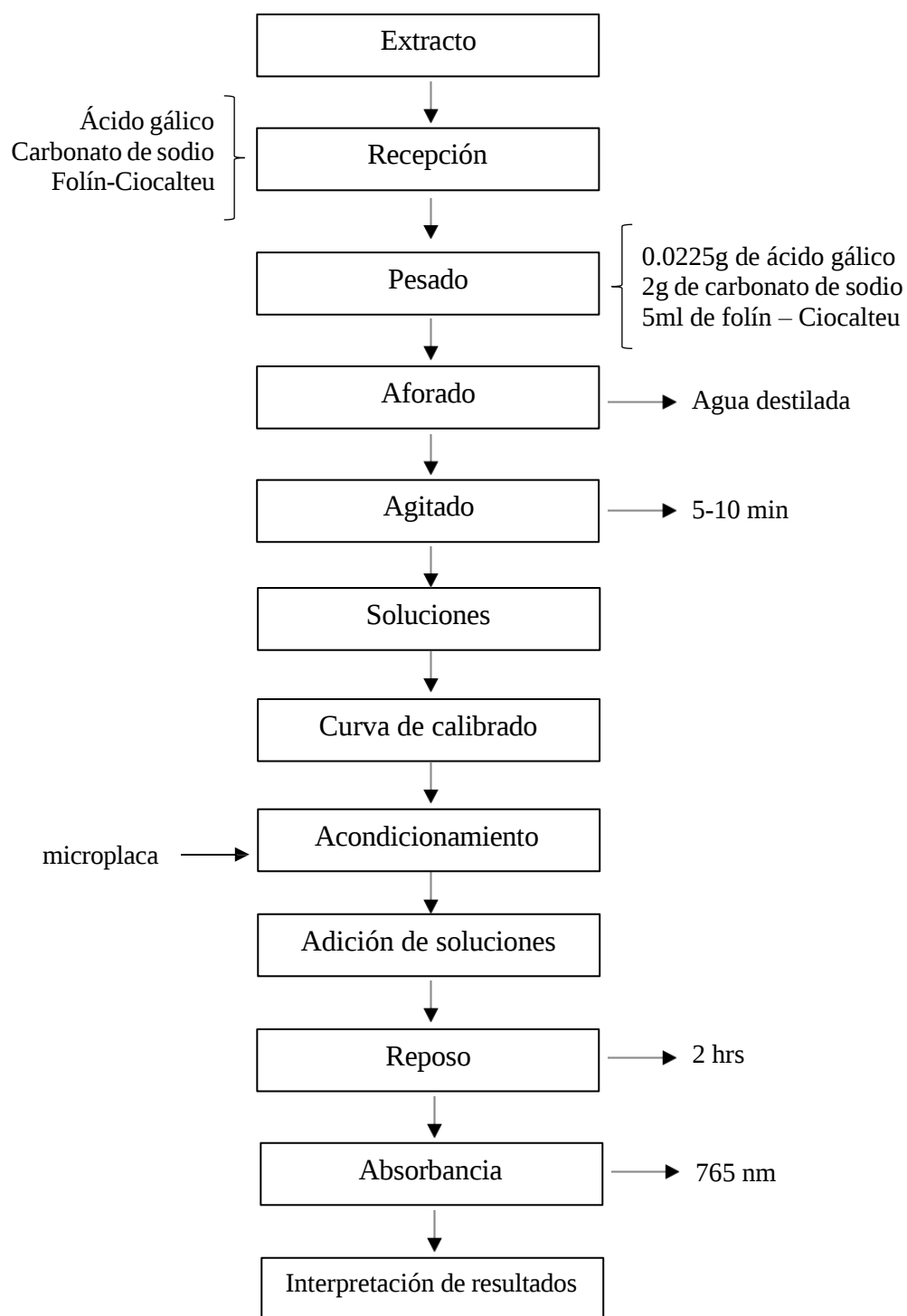


Tabla C2.

Concentraciones y absorbancias de la curva de calibrado – Polifenoles Totales

Tubo	A.G (µg/ml)	Absorbancia (765nm)	BLK 765
1	3.6	0.218	0.136
2	7.2	0.452	0.444
3	14.4	0.841	0.841
4	21.6	1.234	1.237
5	36	2.426	2.400

Cálculo del BLK 765

$$\text{BLK 765} = \text{Abs}_{\text{blanco}} - \text{Abs}_{\text{cons. A. G.}}$$

Donde:

$\text{Abs}_{\text{blanco}}$: Absorbancia blanco

$\text{Abs}_{\text{cons.}}$: Absorbancia de las concentraciones A.G.

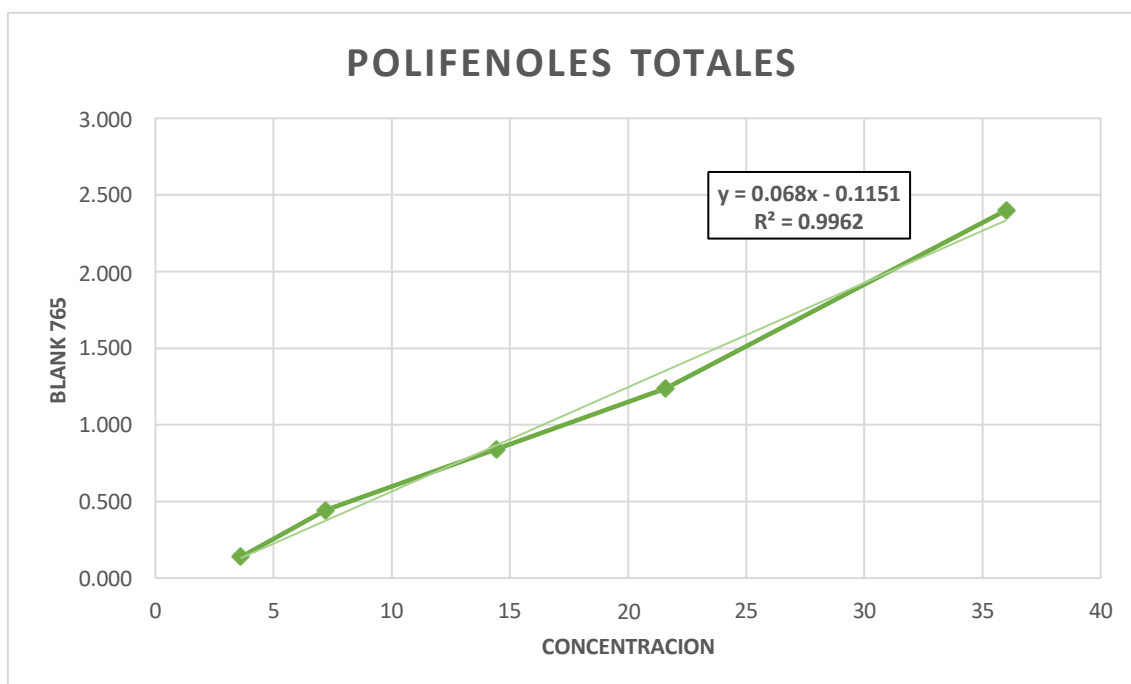
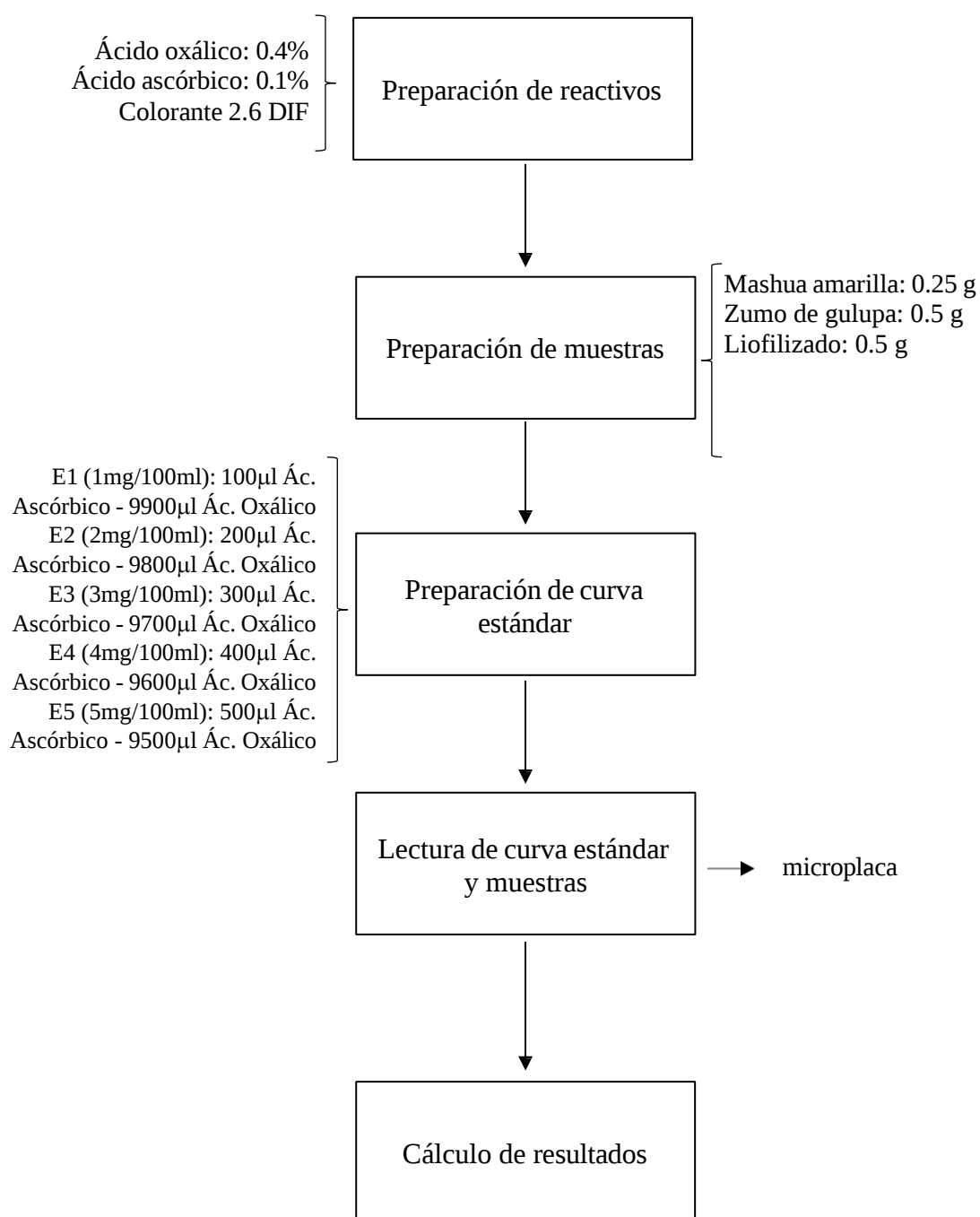


Figura C2.2. Curva de calibrado de Polifenoles Totales

ANEXO C3. Determinación de Vitamina C de las materias primas y de la bebida funcional liofilizada óptima

Figura C3.1. Diagrama de flujo de la determinación de Vitamina C



Cálculo del contenido del ácido ascórbico:

$$\text{mg. Ácido Ascórbico} = [(L_1 - L_2) + 0.0154/0.0194] * \text{gr muestra}$$

Tabla C3.

Preparación de reactivos

Reactivos	Peso (g)	Volumen (ml)
Ácido Oxálico (0.4%)	4.0082	1000
Ácido ascórbico (0.1%)	0.1046	1000
Colorante 2-6 DIF	0.0031	250

Tabla C4.

Preparación de estándares

Estándares	Ácido ascórbico (μL)	Ácido oxálico (ml)
E1	100	10
E2	200	10
E3	300	10
E4	400	10
E5	500	10

Nota: Todos los estándares se aforan con ácido oxálico hasta llegar a 10ml.

Tabla C5.

Vitamina C de la mashua amarilla

r	L1	L2	L1 – L2	Vitamina C (mg/100g)
1	0.163	0.056	0.105	82.989
2	0.160	0.054	0.107	80.815
3	0.160	0.057	0.104	81.781

Tabla C6.

Vitamina C del zumo de gulupa

r	L1	L2	L1 – L2	Vitamina C (mg/100g)
1	0.163	0.130	0.031	24.667
2	0.160	0.128	0.033	26.508
3	0.160	0.129	0.032	25.771

Tabla C7.*Vitamina C de la bebida funcional liofilizada óptima*

r	L1	L2	L1 – L2	Vitamina C (mg/100g)
1	0.163	0.095	0.066	36.518
2	0.160	0.096	0.065	36.883
3	0.160	0.095	0.066	36.762

Tabla C8.*Parámetros de construcción de curva estándar del ácido ascórbico*

Concentración (mg/100 ml)	L1	L2	L1 – L2
1	0.161	0.138	0.023
2	0.161	0.113	0.048
3	0.161	0.086	0.075
4	0.161	0.059	0.102
5	0.161	0.032	0.129

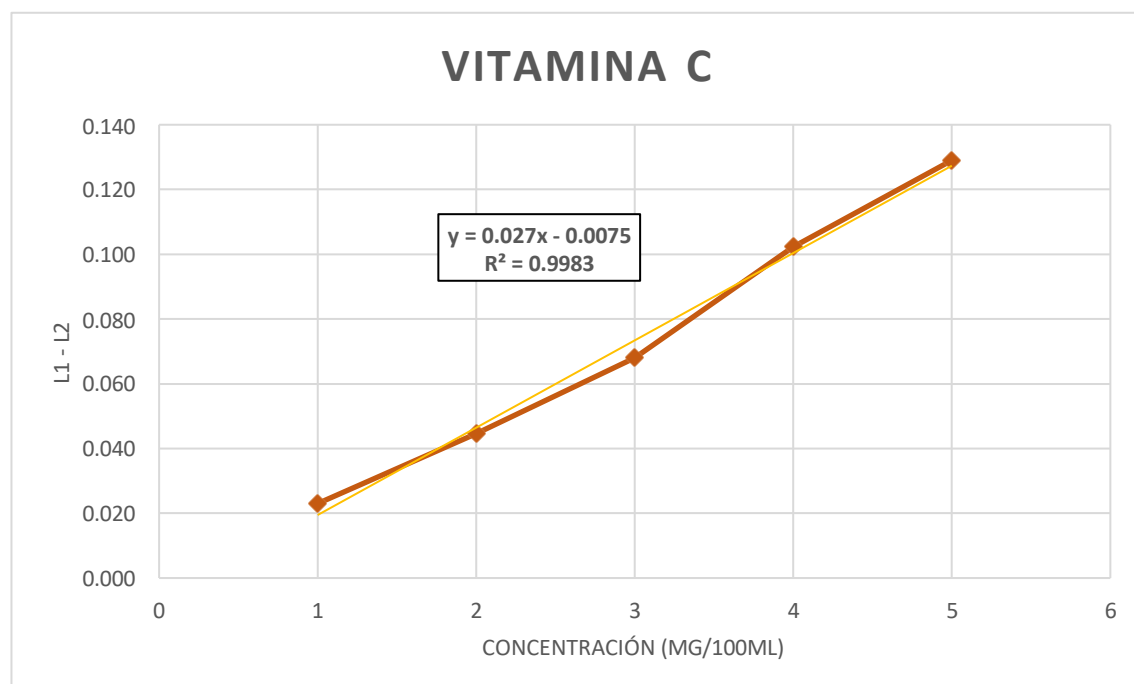
**Figura C3.2.** Curva de calibrado del contenido de Vitamina C

Figura C4. Determinación de la Capacidad Antioxidante – DPPH, Polifenoles Totales y Vitamina C



Figura C4.1. Baño ultrasónico



Figura C4.2. Obtención del extracto



Figura C4.3. Lectura en el lector multimodal

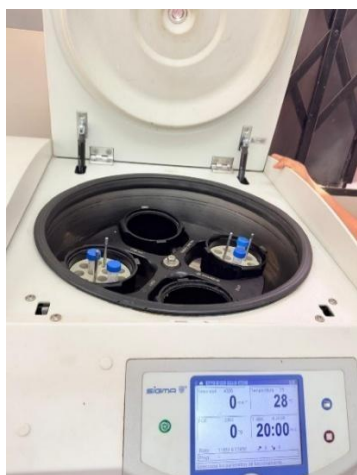


Figura C4.4. Centrífuga refrigerada



Figura C4.5. Pesado de reactivos y muestra

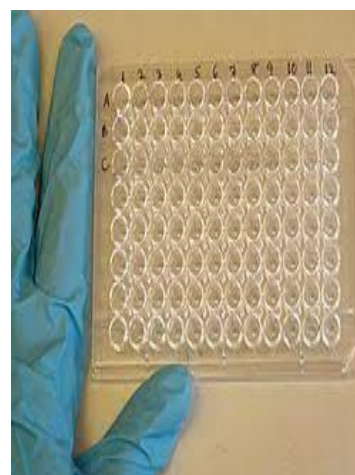


Figura C4.6. Llenado de muestra en microplaca

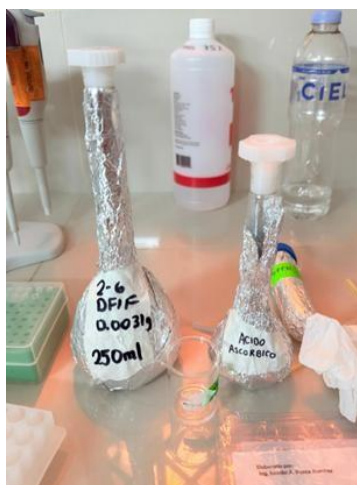


Figura C4.7. Preparación de reactivos



Figura C4.8. Preparación de estándares



Figura C4.9. Muestras a analizar

ANEXO D. INSTRUMENTO DE EVALUACIÓN SENSORIAL

Nombres: _____

En los vasos frente a usted hay 12 números de muestras de bebida funcional con distintos porcentajes (%) de concentración de mashua y gulupa, donde se evaluará su sabor, olor, color y aspecto general.

Instrucciones:

- Probar en el orden que se le presente las muestras.
- Recuerde tomar agua entre muestra y muestra.
- Califica las muestras del 1 al 5 según crea correspondiente.

Puntaje	1 	2 	3 	4 	5 
Evaluación	Me disgusta mucho	Me disgusta moderadamente	No me gusta ni me disgusta	Me gusta moderadamente	Me gusta mucho

1. Evaluación sensorial

Evaluación	Muestras											
	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11
Sabor												
Olor												
Color												
Aspecto general												

2. Marca con un aspa “X” la muestra que te ha gustado más.

- | | | | |
|-------|-------|-------|--------|
| a. T0 | d. T3 | g. T6 | j. T9 |
| b. T1 | e. T4 | h. T7 | k. T10 |
| c. T2 | f. T5 | i. T8 | l. T11 |

Observaciones: _____

ANEXO E. Evaluación Sensorial con los Panelistas

Figura E1. Toma de muestras a Panelistas

