UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

OPTIMIZACIÓN DE LA CAPACIDAD ANTIOXIDANTE Y FENOLES TOTALES EN POLVO DE GUAYABA (*Psidium guajava*) Y NUEZ DE MARAÑON (*Anacardium occidentale L.*) MICROENCAPSULADO CON MALTODEXTRINA UTILIZANDO DISEÑO DE MEZCLAS, UCAYALI 2025

Tesis para optar el título profesional

INGENIERO AGROINDUSTRIAL

GUSTAVO ALEJANDRO, TOLEDO NIÑO

Pucallpa, Perú

2026

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL

ANEXO 4

ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS

Los Miembros del Jurado que suscriben, reunidos para estudiar y escuchar la sustentación de tesis, presentado por **GUSTAVO ALEJANDRO TOLEDO NIÑO**, denominada **"OPTIMIZACIÓN DE LA CAPACIDAD ANTIOXIDANTE Y FENOLES TOTALES EN POLVO DE GUAYABA (*Psidium guajava*) Y NUEZ DE MARAÑON (*Anacardium occidentale L.*) MICROENCAPSULADO CON MALTODEXTRINA UTILIZANDO DISEÑO DE MEZCLAS, UCAYALI 2025"**, para cumplir con el requisito académico o Título Profesional de **INGENIERO AGROINDUSTRIAL**.

Teniendo en consideración los méritos del referido trabajo, así como los conocimientos demostrados por el sustentante lo declaramos: .....APROBADO.....con el calificativo .....QUINCE.....(15).

En consecuencia, queda en condición de ser considerado Apto por el Consejo Universitario y recibir el Título de **INGENIERO AGROINDUSTRIAL,** de conformidad con lo estipulado en los Art. 3 y 6 del reglamento para el otorgamiento de grado académico de bachiller y título profesional de la Universidad Nacional de Ucayali.

Pucallpa, 20 de agosto del 2026.

Ing. Alex Rengifo Zumaeta. Dr.
Presidente

Ing. José Manuel Ramirez Vasquez. M.Sc.
Primer Miembro

Ing. Cristina Elena Quiñones Ruiz. Dr.
Segundo Miembro

Ing. Carlos Ruiz Padilla. M.Sc.
Asesor

(*) De acuerdo con el Art. 21 del Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional de Ucayali, estas deberán ser calificadas con términos de Sobresaliente, Aprobado por Unanimidad, Aprobado por Mayoría y Desaprobado.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL

ACTA DE APROBACION DE TESIS

Esta tesis fue sometida a consideración para su aprobación por el Jurado Evaluador de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Ucayali, integrado por los siguientes docentes:

Ing. Alex Rengifo Zumaeta. Dr. ..... Presidente

Ing. José Manuel Ramirez Vasquez. M.Sc. ..... Primer Miembro

Ing. Cristina Elena Quiñones Ruiz. Dr. ..... Segundo Miembro

Ing. Carlos Ruiz Padilla. M.Sc. ..... Asesor

Bach. Gustavo Alejandro Toledo Niño. ..... Tesista

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

DIRECCIÓN DE PRODUCCIÓN INTELECTUAL

CONSTANCIA

ORIGINALIDAD DE TESIS

Nº V/304-2026.

La Dirección de Producción Intelectual de la Universidad Nacional de Ucayali, hace constar por la presente, que la Tesis titulada:

"OPTIMIZACIÓN DE LA CAPACIDAD ANTIOXIDANTE Y FENOLES TOTALES EN POLVO DE GUAYABA (*Psidium guajava*) Y NUEZ DE MARAÑON (*Anacardium occidentale L.*) MICROENCAPSULADO CON MALTODEXTRINA UTILIZANDO DISEÑO DE MEZCLAS, UCAYALI 2025."

Autor(es)	:	**TOLEDO NIÑO, GUSTAVO ALEJANDRO**
Facultad	:	**CIENCIAS AGROPECUARIAS**
Escuela	:	**ING. AGROINDUSTRIAL**
Asesor(a)	:	**M.Sc. RUIZ PADILLA, CARLOS**

Presenta un **porcentaje de similitud de 5%,** verificado en el Sistema Antiplagio COMPILATIO,

De acuerdo a los criterios de porcentaje establecidos en el artículo 9 de la DIRECTIVA DE USO DEL SISTEMA ANTIPLAGIO, el cual indica: "todo trabajo de investigación no debe superar el 10%". **En tal sentido, se declara, que la TESIS presenta un porcentaje aceptable de similitud,** procediéndose a emitir la presente Constancia a solicitud del asesor.

En señal de conformidad se firma y sella el presente documento.

Fecha: 08/05/2026

Dr. JOSÉ MANUEL CÁRDENAS BERNAOLA
Director de Producción Intelectual

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

DIRECCIÓN DE PRODUCCIÓN INTELECTUAL

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Repositorio de la Universidad Nacional de Ucayali

Yo, GUSTAVO ALEJANDRO TOLEDO NIÑO

Autor de la tesis titulada : "OPTIMIZACIÓN DE LA CAPACIDAD ANTIOXIDANTE Y FENOLES TOTALES EN POLVO DE GUAYABA (Psidium guajava) Y NUEZ DE MARAÑON (Amacardium occidentale L.) MICROENCAPSULADO CON MALTODEXTRINA UTILIZANDO DISEÑO DE MEZCLAS UCAYALI 2025"

Sustentada el año.....

Asesor(a): M.Sc. CARLOS RUIZ PADILLA

Facultad: CIENCIAS AGROPECUARIAS

Escuela Profesional: INGENIERIA AGROINDUSTRIAL

Autorizo la publicación:

PARCIAL [ ] TOTAL [X]

De mi trabajo de investigación en el Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Ucayali (www.repositorio.unu.edu.pe), bajo los siguientes términos:

Primero: Otorgo a la Universidad Nacional de Ucayali licencia no exclusiva para reproducir, distribuir, comunicar, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público en general mi tesis (incluido el resumen) a través del Repositorio Institucional de la UNU, en formato digital sin modificar su contenido, en el Perú y en el extranjero; por el tiempo y las veces que considere necesario y libre de remuneraciones.

Segundo: Declaro que la tesis es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, por tanto me encuentro facultado a conceder la presente autorización, garantizando que la tesis no infringe derechos de autor de terceras personas, caso contrario, me hago único(a) responsable de investigaciones y observaciones futuras, de acuerdo a lo establecido en el estatuto de la Universidad Nacional de Ucayali, la Superintendencia Nacional de Educación Superior Universitaria y el Ministerio de Educación.

En señal de conformidad firmo la presente autorización.

Fecha: 20 / 08 / 2026

Email: ing.gustavo1510@gmail.com Firma: [signature]

Teléfono: 921 933 901 DNI: 45040622

www.repositorio.unu.edu.pe
repositorio@unu.edu.pe

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo de investigación, en primer lugar, a Dios, por ser mi guía y fortaleza en cada etapa de mi vida, por brindarme sabiduría, perseverancia y la oportunidad de superar los desafíos que se presentaron durante mi formación profesional, permitiéndome alcanzar una de mis metas más importantes.

A mi familia, por su amor, comprensión y apoyo incondicional, por confiar en mis capacidades y motivarme constantemente a seguir adelante. Su respaldo ha sido fundamental para mantenerme firme en mis propósitos y culminar satisfactoriamente esta etapa de mi vida académica.

De manera especial, a mi pareja, Grecia S. Taricuarima Garay, y a mis queridos hijos, Gustavo Alexander y Alessio Alejandro, quienes constituyen mi mayor inspiración y motivación para superarme cada día. Su amor, paciencia y comprensión durante los momentos de esfuerzo y sacrificio han sido esenciales para alcanzar este logro, que también les pertenece.

A mis hermanos, por sus palabras de aliento, cariño y constante motivación, que me impulsaron a perseverar y continuar avanzando hasta cumplir este importante objetivo profesional.

AGRADECIMIENTO

A Dios, por brindarme la vida, sabiduría, fortaleza y perseverancia necesarias para superar los desafíos durante mi formación profesional y culminar satisfactoriamente esta importante etapa académica.

A la Universidad Nacional de Ucayali, mi alma mater, por brindarme una formación integral y facilitar las instalaciones y recursos necesarios para el desarrollo de la presente investigación.

A los docentes de la Facultad de Ciencias Agropecuarias y de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, por sus enseñanzas, conocimientos y experiencias compartidas, que contribuyeron significativamente a mi formación académica y profesional.

Mi especial agradecimiento al Ing. M. Sc. Carlos Ruiz Padilla, asesor de esta tesis, por su orientación, paciencia, dedicación y valiosas recomendaciones durante el desarrollo de la investigación.

Finalmente, a mi familia y amigos, por su apoyo incondicional, comprensión y constante motivación, que fueron fundamentales para alcanzar esta importante meta profesional.

ÍNDICE GENERAL

Pág.

DEDICATORIA……vi

AGRADECIMIENTO……vii

ÍNDICE GENERAL……viii

RESUMEN……xi

ABSTRACT……xii

ÍNDICE DE TABLAS……xiii

ÍNDICE DE FIGURAS……xiv

INTRODUCCIÓN……1

CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA……5

1.1. Descripción y fundamentación del problema……5

1.2. Formulación del problema general y específicos……8

1.3. Objetivo general y objetivos específicos……9

1.4. Hipótesis y/o sistema de hipótesis……10

1.5. Operacionalización de las variables……11

1.6. Justificación e importancia……13

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO……16

2.1. Antecedentes……16

2.2. Bases teóricas……23

2.2.1. Alimentos funcionales y compuestos bioactivos ……23

2.2.2. Compuestos fenólicos y capacidad antioxidante ……..……26
2.2.3. Guayaba (*Psidium guajava*) ……..……30
2.2.4. Marañón o casho (*Anacardium occidentale L.)* ……..…….33
2.2.5. Microencapsulación de compuestos bioactivos……...…35
2.2.6. Maltodextrina como agente encapsulante …….……..…38
2.2.7. Secado por aspersión (spray drying) …….……...39
2.2.8. Diseño de mezclas en la optimización de alimentos……...…41
2.3. Definiciones conceptuales……..……44
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA……..……50
3.1. Método de investigación……..….50
3.2. Tipo y nivel de investigación…….……...50
3.3. Población y muestra…….…….....51
3.4. Componentes en estudio…….……52
3.5. Tratamientos en estudio……..…....53
3.6. Diseño experimental…….54
3.7. Ejecución del experimento……..…56
3.7.1. Ubicación y duración del estudio..... ….. ….56
3.7.2. Condiciones ambientales 57
3.7.3. Proceso experimental 57
3.7.4. Variables evaluadas 60
CAPÍTULO IV. RESULTADOS…….……61
4.1. Obtención de pulpa y los extractos acuosos ……..…...61

4.2. Obtención de polvos microencapsulados ……..……63

4.3. Análisis de compuestos bioactivos……64

4.4. Características sensoriales del grano seco fermentado de cacao……...75

CAPÍTULO V. DISCUSIÓN…….……78

CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES…….……93

CAPÍTULO VII. RECOMENDACIONES……..……95

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS……..……97

ANEXOS……...……..……105

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo optimizar el contenido de capacidad antioxidante y compuestos fenólicos totales en una bebida instantánea elaborada a partir de polvo microencapsulado de guayaba (*Psidium guajava*) y nuez de marañón (*Anacardium occidentale*), empleando un diseño de mezclas tipo simplex-centroide ampliado. Las materias primas fueron sometidas a procesos de obtención de pulpa, dilución, filtración y posterior secado por atomización utilizando maltodextrina como agente encapsulante. La capacidad antioxidante fue evaluada mediante los métodos ABTS y ORAC, mientras que los compuestos fenólicos totales se determinaron por el método de Folin-Ciocalteu. Los resultados evidenciaron que la guayaba fue el componente con mayor contribución a la actividad antioxidante y al contenido fenólico. El análisis estadístico mostró que el modelo fue significativo para ORAC y compuestos fenólicos, mientras que para ABTS no se encontraron diferencias significativas. La optimización mediante la función de deseabilidad permitió establecer una formulación óptima de 41.69% de guayaba, 11.39% de marañón y 46.92 % de chancaca, alcanzando valores elevados de capacidad antioxidante y contenido fenólico. Estos resultados demuestran el potencial de la microencapsulación y del diseño de mezclas en el desarrollo de alimentos funcionales con propiedades bioactivas mejoradas.

Palabras claves: microencapsulación, capacidad antioxidante, compuestos fenólicos, diseño de mezclas.

ABSTRACT

This study aimed to optimize the antioxidant capacity and total phenolic content of an instant beverage made from microencapsulated guava (Psidium guajava) and cashew nut (Anacardium occidentale) powder, using an expanded simplex-centroid mixture design. The raw materials underwent pulp extraction, dilution, filtration, and subsequent spray drying using maltodextrin as the encapsulating agent. Antioxidant capacity was evaluated using the ABTS and ORAC methods, while total phenolic compounds were determined by the Folin-Ciocalteu method. The results showed that guava was the component with the greatest contribution to antioxidant activity and phenolic content. Statistical analysis showed that the model was significant for ORAC and phenolic compounds, while no significant differences were found for ABTS. Optimization using the desirability function allowed for the establishment of an optimal formulation of 41.69% guava, 11.39% cashew, and 46.92% chancaca (unrefined cane sugar), achieving high values for antioxidant capacity and phenolic content. These results demonstrate the potential of microencapsulation and mixture design in the development of functional foods with enhanced bioactive properties.

Keywords: microencapsulation, antioxidant capacity, phenolic compounds, mixture design.

ÍNDICE DE TABLAS

En el texto: **Pág.**

Tabla 1. Operacionalización de las variables de investigación…… 12

Tabla 2. Componentes y rangos de proporción establecidos para el diseño experimental de mezclas…….. 53

Tabla 3. Tratamientos experimentales del diseño de mezclas…… 54

Tabla 4. Balance de materia del procesamiento de guayaba…….. 61

Tabla 5. Balance de materia del procesamiento de marañón……. 62

Tabla 6. Capacidad antioxidante mediante el método ABTS de las 16 formulaciones experimentales…….. 65

Tabla 7. Análisis de varianza del modelo cúbico de mezclas para la capacidad antioxidante mediante ABTS…….. 66

Tabla 8. Capacidad antioxidante mediante el método ORAC de las 16 formulaciones experimentales…….. 68

Tabla 9. Análisis de varianza del modelo cúbico de mezclas para la capacidad antioxidante mediante ORAC……. 69

Tabla 10. Contenido de compuestos fenólicos totales de las 16 formulaciones experimentales…….. 72

Tabla 11. Análisis de varianza del modelo cúbico de mezclas para el contenido de compuestos fenólicos totales…… 73

Tabla 12. Valores predichos de compuestos fenólicos totales y capacidad antioxidante para la formulación optimizada……. 76

ÍNDICE DE FIGURAS

En el texto: **Pág.**

Figura 1. Fruto de Psidium guajava L……. 31

Figura 2. Fruto y pseudofruto de Anacardium occidentale L…… 34

Figura 3. Diseño experimental de mezclas simplex-centroide ampliado. 55

Figura 4. Diagrama de flujo del proceso de atomización de guayaba y nuez de marañón…… 58

Figura 5. Diagrama de flujo del proceso de mezclado de polvos microencapsulados…… 59

Figura 6. Curva estándar de Trolox para la determinación de la capacidad antioxidante mediante ABTS……. 64

Figura 7. Curva estándar de Trolox para la determinación de la capacidad antioxidante mediante ORAC…… 67

Figura 8. Diagrama de contorno de la capacidad antioxidante mediante ORAC en función de las proporciones de guayaba, nuez de marañón y chancaca…….. 70

Figura 9. Superficie de respuesta de la capacidad antioxidante mediante ORAC en función de la formulación de la mezcla… 70

Figura 10. Curva estándar de ácido gálico para la determinación del contenido de fenoles totales……. 71

Figura 11. Diagrama de contorno del contenido de compuestos fenólicos totales en función de la formulación de la mezcla……. 74

Figura 12. Superficie de respuesta del contenido de compuestos fenólicos totales en función de la formulación de la mezcla… 75

Figura 13. Diagrama de contorno de la optimización de la formulación de guayaba, nuez de marañón y chancaca……. 76

En el anexo:

Figura 1A. Recepción de materia prima……. 112

Figura 2A. Despulpado de guayaba…… 112

Figura 3A. Escaldado de nuez de marañón …….. 112

Figura 4A. Obtención de pulpas ……. 112

Figura 5A. Filtrado……. 113

Figura 6A. Adición de maltodextrina…… 113

Figura 7A. Solución homogenizada …… 113

Figura 8A. Parámetros en atomizador…… 113

Figura 9A. Atomizado…… 114

Figura 10A. Polvos atomizados……. 14

Figura 11A. Envasado……. 114

Figura 12A. Análisis de CFT…….. 114

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, el desarrollo de alimentos con propiedades funcionales ha adquirido creciente importancia en la industria alimentaria, debido al interés de los consumidores por incorporar en su alimentación productos que, además de proporcionar nutrientes esenciales, contengan compuestos bioactivos con potenciales beneficios para la salud. Entre estos compuestos destacan los polifenoles y otras sustancias con capacidad antioxidante, presentes principalmente en frutas, vegetales y productos de origen natural, cuyo aprovechamiento representa una oportunidad para la innovación y diversificación de la oferta agroindustrial (Granato et al., 2020).

El Perú, particularmente la región amazónica, posee una importante diversidad de recursos vegetales que presentan características nutricionales y funcionales de interés para la industria alimentaria. Entre ellos destacan la guayaba (*Psidium guajava* L.) y el marañón (*Anacardium occidentale* L.), especies tropicales que contienen nutrientes y diversos compuestos bioactivos relacionados con la actividad antioxidante. La guayaba constituye una fuente de vitamina C, compuestos fenólicos y flavonoides, mientras que la nuez de marañón aporta proteínas, lípidos insaturados, minerales y otros componentes de interés nutricional. Estas características convierten a ambas materias primas en alternativas potenciales para el desarrollo de nuevos productos alimentarios con valor agregado (Ávila et al., 2023; Causil, 2021).

Sin embargo, el aprovechamiento agroindustrial de estos recursos presenta limitaciones relacionadas con la diversificación de sus aplicaciones y la conservación de determinados compuestos bioactivos durante el procesamiento. Factores como la temperatura, la exposición al oxígeno, la luz y

la humedad pueden favorecer reacciones de degradación que modifican las características funcionales de los ingredientes. Por ello, resulta importante investigar tecnologías de procesamiento que permitan obtener productos deshidratados y facilitar su incorporación en nuevas formulaciones alimentarias.

En este contexto, la microencapsulación mediante secado por aspersión constituye una alternativa tecnológica utilizada para transformar soluciones, extractos y suspensiones alimentarias en productos en polvo. Esta técnica permite incorporar materiales encapsulantes, como la maltodextrina, que contribuyen a la formación de una matriz protectora alrededor de determinados componentes sensibles. Su aplicación en el procesamiento de materias primas vegetales representa una oportunidad para obtener ingredientes con características tecnológicas adecuadas y potencial para su utilización en el desarrollo de alimentos funcionales (Calderón-Oliver y Ponce-Alquicira, 2022).

Por otra parte, la formulación de productos alimentarios requiere establecer proporciones adecuadas de sus ingredientes para alcanzar características específicas de calidad. En este sentido, el diseño experimental de mezclas constituye una herramienta estadística que permite estudiar el efecto de las proporciones relativas de los componentes sobre una o varias respuestas, considerando que la suma de dichas proporciones permanece constante. Su aplicación facilita el desarrollo de modelos matemáticos y la identificación de formulaciones que favorezcan las propiedades de interés, contribuyendo a una optimización fundamentada en resultados experimentales (Granato et al., 2020).

Bajo estas consideraciones, la presente investigación tuvo como objetivo optimizar la capacidad antioxidante y el contenido de fenoles totales de una formulación a base de polvos microencapsulados de guayaba (*Psidium guajava*

L.) y nuez de marañón (*Anacardium occidentale* L.) con maltodextrina, mediante la aplicación de un diseño experimental de mezclas. Para ello, se emplearon tres componentes: polvo microencapsulado de guayaba, polvo microencapsulado de nuez de marañón y chancaca, cuyas proporciones fueron evaluadas mediante un diseño de mezclas tipo simplex-centroide ampliado con restricciones.

El desarrollo experimental comprendió el procesamiento de las materias primas, la obtención de los extractos, la microencapsulación mediante secado por aspersión y la formulación de las mezclas experimentales. Posteriormente, se determinó la capacidad antioxidante mediante los métodos ABTS y ORAC, mientras que el contenido de compuestos fenólicos totales se evaluó mediante el método de Folin-Ciocalteu. Los resultados fueron sometidos a análisis estadístico para evaluar el comportamiento de las variables de respuesta y establecer una formulación optimizada mediante la función de deseabilidad.

La investigación se desarrolló en dos etapas. La primera comprendió el procesamiento de las materias primas y la obtención de los polvos microencapsulados en las instalaciones de la Universidad Nacional de Ucayali, en la ciudad de Pucallpa. La segunda etapa correspondió a los análisis de compuestos bioactivos, realizados en el laboratorio de Control de Calidad del Instituto de Investigación y Tecnología Agroindustrial de la Universidad Nacional del Santa, ubicado en Nuevo Chimbote, región Áncash.

Finalmente, la importancia del estudio radicó en la generación de información científica y tecnológica sobre la influencia de las proporciones de los componentes de una mezcla alimentaria en su capacidad antioxidante y contenido de fenoles totales. Asimismo, los resultados constituyen una referencia para futuras investigaciones orientadas al desarrollo de bebidas

instantáneas y otros productos agroindustriales con potencial funcional, contribuyendo a promover el aprovechamiento y la diversificación de materias primas de interés regional.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción y fundamentación del problema

En la actualidad, la alimentación saludable constituye una preocupación creciente a nivel mundial, debido al incremento de enfermedades relacionadas con hábitos alimentarios inadecuados y al consumo de productos con bajo valor nutricional. Esta situación ha generado una mayor demanda de alimentos y bebidas que, además de satisfacer las necesidades nutricionales de los consumidores, proporcionen compuestos bioactivos con potenciales propiedades beneficiosas para la salud. En respuesta a esta tendencia, la industria alimentaria ha orientado sus esfuerzos hacia el desarrollo de productos funcionales elaborados a partir de ingredientes naturales, especialmente aquellos que presentan un elevado contenido de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante (Granato et al., 2020).

El Perú posee una amplia diversidad de recursos vegetales con características nutricionales y funcionales que representan una oportunidad para la innovación alimentaria. Particularmente, la Amazonía peruana alberga numerosas especies frutales que constituyen parte de la alimentación tradicional de sus poblaciones. Se estima que en esta región existen aproximadamente 162 especies de frutas utilizadas para el consumo humano, de las cuales alrededor de 100 se comercializan en mercados urbanos (MINAGRI, 2024). Sin embargo, pese a esta diversidad, una proporción importante de estos recursos continúa siendo

insuficientemente estudiada y aprovechada desde el punto de vista agroindustrial, lo que restringe su transformación en productos de mayor valor agregado y limita las oportunidades de diversificación de la oferta alimentaria.

Entre los recursos frutales con potencial de aprovechamiento agroindustrial destacan la guayaba (*Psidium guajava* L.) y el marañón (*Anacardium occidentale* L.), especies que contienen nutrientes y diversos compuestos bioactivos, entre ellos flavonoides, ácidos fenólicos y carotenoides, relacionados con la actividad antioxidante (Ávila-Palma et al., 2023; Causil, 2021). En regiones amazónicas como Ucayali, estos recursos representan una alternativa para el desarrollo de alimentos funcionales; no obstante, su aprovechamiento continúa orientado principalmente al consumo directo y a la elaboración de productos tradicionales. Esta situación evidencia la necesidad de promover alternativas tecnológicas que permitan diversificar su utilización, incrementar su valor agregado y aprovechar sus características nutricionales y funcionales.

A esta problemática se suma la susceptibilidad de determinados compuestos bioactivos frente a las condiciones de procesamiento y almacenamiento. Factores como la exposición al oxígeno, la luz, la temperatura y la humedad pueden favorecer su degradación, ocasionando modificaciones en las propiedades fisicoquímicas y funcionales de los productos elaborados. En consecuencia, la conservación de estos compuestos constituye un desafío tecnológico para la industria alimentaria, especialmente cuando se pretende desarrollar formulaciones

deshidratadas que mantengan características de calidad y estabilidad durante su almacenamiento.

De persistir el limitado aprovechamiento tecnológico de estos recursos, se restringirían las posibilidades de diversificación productiva, generación de valor agregado e incorporación de ingredientes naturales con potencial funcional en nuevos alimentos. Asimismo, la ausencia de investigaciones orientadas a establecer formulaciones adecuadas y evaluar sus propiedades limitaría la disponibilidad de información científica necesaria para desarrollar productos innovadores a partir de materias primas de interés regional. En este contexto, resulta fundamental investigar alternativas de transformación que permitan aprovechar los compuestos bioactivos presentes en la guayaba y el marañón, así como determinar las condiciones de formulación que favorezcan las características funcionales del producto final.

Frente a esta situación, la microencapsulación constituye una alternativa tecnológica de interés para la conservación de compuestos bioactivos, debido a que permite incorporar sustancias sensibles dentro de una matriz protectora y reducir su exposición a factores externos que pueden afectar su estabilidad. Entre los materiales utilizados como agentes encapsulantes destaca la maltodextrina, por sus propiedades tecnológicas y su aplicación en la obtención de ingredientes alimentarios en polvo. Su utilización puede contribuir a mejorar la estabilidad de determinados compuestos funcionales frente a condiciones ambientales adversas, como la exposición al oxígeno, la luz y la temperatura (Pudžiuvelytė et al., 2025).

Por otra parte, el diseño experimental de mezclas constituye una

herramienta estadística que permite evaluar el efecto de las proporciones relativas de diferentes ingredientes sobre las características de una formulación y establecer combinaciones que favorezcan las respuestas de interés (Granato et al., 2020). Su aplicación en el desarrollo de bebidas instantáneas representa una oportunidad para determinar proporciones adecuadas de ingredientes que contribuyan a obtener productos con características fisicoquímicas y funcionales deseables.

En este contexto, se plantea el desarrollo de una bebida instantánea formulada a partir de polvos microencapsulados de guayaba, nuez de marañón y chancaca, mediante la aplicación de un diseño de mezclas que permita evaluar la influencia de las proporciones de sus componentes sobre la capacidad antioxidante y el contenido de polifenoles. Esta investigación busca generar información científica sobre el comportamiento de dichos indicadores en las formulaciones estudiadas y contribuir al aprovechamiento agroindustrial de materias primas de interés regional, promoviendo la diversificación de productos alimentarios con potencial funcional.

1.2. Formulación del problema general y específicos

1.2.1. Problema general

- ¿En qué medida la aplicación de un diseño de mezclas permite optimizar la capacidad antioxidante y el contenido de fenoles totales en una formulación a base de polvos microencapsulados de guayaba (*Psidium guajava* L.) y nuez de marañón (*Anacardium occidentale* L.) con maltodextrina?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿En qué medida las proporciones de los componentes de la mezcla influyen en la capacidad antioxidante de una formulación a base de polvos microencapsulados de guayaba (*Psidium guajava* L.) y nuez de marañón (*Anacardium occidentale* L.) con maltodextrina?
- ¿En qué medida las proporciones de los componentes de la mezcla influyen en el contenido de fenoles totales de una formulación a base de polvos microencapsulados de guayaba (*Psidium guajava* L.) y nuez de marañón (*Anacardium occidentale* L.) con maltodextrina?

1.3. Objetivo general y objetivos específicos

1.3.1. Objetivo general

- Optimizar la capacidad antioxidante y el contenido de fenoles totales de una formulación a base de polvos microencapsulados de guayaba (*Psidium guajava* L.) y nuez de marañón (*Anacardium occidentale* L.) con maltodextrina, mediante la aplicación de un diseño de mezclas.

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar las proporciones óptimas de los componentes de la mezcla que permitan maximizar la capacidad antioxidante de la formulación a base de polvos microencapsulados de guayaba (*Psidium guajava* L.) y nuez de marañón (*Anacardium*

occidentale L.), mediante los métodos ABTS y ORAC.

- Determinar las proporciones óptimas de los componentes de la mezcla que permitan maximizar el contenido de fenoles totales de la formulación a base de polvos microencapsulados de guayaba (*Psidium guajava* L.) y nuez de marañón (*Anacardium occidentale* L.), mediante el método de Folin-Ciocalteu.

1.4. Hipótesis y/o sistema de hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

- Las proporciones de los componentes de la mezcla de polvos microencapsulados de guayaba (*Psidium guajava* L.), nuez de marañón (*Anacardium occidentale* L.) y chancaca influyen significativamente en la capacidad antioxidante y el contenido de fenoles totales de la formulación, permitiendo su optimización mediante un diseño de mezclas.

1.4.2. Hipótesis específicas

- Las proporciones de los componentes de la mezcla de polvos microencapsulados de guayaba (*Psidium guajava* L.), nuez de marañón (*Anacardium occidentale* L.) y chancaca influyen significativamente en la capacidad antioxidante de la formulación, evaluada mediante los métodos ABTS y ORAC.
- Las proporciones de los componentes de la mezcla de polvos microencapsulados de guayaba (*Psidium guajava* L.), nuez de marañón (*Anacardium occidentale* L.) y chancaca influyen

significativamente en el contenido de fenoles totales de la formulación, determinado mediante el método de Folin-Ciocalteu.

1.5. Operacionalización de las variables

La operacionalización de las variables se estableció considerando los objetivos de la investigación y los componentes empleados en la formulación de la bebida instantánea. La variable independiente estuvo constituida por las proporciones de polvo microencapsulado de guayaba, polvo microencapsulado de nuez de marañón y chancaca, mientras que las variables dependientes correspondieron a la capacidad antioxidante y al contenido de fenoles totales. Estas últimas se determinaron mediante métodos analíticos específicos, con la finalidad de evaluar el efecto de las diferentes formulaciones y establecer la combinación óptima de los componentes mediante un diseño experimental de mezclas.

Tabla 1

Operacionalización de las variables de investigación

Variable	Definición operacional	Indicadores	Unidad de medida	Escala
Independiente: Proporciones de los componentes de la mezcla	Porcentajes de los tres ingredientes utilizados en las formulaciones experimentales, cuya suma corresponde al 100 %.	Polvo microencapsulado de guayaba: 35–45 %	%	Cuantitativa continua, de razón
		Polvo microencapsulado de nuez de marañón: 5–15 %	%	Cuantitativa continua, de razón
		Chancaca: 45–55 %	%	Cuantitativa continua, de razón
Dependiente 1: Capacidad antioxidante	Capacidad antioxidante de las formulaciones experimentales, determinada mediante los ensayos ABTS y ORAC.	Capacidad antioxidante por el método ABTS	µmol TE/g	Cuantitativa continua, de razón
		Capacidad antioxidante por el método ORAC	µmol TE/g	Cuantitativa continua, de razón
Dependiente 2: Contenido de fenoles totales	Contenido de compuestos fenólicos totales presentes en las formulaciones, determinado mediante el método espectrofotométrico de Folin-Ciocalteu.	Concentración de compuestos fenólicos totales (CFT)	mg GAE/100 g	Cuantitativa continua, de razón

Nota. TE: equivalentes de Trolox; GAE: equivalentes de ácido gálico; ABTS: ensayo de decoloración del radical catión ABTS; ORAC: capacidad de absorción de radicales de oxígeno; CFT: compuestos fenólicos totales. Elaboración propia, con base en las variables y métodos empleados en la investigación.

1.6. Justificación e importancia

La presente investigación se justificó por la necesidad de promover el aprovechamiento agroindustrial de materias primas de interés regional, como la guayaba (*Psidium guajava* L.) y la nuez de marañón (*Anacardium occidentale* L.), las cuales presentan características nutricionales y compuestos bioactivos con potencial para el desarrollo de alimentos funcionales. A pesar de sus propiedades, el aprovechamiento de estos recursos en la elaboración de productos alimentarios innovadores continúa siendo limitado, lo que evidencia la importancia de desarrollar alternativas tecnológicas que permitan diversificar su utilización y generar productos con mayor valor agregado.

Desde el punto de vista científico, la investigación permitió generar información sobre la influencia de las proporciones de polvo microencapsulado de guayaba, polvo microencapsulado de nuez de marañón y chancaca en la capacidad antioxidante y el contenido de fenoles totales de una formulación alimentaria. Mediante la aplicación de un diseño experimental de mezclas y el empleo de métodos analíticos como ABTS, ORAC y Folin-Ciocalteu, se evaluó el comportamiento de los compuestos bioactivos en las diferentes formulaciones, contribuyendo al conocimiento de las propiedades funcionales de estas materias primas y proporcionando información para futuras investigaciones en el campo de la ingeniería agroindustrial.

En el aspecto tecnológico, el estudio se fundamentó en la aplicación de la microencapsulación mediante secado por aspersión, utilizando maltodextrina como agente encapsulante. Esta tecnología constituye una

alternativa para la obtención de ingredientes alimentarios en polvo y la protección de compuestos sensibles frente a determinados factores ambientales. Asimismo, la utilización del diseño de mezclas permitió evaluar las proporciones de los componentes y establecer una formulación optimizada en función de las respuestas experimentales, contribuyendo al desarrollo de productos alimentarios con características funcionales de interés.

Desde una perspectiva práctica, la investigación permitió desarrollar una formulación de bebida instantánea a partir de polvos microencapsulados de guayaba y nuez de marañón, complementados con chancaca. Esta alternativa representa una posibilidad de diversificación de productos agroindustriales, mediante la incorporación de ingredientes de origen vegetal que aportan compuestos fenólicos y capacidad antioxidante. Además, los resultados obtenidos constituyen una referencia técnica para futuras investigaciones orientadas al mejoramiento de formulaciones alimentarias y a la evaluación de otras características de calidad del producto.

En el ámbito económico y regional, el aprovechamiento de la guayaba y la nuez de marañón representa una oportunidad potencial para impulsar la transformación de materias primas disponibles en la región Ucayali y fomentar iniciativas de innovación agroindustrial. La generación de conocimientos sobre formulaciones optimizadas podría contribuir al desarrollo futuro de productos con valor agregado, promoviendo alternativas de aprovechamiento para productores y emprendimientos vinculados con la actividad agroalimentaria. No obstante, su viabilidad

comercial requerirá estudios complementarios relacionados con los costos de producción, la aceptación del consumidor y las condiciones de comercialización.

Desde el enfoque ambiental, la investigación adquiere relevancia por su contribución potencial al aprovechamiento de recursos vegetales de interés regional mediante procesos de transformación agroindustrial. El desarrollo de alternativas de procesamiento puede favorecer una utilización más diversificada de las materias primas; sin embargo, la determinación de sus beneficios ambientales requerirá evaluaciones específicas sobre el consumo de recursos, la generación de residuos y la eficiencia de los procesos productivos.

En consecuencia, la importancia de la presente investigación radicó en la integración de tecnologías de microencapsulación y herramientas estadísticas de optimización para el desarrollo de una formulación alimentaria a base de guayaba, nuez de marañón y chancaca. Los resultados obtenidos aportaron información científica y tecnológica sobre la capacidad antioxidante y el contenido de fenoles totales de las mezclas estudiadas, constituyendo una base para futuras investigaciones orientadas al aprovechamiento agroindustrial de materias primas de la Amazonía peruana y al desarrollo de alimentos con potencial funcional.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Antecedentes internacionales

Rivera et al. (2024), en su investigación titulada “Optimización de la extracción de compuestos polifenólicos totales y actividad antioxidante de *Hibiscus sabdariffa* L.”, tuvieron como objetivo optimizar las condiciones de extracción asistida por ultrasonido de compuestos polifenólicos en medio acuoso y evaluar su actividad antioxidante. Para ello, determinaron el contenido de polifenoles mediante el método de Folin-Ciocalteu y la actividad antioxidante mediante el ensayo FRAP. Se evaluó el efecto del tiempo y la temperatura de extracción utilizando un diseño central compuesto, cuyos resultados fueron ajustados a cuatro modelos matemáticos. Los modelos de segundo orden presentaron los mejores ajustes, con coeficientes de determinación (R^2) de 0,9929 para el contenido de polifenoles y 0,9568 para la actividad antioxidante. Mediante la metodología de superficie de respuesta, se establecieron como condiciones óptimas un tiempo de extracción de 29,74 minutos y una temperatura de 60 °C, obteniéndose valores de 4,04 g de equivalentes de ácido gálico por 100 g de materia seca y 8088,04 µg de equivalentes de Trolox por gramo de materia seca, respectivamente. Asimismo, se identificó una correlación positiva elevada entre ambas variables (r = 0,972). Los autores concluyeron que la optimización de las condiciones de extracción constituye una estrategia importante para maximizar la

recuperación de compuestos bioactivos y su actividad antioxidante. Este antecedente aporta fundamentos metodológicos para la aplicación de herramientas estadísticas de optimización y la evaluación de compuestos fenólicos en matrices vegetales.

Mora et al. (2023), en su investigación titulada “Extracción, optimización y capacidad antioxidante de extractos de frutos silvestres de palmas (*Euterpe oleracea*, *Oenocarpus bataua* y *Oenocarpus mapora*) del Pacífico colombiano”, tuvieron como objetivo determinar el contenido de compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante de tres especies de palmas silvestres. Para ello, utilizaron las partes comestibles de frutos maduros, sometiéndolas a extracción asistida por ultrasonido mediante mezclas hidroalcohólicas con diferentes concentraciones de ácido acético. La optimización del proceso se realizó mediante un diseño central compuesto, estableciéndose como condiciones óptimas una concentración de etanol del 65% (v/v) y una concentración de ácido acético del 0,5% (v/v). Posteriormente, los extractos fueron sometidos a procesos de purificación mediante cromatografía de columna. Los resultados evidenciaron que el extracto crudo y la fracción enriquecida de *Oenocarpus mapora* presentaron los mayores contenidos de compuestos fenólicos, con valores de 137,5 y 224 g EAG/g ES, respectivamente; asimismo, registraron contenidos de antocianinas totales de 1,7 y 3,5 mg EC3G/g ES y una capacidad antioxidante mediante el método DPPH de 538 y 1879 µmol ET/g ES, respectivamente. Estos valores fueron superiores a los obtenidos en los extractos de las otras especies evaluadas. Los autores evidenciaron que las condiciones de extracción y las características de las materias

primas influyen en la recuperación de compuestos bioactivos. Este antecedente resulta relevante porque demuestra la utilidad de los diseños experimentales para optimizar procesos relacionados con la obtención y evaluación de compuestos fenólicos y antioxidantes presentes en recursos vegetales tropicales.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Terrones et al. (2022), en su investigación titulada “Diseño y optimización de una mezcla de compota elaborada a partir de pulpa de guayaba, chalarina y oca”, tuvieron como objetivo diseñar y optimizar una formulación de compota mediante la combinación de pulpas de guayaba, chalarina y oca. Para ello, utilizaron materias primas recién cosechadas, de las cuales obtuvieron las pulpas mediante operaciones de selección, acondicionamiento y eliminación de cáscaras, semillas y materiales extraños. Posteriormente, las pulpas fueron sometidas a un proceso de escaldado a 90 °C durante cinco minutos y combinadas en diferentes proporciones mediante un diseño de mezclas simplex-centroide. Las variables de respuesta consideradas fueron la aceptabilidad sensorial y la diferencia de color (ΔE). Los resultados evidenciaron que las formulaciones con mayores proporciones de guayaba y chalarina, y menores cantidades de oca, presentaron mayor aceptabilidad. La combinación de 66,66 % de guayaba, 16,66% de chalarina y 16,66% de oca registró la mayor aceptación por parte de los panelistas. Asimismo, los modelos cuadráticos mostraron un mejor ajuste para las variables evaluadas, con coeficientes de determinación ajustados superiores a 0,70. Mediante el proceso de

optimización, se identificó como formulación óptima una mezcla constituida por 75% de pulpa de guayaba y 25% de pulpa de oca. Los autores concluyeron que el diseño de mezclas constituye una herramienta adecuada para determinar proporciones de ingredientes que favorezcan las características de calidad de productos alimentarios. Este antecedente resulta relevante para la presente investigación, debido a que demuestra la aplicación del diseño simplex-centroide en la optimización de formulaciones que incorporan guayaba como materia prima.

Por su parte, Bustamante et al. (2025) desarrollaron una investigación orientada a la obtención de microcápsulas sensibles al pH a partir de antioxidantes naturales extraídos de la mazorca de maíz morado peruano (*Zea mays* L.), mediante la aplicación de la tecnología de secado por aspersión. Para la formación de las microcápsulas, utilizaron maltodextrina, goma arábiga y aislado de proteína de soya como materiales encapsulantes, cuyas proporciones fueron optimizadas mediante un diseño experimental de mezclas simplex-centroide. Se evaluaron la eficiencia de microencapsulación, el contenido de polifenoles totales, las antocianinas y las características estructurales y morfológicas de las partículas obtenidas. Los resultados evidenciaron eficiencias de microencapsulación comprendidas entre 95% y 98%, así como contenidos de polifenoles totales y antocianinas entre 2 y 3 mg/g. Asimismo, las microcápsulas presentaron una elevada estabilidad de color frente a diferentes condiciones de pH. Los análisis estructurales y morfológicos permitieron identificar interacciones entre los compuestos antioxidantes y los materiales de pared, evidenciando la formación de estructuras

encapsuladas estables. Los autores concluyeron que la microencapsulación mediante secado por aspersión constituye una alternativa tecnológica para proteger compuestos antioxidantes naturales y favorecer su aplicación en productos alimentarios. Este estudio guarda relación con la presente investigación, debido al empleo de maltodextrina como agente encapsulante, la aplicación del diseño de mezclas y la evaluación de compuestos fenólicos en ingredientes obtenidos mediante microencapsulación.

2.1.3. Antecedentes Locales

Díaz (2024), en su investigación titulada “Evaluación de propiedades funcionales a la pulpa microencapsulada de nuez de casho (*Anacardium occidentale* L.) secado a diferentes temperaturas de atomización y encapsulante en Ucayali”, tuvo como objetivo evaluar las propiedades funcionales de la pulpa microencapsulada de nuez de casho sometida a diferentes temperaturas de atomización y concentraciones de maltodextrina. La investigación se desarrolló en el Laboratorio de Tecnología e Industrias Lácteas de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional de Ucayali. Se evaluaron dos factores experimentales: temperatura de atomización, con niveles de 150, 160 y 170 °C, y concentración de maltodextrina, con niveles de 5 %, 8% y 10%. Las variables de respuesta fueron el índice de solubilidad en agua (ISA), el índice de absorción de agua (IAA) y el poder de hinchamiento (PH). Los resultados evidenciaron que el incremento de la temperatura de atomización y de la concentración de maltodextrina favoreció las

propiedades funcionales del producto microencapsulado. Los mayores valores del índice de solubilidad se obtuvieron a 170 °C y 10% de maltodextrina (85,04%), seguidos de 160 °C y 10% (83,15%) y 150 °C y 10% (82,12%). Asimismo, el índice de absorción de agua alcanzó valores de 0,44, 0,31 y 0,30 g, respectivamente, mientras que el poder de hinchamiento registró valores de 2,94, 1,82 y 1,69 g en las mismas condiciones experimentales. La autora concluyó que la temperatura de atomización y la concentración de maltodextrina influyeron significativamente en las propiedades funcionales de la pulpa microencapsulada de nuez de casho. Este antecedente resulta relevante para la presente investigación, debido a que proporciona información sobre la aplicación del secado por aspersión y el uso de maltodextrina como agente encapsulante en el procesamiento de una de las materias primas estudiadas.

Neire (2024), en su investigación titulada “Determinación fisicoquímica, contenido de antocianinas y carotenoides totales en una bebida instantánea de pulpa microencapsulada de guayaba (*Psidium guajava* L.) y nuez de marañón (*Anacardium occidentale* L.), Pucallpa-2022”, tuvo como objetivo determinar las características fisicoquímicas y el contenido de antocianinas y carotenoides totales de una bebida instantánea elaborada a partir de pulpa microencapsulada de guayaba y nuez de marañón, utilizando chancaca como ingrediente complementario. La investigación se desarrolló en el Laboratorio de Tecnología e Industrias Lácteas de la Universidad Nacional de Ucayali. Se establecieron tres tratamientos experimentales: T1, constituido por 35 % de guayaba, 15 %

de nuez de marañón y 50% de chancaca; T2, conformado por 40 % de guayaba, 10 % de nuez de marañón y 50 % de chancaca; y T3, integrado por 45% de guayaba, 5% de nuez de marañón y 50 % de chancaca. Se empleó un diseño completamente al azar (DCA), con tres tratamientos y cuatro repeticiones. Los resultados fueron procesados mediante el programa estadístico Minitab, aplicándose la prueba de Tukey con un nivel de significancia del 5% cuando se identificaron diferencias estadísticas. Los resultados mostraron que el tratamiento T1 presentó un contenido de proteínas de 2,97%, carbohidratos de 86,97%, pH de 5,15 y acidez de 0,45%. Por su parte, el tratamiento T2 registró un contenido de humedad de 5,85%, mientras que el tratamiento T3 presentó valores de cenizas de 0,99%, grasa de 2,55%, antocianinas de 0,84 g/100 g y carotenoides totales de 21,20 µg/g. La autora evidenció que las proporciones de los ingredientes influyeron en las características fisicoquímicas y en el contenido de determinados compuestos bioactivos de la bebida instantánea. Este antecedente guarda una relación directa con la presente investigación, debido a que emplea las mismas materias primas y formulaciones alimentarias similares; sin embargo, se diferencia por las variables de respuesta evaluadas, ya que el presente estudio se orientó a la optimización de la capacidad antioxidante y el contenido de fenoles totales mediante un diseño experimental de mezclas.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Alimentos funcionales y compuestos bioactivos

En las últimas décadas, el interés por una alimentación saludable ha impulsado el desarrollo de productos alimentarios que, además de satisfacer las necesidades nutricionales básicas, incorporen componentes con potenciales efectos beneficiosos sobre determinadas funciones fisiológicas. En este contexto, los alimentos funcionales han adquirido relevancia en la investigación científica y en la industria agroalimentaria, debido a las posibilidades que ofrecen para diversificar la alimentación y desarrollar productos con características diferenciadas. Granato et al. (2020) señalan que el desarrollo de estos alimentos requiere considerar no solo su composición, sino también la eficacia de sus componentes, la seguridad del producto y la evidencia científica que respalde sus propiedades.

Los alimentos funcionales pueden definirse como aquellos que contienen componentes capaces de ejercer efectos fisiológicos favorables cuando se consumen como parte de una alimentación habitual y en cantidades apropiadas. Entre sus principales componentes de interés se encuentran los compuestos fenólicos, carotenoides, vitaminas, ácidos grasos insaturados, fibra dietética y otros constituyentes presentes de manera natural en diversas materias primas alimentarias. No obstante, la presencia de estas sustancias no garantiza por sí sola que un producto produzca beneficios específicos para la salud, debido a que dichos efectos dependen de factores como su concentración, biodisponibilidad, metabolismo y condiciones de consumo (Granato et al., 2020).

Por su parte, los compuestos bioactivos son sustancias presentes en los alimentos que pueden participar en diferentes procesos biológicos y ejercer determinadas actividades fisiológicas. En las materias primas vegetales, estos compuestos comprenden diversos grupos de metabolitos, entre los que destacan los polifenoles, flavonoides, carotenoides y otras sustancias de interés funcional. Algunos de ellos presentan actividad antioxidante, asociada con su capacidad para intervenir en reacciones de oxidación mediante mecanismos como la transferencia de electrones, la donación de átomos de hidrógeno o la interacción con especies reactivas. Estas propiedades han motivado su estudio como ingredientes potenciales para el desarrollo de productos alimentarios innovadores (Elhassaneen et al., 2025; Contreras et al., 2025).

Las frutas tropicales constituyen fuentes naturales de diferentes compuestos bioactivos, cuya composición varía según la especie, variedad, estado de madurez, condiciones de cultivo y métodos de procesamiento. Entre estas materias primas destaca la guayaba (*Psidium guajava* L.), reconocida por su contenido de vitamina C, carotenoides y compuestos fenólicos. Asimismo, la nuez de marañón (*Anacardium occidentale* L.) contiene nutrientes y componentes de interés para la formulación de alimentos, entre ellos lípidos insaturados y determinadas sustancias con actividad antioxidante. Estas características permiten considerar ambas materias primas como ingredientes potenciales para el desarrollo de formulaciones agroindustriales con valor agregado.

Sin embargo, el contenido y la actividad de los compuestos bioactivos pueden modificarse durante las operaciones de transformación

alimentaria. Factores como la temperatura, el oxígeno, la humedad y las condiciones de almacenamiento pueden favorecer cambios físicos y químicos que afectan su conservación. Por esta razón, la selección de tecnologías de procesamiento constituye un aspecto importante en el desarrollo de ingredientes alimentarios que contienen sustancias sensibles. Entre las alternativas tecnológicas disponibles se encuentra la microencapsulación, que permite incorporar determinados compuestos en una matriz formada por materiales encapsulantes, con la finalidad de facilitar su procesamiento y favorecer su protección frente a condiciones específicas.

En la industria agroalimentaria, el aprovechamiento de compuestos bioactivos también requiere considerar la formulación del producto, debido a que las proporciones de sus ingredientes pueden modificar las características fisicoquímicas y las respuestas analíticas de la mezcla final. En este sentido, las herramientas estadísticas de optimización permiten evaluar el comportamiento de diferentes combinaciones de ingredientes y establecer formulaciones que favorezcan las propiedades de interés. La integración de materias primas vegetales, tecnologías de procesamiento y métodos de optimización representa una alternativa para desarrollar productos alimentarios con características funcionales potenciales.

En relación con la presente investigación, el estudio de los alimentos funcionales y los compuestos bioactivos proporciona el fundamento teórico para evaluar formulaciones elaboradas a partir de polvos microencapsulados de guayaba y nuez de marañón, complementados con chancaca. La determinación de la capacidad antioxidante mediante los

métodos ABTS y ORAC, así como la cuantificación del contenido de fenoles totales mediante Folin-Ciocalteu, permitió caracterizar las respuestas de las mezclas experimentales y establecer una formulación optimizada. Por consiguiente, esta investigación aporta información sobre el potencial de estas materias primas para el desarrollo de productos agroindustriales, sin que los resultados de los ensayos químicos impliquen, por sí mismos, la demostración de beneficios fisiológicos en consumidores.

2.2.2. Compuestos fenólicos y capacidad antioxidante

Los compuestos fenólicos constituyen un grupo diverso de metabolitos secundarios presentes en los vegetales, caracterizados por poseer uno o más anillos aromáticos unidos a grupos hidroxilo. Estas sustancias desempeñan funciones importantes en las plantas, relacionadas con la pigmentación, la defensa frente a factores ambientales y la protección ante determinados agentes externos. Desde el punto de vista alimentario, han adquirido relevancia debido a sus propiedades químicas y a su participación en las características sensoriales y funcionales de diferentes materias primas vegetales (Shahidi y Ambigaipalan, 2015).

Los compuestos fenólicos se clasifican principalmente en ácidos fenólicos, flavonoides, taninos, estilbenos y lignanos, entre otros grupos. Los ácidos fenólicos comprenden derivados del ácido benzoico y del ácido cinámico, mientras que los flavonoides incluyen subgrupos como flavonoles, flavonas, flavanonas, antocianinas y flavanoles. La composición y concentración de estos compuestos varían según la especie

vegetal, las condiciones de cultivo, el grado de madurez y los tratamientos tecnológicos aplicados durante el procesamiento de los alimentos.

Una de las principales propiedades de determinados compuestos fenólicos es su capacidad para participar en reacciones de oxidación-reducción, mediante la transferencia de electrones o la donación de átomos de hidrógeno. Estas características permiten que algunas moléculas fenólicas reaccionen con especies radicalarias y contribuyan a interrumpir determinadas reacciones oxidativas. Sin embargo, su comportamiento antioxidante depende de la estructura molecular, el número y la posición de los grupos hidroxilo, las condiciones del medio y las interacciones con otros componentes presentes en la matriz alimentaria (Prior et al., 2005).

La capacidad antioxidante se define como la aptitud de una sustancia o conjunto de sustancias para reaccionar con especies oxidantes o retardar determinados procesos de oxidación bajo condiciones experimentales específicas. En los alimentos, esta propiedad puede estar relacionada con la presencia de compuestos fenólicos, vitaminas, carotenoides y otros componentes capaces de intervenir en reacciones de oxidación-reducción. Por ello, la capacidad antioxidante de una matriz alimentaria no depende exclusivamente de su contenido de fenoles totales, sino también de la naturaleza química de sus constituyentes y de las posibles interacciones entre ellos.

La evaluación de la capacidad antioxidante puede realizarse mediante diferentes métodos analíticos, los cuales se fundamentan en mecanismos de reacción específicos. Entre los principales se encuentran los ensayos basados en la transferencia de electrones y aquellos

relacionados con la transferencia de átomos de hidrógeno. Debido a que estos métodos responden de manera diferente frente a los componentes de una muestra, sus resultados no siempre presentan una correspondencia directa. En consecuencia, la utilización de procedimientos complementarios permite obtener una caracterización más amplia del comportamiento antioxidante de los ingredientes alimentarios (Prior et al., 2005).

Determinación de la capacidad antioxidante mediante el método ABTS. El método ABTS se fundamenta en la capacidad de determinados compuestos antioxidantes para reducir el radical catión ABTS•+, generado a partir del ácido 2,2'-azinobis(3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico). Este radical presenta una coloración característica que disminuye cuando reacciona con sustancias capaces de transferir electrones o átomos de hidrógeno. La reducción de la intensidad del color se determina mediante espectrofotometría y permite estimar la capacidad antioxidante de la muestra en comparación con un compuesto de referencia, generalmente Trolox. Los resultados suelen expresarse en micromoles equivalentes de Trolox por unidad de masa de muestra (µmol ET/g). Este método es ampliamente utilizado en el análisis de alimentos debido a su aplicación en diferentes matrices y a su relativa simplicidad experimental.

Determinación de la capacidad antioxidante mediante el método ORAC. El método ORAC (*Oxygen Radical Absorbance Capacity*) permite evaluar la capacidad de una muestra para inhibir la oxidación de una sonda fluorescente provocada por radicales peroxilo. Estos radicales

se generan generalmente mediante la descomposición térmica de un compuesto iniciador, mientras que la disminución de la fluorescencia se registra durante un periodo determinado. La capacidad antioxidante se calcula considerando el área bajo la curva de fluorescencia y su comparación con una curva de calibración elaborada con Trolox. A diferencia del método ABTS, el ensayo ORAC se fundamenta principalmente en mecanismos de transferencia de átomos de hidrógeno y considera el comportamiento de la reacción a lo largo del tiempo (Prior et al., 2005).

Determinación de fenoles totales mediante el método de Folin-Ciocalteu. El método de Folin-Ciocalteu constituye uno de los procedimientos espectrofotométricos más utilizados para estimar el contenido de compuestos fenólicos totales en alimentos y extractos vegetales. Su fundamento consiste en la reacción de sustancias con capacidad reductora presentes en la muestra con los componentes del reactivo de Folin-Ciocalteu, produciendo una coloración azul cuya intensidad se determina mediante espectrofotometría. La cuantificación se realiza mediante una curva de calibración, generalmente elaborada con ácido gálico, y los resultados se expresan como miligramos equivalentes de ácido gálico por unidad de masa de muestra (mg EAG/100 g). No obstante, este método no es completamente específico para compuestos fenólicos, debido a que otras sustancias reductoras pueden contribuir a la respuesta analítica. Por consiguiente, sus resultados deben interpretarse como una estimación del contenido fenólico total bajo las condiciones del ensayo (Singleton et al. 1999; Prior et al. 2005).

En los procesos agroindustriales, la capacidad antioxidante y el contenido de fenoles totales pueden modificarse como consecuencia de operaciones como la extracción, concentración, deshidratación y microencapsulación. La magnitud de estas modificaciones depende de las características de las materias primas, las condiciones de procesamiento y las propiedades de los compuestos presentes. Asimismo, cuando se combinan diferentes ingredientes, la respuesta antioxidante de la mezcla puede variar en función de sus proporciones y de las interacciones entre los constituyentes de cada componente.

En la presente investigación, la evaluación de la capacidad antioxidante mediante los métodos ABTS y ORAC, conjuntamente con la determinación de fenoles totales mediante Folin-Ciocalteu, constituyó la base analítica para estudiar el comportamiento de las formulaciones elaboradas con polvo microencapsulado de guayaba, polvo microencapsulado de nuez de marañón y chancaca. Estas determinaciones permitieron evaluar las respuestas experimentales frente a las diferentes proporciones de los componentes y establecer una formulación optimizada mediante el diseño de mezclas. De esta manera, los compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante constituyeron indicadores fundamentales para caracterizar el potencial funcional de las formulaciones estudiadas.

2.2.3. Guayaba (*Psidium guajava* L.)

La guayaba (*Psidium guajava* L.) es una especie frutal tropical perteneciente a la familia Myrtaceae, ampliamente distribuida en regiones

tropicales y subtropicales. Se caracteriza por su adaptación a diferentes condiciones agroclimáticas y por producir frutos de interés alimentario, apreciados por sus características organolépticas, composición nutricional y contenido de compuestos bioactivos. Su aprovechamiento constituye una alternativa para el desarrollo de productos agroindustriales con valor agregado, particularmente en regiones donde existen condiciones favorables para su cultivo (Ávila et al., 2023).

Desde el punto de vista botánico, la guayaba es un árbol o arbusto perenne que presenta hojas simples, opuestas y de forma elíptica, así como flores generalmente blancas. Su fruto es una baya de forma redondeada, ovalada o piriforme, cuya coloración externa varía entre verde y amarillo durante la maduración. La pulpa puede presentar tonalidades blancas, amarillas o rosadas, dependiendo de la variedad, y contiene numerosas semillas. Estas características influyen en su aceptación comercial y en las posibilidades de transformación industrial.

Figura 1

Fruto de Psidium guajava L.



En relación con su composición nutricional, la guayaba destaca por su contenido de vitamina C, fibra dietética, potasio y otros micronutrientes. Asimismo, contiene compuestos fenólicos, flavonoides y carotenoides,

cuya concentración depende de factores como la variedad, el estado de madurez, las condiciones de cultivo y los procedimientos empleados durante su procesamiento. La presencia de estos constituyentes ha despertado interés científico por su posible aplicación en el desarrollo de ingredientes alimentarios con características funcionales.

Los compuestos fenólicos presentes en la guayaba comprenden diferentes sustancias con capacidad para participar en reacciones de oxidación-reducción. Por su parte, los carotenoides contribuyen a la coloración de determinadas variedades y presentan propiedades químicas relacionadas con la actividad antioxidante. No obstante, la concentración y el comportamiento de estos componentes pueden modificarse durante las operaciones de extracción, calentamiento y deshidratación, por lo que resulta importante seleccionar condiciones tecnológicas apropiadas para su procesamiento (Ashwaq y Enas, 2024).

En el ámbito agroindustrial, la guayaba se utiliza para la elaboración de jugos, néctares, pulpas, mermeladas, concentrados y productos deshidratados. Su transformación en polvo representa una alternativa para diversificar sus aplicaciones, facilitar su dosificación e incorporarla en formulaciones alimentarias. En este contexto, la microencapsulación mediante secado por aspersión constituye una tecnología de interés para obtener ingredientes en polvo a partir de extractos vegetales.

En la región Ucayali, las condiciones tropicales permiten considerar la guayaba como una materia prima de interés para la investigación agroindustrial. Su aprovechamiento en nuevas formulaciones puede contribuir a diversificar las alternativas de transformación de recursos

frutales regionales y promover el desarrollo de productos con valor agregado.

En la presente investigación, la guayaba constituyó uno de los componentes de la formulación experimental. Su incorporación en forma de polvo microencapsulado permitió evaluar la influencia de sus proporciones sobre la capacidad antioxidante y el contenido de fenoles totales de las mezclas, mediante la aplicación de un diseño experimental de mezclas.

2.2.4. Marañón o casho (*Anacardium occidentale* L.)

El marañón (*Anacardium occidentale* L.), conocido también como casho o anacardo, es una especie tropical perteneciente a la familia Anacardiaceae, originaria de América tropical y cultivada en diferentes regiones del mundo. Presenta importancia alimentaria y agroindustrial debido al aprovechamiento de sus distintas estructuras, particularmente la nuez y el pedúnculo carnoso, denominado comúnmente pseudofruto (Causil, 2021).

Botánicamente, el marañón es un árbol perenne que produce un fruto verdadero de tipo nuez, asociado a un pedúnculo engrosado y carnoso que puede presentar tonalidades amarillas, anaranjadas o rojizas. Aunque este pedúnculo suele denominarse fruto de marañón en el uso común, corresponde a una estructura accesoria, mientras que la nuez constituye el fruto verdadero. Esta diferenciación resulta importante para describir adecuadamente la materia prima utilizada en investigaciones agroindustriales.

Figura 2

Fruto y pseudofruto de Anacardium occidentale L.



La nuez de marañón presenta una composición nutricional caracterizada por su contenido de lípidos, principalmente ácidos grasos insaturados, proteínas, carbohidratos, vitaminas y minerales. Estas propiedades favorecen su utilización como ingrediente en diferentes productos alimentarios. Asimismo, el marañón contiene compuestos de interés biológico, entre ellos sustancias fenólicas y otros constituyentes cuya presencia y concentración varían según la estructura vegetal analizada, la variedad y las condiciones de procesamiento (Causil, 2021).

Diversas investigaciones han señalado el interés de esta especie por sus compuestos bioactivos y por las propiedades antioxidantes observadas en determinados extractos y fracciones vegetales. Entre los

constituyentes estudiados se encuentran flavonoides, ácidos fenólicos, carotenoides y fitoesteroles. Sin embargo, es necesario distinguir entre las propiedades atribuidas al pseudofruto, la nuez y otras partes de la planta, debido a que presentan composiciones químicas diferentes (Orduz y Rodríguez, 2022).

Desde el punto de vista tecnológico, el marañón ofrece posibilidades de transformación en diversos productos alimentarios, como bebidas, pastas, harinas e ingredientes deshidratados. La selección de las operaciones de procesamiento depende de las características de la materia prima y de las propiedades que se buscan conservar o desarrollar en el producto final.

En la Amazonía peruana, particularmente en Ucayali, el marañón representa una especie de interés para la diversificación agroindustrial. El estudio de sus propiedades y de sus posibilidades de transformación permite generar información que puede servir de base para futuras iniciativas de aprovechamiento regional.

En relación con la presente investigación, la nuez de marañón constituyó uno de los componentes de la formulación alimentaria, incorporándose como polvo microencapsulado. La evaluación de diferentes proporciones permitió analizar su contribución a las respuestas experimentales de capacidad antioxidante y contenido de fenoles totales, conjuntamente con el polvo microencapsulado de guayaba y la chancaca.

2.2.5. Microencapsulación de compuestos bioactivos

La microencapsulación es una tecnología empleada en la industria

alimentaria que consiste en incorporar sustancias activas dentro de una matriz o estructura formada por uno o varios materiales encapsulantes. Su finalidad es modificar las condiciones de exposición de los componentes encapsulados frente a determinados factores ambientales y facilitar su incorporación en productos alimentarios. Esta técnica se aplica especialmente en el procesamiento de sustancias sensibles, como pigmentos naturales, vitaminas, aceites esenciales, aromas y compuestos fenólicos (Calderón y Ponce, 2022).

El proceso de microencapsulación comprende dos elementos fundamentales: el material de núcleo y el material de pared. El primero corresponde a la sustancia o conjunto de sustancias que se pretende incorporar en la estructura encapsulada, mientras que el segundo constituye la matriz que rodea o contiene al material activo. La selección del agente encapsulante depende de sus propiedades fisicoquímicas, compatibilidad con el núcleo, comportamiento durante el procesamiento y características requeridas en el producto final.

Entre las principales finalidades de la microencapsulación se encuentran reducir el contacto directo de determinados compuestos con factores externos, facilitar el manejo de ingredientes sensibles, modificar sus propiedades tecnológicas y favorecer su incorporación en diferentes matrices alimentarias. Sin embargo, la eficiencia de protección depende de las características del compuesto activo, el material de pared, el método empleado y las condiciones de procesamiento y almacenamiento.

Existen diferentes técnicas de microencapsulación, entre las que destacan el secado por aspersión, la coacervación, la gelificación, la

emulsificación y determinados procedimientos de encapsulación mediante secado por congelación. Cada técnica presenta características particulares relacionadas con el tamaño y la estructura de las partículas, la eficiencia del proceso, los materiales utilizados y las propiedades del producto obtenido.

En la industria alimentaria, el secado por aspersión constituye una de las alternativas más utilizadas para la obtención de ingredientes microencapsulados en polvo, debido a su aplicación en procesos continuos y a su capacidad para transformar alimentaciones líquidas en partículas secas. Esta técnica puede emplearse con materiales de pared como maltodextrina, goma arábiga y proteínas, dependiendo de las características del sistema alimentario (Bińkowska et al., 2024).

La microencapsulación de extractos vegetales ha adquirido interés por su potencial para facilitar el aprovechamiento de compuestos bioactivos en diferentes formulaciones. No obstante, la presencia de una matriz encapsulante no garantiza por sí misma la conservación de todos los componentes, por lo que resulta necesario evaluar experimentalmente las propiedades del producto obtenido.

En la presente investigación, la microencapsulación se utilizó como una operación tecnológica para obtener polvos a partir de las materias primas estudiadas, empleando maltodextrina como agente encapsulante. Posteriormente, estos ingredientes fueron utilizados en las formulaciones experimentales destinadas a evaluar la capacidad antioxidante y el contenido de fenoles totales.

2.2.6. Maltodextrina como agente encapsulante

La maltodextrina es un carbohidrato obtenido mediante la hidrólisis parcial del almidón procedente de diferentes fuentes vegetales, como maíz, papa, arroz y yuca. Está constituida principalmente por unidades de glucosa enlazadas en cadenas de distinta longitud y se caracteriza por presentar propiedades tecnológicas que favorecen su utilización en la industria alimentaria, particularmente en la elaboración de productos deshidratados y microencapsulados.

Una de las características utilizadas para describir las maltodextrinas es el equivalente de dextrosa (DE), que expresa el grado de hidrólisis del almidón y se relaciona con propiedades como el peso molecular promedio, la solubilidad, la viscosidad y el comportamiento higroscópico. Las características tecnológicas de una maltodextrina pueden variar según su origen y grado de hidrólisis, por lo que la selección del material debe considerar las necesidades del proceso y las propiedades del producto que se desea obtener.

La maltodextrina presenta ventajas tecnológicas como su solubilidad en agua, disponibilidad comercial, costo relativamente accesible y capacidad para formar matrices sólidas durante los procesos de deshidratación. Estas características favorecen su utilización como material de pared en la microencapsulación de sustancias sensibles presentes en extractos vegetales (Chérrez et al., 2025).

Durante el secado por aspersión, la maltodextrina participa en la formación de una matriz alrededor de los componentes de la alimentación líquida, lo que puede modificar las propiedades físicas del polvo obtenido.

Dependiendo de la formulación y las condiciones de operación, su incorporación puede influir en características como humedad, solubilidad, higroscopicidad, fluidez y comportamiento durante el almacenamiento.

Asimismo, el uso de maltodextrina puede contribuir a disminuir determinados problemas tecnológicos asociados con el secado de extractos ricos en azúcares y ácidos orgánicos. No obstante, su incorporación también puede producir un efecto de dilución sobre la concentración de compuestos bioactivos expresada por unidad de masa del producto final, aspecto que debe considerarse al interpretar los resultados analíticos.

Ramos (2024) señala la importancia de la maltodextrina en procesos de microencapsulación de componentes alimentarios, debido a su aplicación como agente de pared y a su influencia sobre las características del producto deshidratado.

En la presente investigación, la maltodextrina fue utilizada como material encapsulante durante la obtención de los polvos de guayaba y nuez de marañón. Es importante precisar que su función correspondió a la etapa de procesamiento de las materias primas y no a un componente independiente del diseño de mezclas, cuyos factores estuvieron constituidos por las proporciones de los polvos microencapsulados y la chancaca.

2.2.7. Secado por aspersión (*spray drying*)

El secado por aspersión es una operación unitaria utilizada en la industria alimentaria para transformar soluciones, emulsiones y

suspensiones líquidas en productos en polvo mediante la atomización del material y su contacto con una corriente de aire caliente. Se caracteriza por la rápida evaporación del agua contenida en pequeñas gotas, lo que permite obtener partículas secas que posteriormente son separadas del aire de proceso (Zambrano et al., 2024).

El proceso comprende, de manera general, la preparación de la alimentación líquida, su atomización, el contacto de las gotas con el aire de secado, la evaporación del agua y la recuperación del producto. La alimentación debe presentar características adecuadas de viscosidad, homogeneidad y concentración de sólidos para facilitar su paso por el sistema de atomización.

Durante la atomización, el líquido se divide en gotas pequeñas mediante dispositivos como boquillas o atomizadores rotatorios. El tamaño de estas gotas influye en la velocidad de evaporación y en las características físicas de las partículas obtenidas. Posteriormente, el contacto con el aire caliente favorece la transferencia simultánea de calor y masa, provocando la eliminación de humedad y la formación del polvo.

Entre las variables operativas más importantes se encuentran la temperatura de entrada del aire, la temperatura de salida, el caudal de alimentación, la concentración de sólidos y las características del atomizador. Estas condiciones influyen en el rendimiento del proceso y en propiedades del producto como humedad residual, tamaño de partícula, solubilidad y comportamiento higroscópico.

El secado por aspersión presenta ventajas relacionadas con su rapidez, posibilidad de operación continua y capacidad para producir

ingredientes alimentarios en polvo. Asimismo, permite incorporar agentes encapsulantes que favorecen la formación de matrices sólidas alrededor de determinados componentes de interés. Sin embargo, el empleo de temperaturas elevadas puede ocasionar modificaciones en sustancias termosensibles, dependiendo del tiempo de exposición y de las condiciones específicas del proceso (Bińkowska et al., 2024).

En el procesamiento de frutas y extractos vegetales, el secado por aspersión constituye una alternativa para obtener ingredientes deshidratados destinados a la elaboración de bebidas instantáneas y otras formulaciones alimentarias. Su aplicación requiere seleccionar adecuadamente los materiales encapsulantes y las condiciones operativas para alcanzar las características tecnológicas deseadas.

En la presente investigación, esta técnica se empleó para obtener los polvos microencapsulados de guayaba y nuez de marañón con maltodextrina. Dichos polvos constituyeron posteriormente dos de los componentes del diseño experimental de mezclas, cuya optimización se realizó en función de la capacidad antioxidante y el contenido de fenoles totales.

2.2.8. Diseño de mezclas en la optimización de alimentos

El diseño experimental de mezclas constituye una herramienta estadística utilizada para estudiar y optimizar formulaciones en las cuales las variables independientes corresponden a las proporciones de los componentes de una mezcla. A diferencia de otros diseños experimentales, en los que los factores pueden modificarse de manera

independiente, en los diseños de mezclas la suma de las proporciones debe mantenerse constante, generalmente igual a uno o al 100% (Granato et al., 2020).

Esta condición implica que el incremento de la proporción de un componente requiere la disminución de uno o varios de los componentes restantes. Por consiguiente, las respuestas experimentales dependen de la composición relativa de la mezcla y de las posibles interacciones entre sus ingredientes.

En términos matemáticos, para una mezcla constituida por tres componentes, la restricción fundamental se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$[X_1+X_2+X_3=1]$$

Donde:

- (X_1): proporción del primer componente.
- (X_2): proporción del segundo componente.
- (X_3): proporción del tercer componente.

Las proporciones pueden expresarse como fracciones decimales o porcentajes, siempre que se mantenga la condición de suma constante.

Entre los diseños experimentales utilizados para estudiar formulaciones se encuentran los diseños simplex-reticular, simplex-centroide y los diseños de mezclas con restricciones. Su selección depende del número de componentes, los límites establecidos para cada ingrediente y los objetivos del estudio.

El diseño simplex-centroide permite evaluar combinaciones distribuidas en puntos característicos del espacio experimental, como los

vértices, puntos medios y centroide de una región de mezclas. Cuando existen restricciones sobre las proporciones mínimas y máximas de los componentes, es necesario adaptar el diseño a la región experimental factible.

Los resultados obtenidos pueden analizarse mediante modelos matemáticos de mezclas, entre los que destacan los modelos lineales, cuadráticos y cúbicos especiales. Estos modelos permiten describir el comportamiento de las variables de respuesta en función de las proporciones de los ingredientes y evaluar la presencia de interacciones entre los componentes.

La selección del modelo apropiado debe fundamentarse en el análisis estadístico de los datos experimentales, considerando indicadores como el coeficiente de determinación, el coeficiente de determinación ajustado, la significancia del modelo y el comportamiento de los residuos. Un modelo adecuado permite estimar las respuestas dentro de la región experimental estudiada y constituye una herramienta para la optimización de las formulaciones.

En la industria alimentaria, el diseño de mezclas se aplica para optimizar productos como bebidas, compotas, harinas compuestas, mezclas de ingredientes funcionales y otros sistemas alimentarios. Su utilidad radica en permitir la evaluación simultánea de diferentes proporciones y en establecer combinaciones que favorezcan determinadas características fisicoquímicas, nutricionales, sensoriales o funcionales (Solomon, 2021; Tirado et al., 2021).

Cuando se consideran varias variables de respuesta, la optimización puede realizarse mediante procedimientos de deseabilidad, los cuales permiten establecer una solución de compromiso entre los objetivos definidos para cada respuesta. En este procedimiento, las respuestas se transforman en funciones individuales de deseabilidad que posteriormente pueden integrarse en un índice global para identificar formulaciones favorables.

En la presente investigación, se utilizó un diseño de mezclas simplex-centroide ampliado con restricciones para evaluar tres componentes: polvo microencapsulado de guayaba, polvo microencapsulado de nuez de marañón y chancaca. Los intervalos de formulación fueron de 35% a 45% para el polvo de guayaba, de 5% a 15% para el polvo de nuez de marañón y de 45 % a 55 % para la chancaca, manteniendo una suma total del 100%.

Las variables de respuesta estuvieron constituidas por la capacidad antioxidante, determinada mediante los métodos ABTS y ORAC, y el contenido de fenoles totales, evaluado mediante Folin-Ciocalteu. El análisis estadístico permitió estudiar la influencia de las proporciones de los componentes y establecer una formulación optimizada dentro de la región experimental considerada.

2.3. Definiciones conceptuales

- **Alimentos funcionales:** Productos alimentarios que contienen componentes con potencial para ejercer efectos fisiológicos

favorables, además de proporcionar nutrientes esenciales, siempre que dichos efectos estén respaldados por evidencia científica.

- **Compuestos bioactivos:** Sustancias presentes en las materias primas alimentarias que pueden participar en procesos biológicos y presentar propiedades de interés funcional, como determinadas actividades antioxidantes.

- **Compuestos fenólicos:** Grupo de sustancias de origen vegetal caracterizadas por presentar uno o más grupos hidroxilo unidos a estructuras aromáticas. Comprenden diferentes familias químicas, entre ellas ácidos fenólicos, flavonoides y taninos.

- **Fenoles totales:** Estimación analítica del contenido de compuestos fenólicos de una muestra, determinada mediante procedimientos como Folin-Ciocalteu y expresada generalmente en equivalentes de ácido gálico.

- **Capacidad antioxidante:** Aptitud de una sustancia o mezcla para reaccionar con determinadas especies oxidantes o retardar procesos de oxidación bajo condiciones experimentales específicas.
- **Método ABTS:** Ensayo espectrofotométrico utilizado para evaluar la capacidad antioxidante mediante la disminución de la coloración del radical catión ABTS•+ en presencia de sustancias antioxidantes.

- **Método ORAC:** Procedimiento analítico que evalúa la capacidad de una muestra para inhibir la oxidación de una sonda fluorescente

inducida por radicales peroxilo, considerando el comportamiento de la reacción durante un periodo determinado.

- **Método de Folin-Ciocalteu:** Técnica espectrofotométrica basada en la reacción de sustancias reductoras con el reactivo de Folin-Ciocalteu, utilizada para estimar el contenido de compuestos fenólicos totales en muestras alimentarias.

- **Equivalentes de Trolox (ET):** Unidad de referencia utilizada para expresar la capacidad antioxidante de una muestra mediante su comparación con la respuesta analítica del compuesto Trolox.

- **Equivalentes de ácido gálico (EAG):** Unidad empleada para expresar el contenido de fenoles totales de una muestra en relación con una curva de calibración elaborada con ácido gálico.

- **Guayaba (*Psidium guajava* L.):** Fruto tropical perteneciente a la familia Myrtaceae, utilizado en la alimentación humana y en la industria agroalimentaria por sus características nutricionales y contenido de determinados compuestos bioactivos.
- **Marañón (*Anacardium occidentale* L.):** Especie vegetal tropical perteneciente a la familia Anacardiaceae, cuyo fruto verdadero corresponde a una nuez asociada a un pedúnculo carnoso conocido como pseudofruto.

- **Chancaca:** Producto alimentario obtenido mediante la concentración del jugo de caña de azúcar, sin someterlo al proceso de refinación

convencional, utilizado como ingrediente edulcorante en diferentes preparaciones.

- **Microencapsulación:** Tecnología mediante la cual determinados componentes se incorporan dentro de una matriz o estructura formada por materiales encapsulantes, con la finalidad de modificar sus condiciones de exposición y facilitar su utilización tecnológica.

- **Material encapsulante:** Sustancia utilizada para formar la matriz o pared de una estructura microencapsulada, cuyas propiedades influyen en las características del producto obtenido.

- **Maltodextrina:** Carbohidrato derivado de la hidrólisis parcial del almidón, utilizado en la industria alimentaria como agente encapsulante, vehículo de sólidos y componente tecnológico en procesos de deshidratación.

- **Secado por aspersión:** Operación unitaria que consiste en transformar una alimentación líquida en partículas secas mediante su atomización y contacto con una corriente de aire caliente.
- **Polvo microencapsulado:** Producto particulado obtenido mediante un proceso de encapsulación, en el cual determinados componentes de interés quedan incorporados en una matriz formada por uno o varios materiales encapsulantes.

- **Diseño experimental de mezclas:** Herramienta estadística utilizada para estudiar la influencia de las proporciones relativas de los

componentes de una mezcla sobre una o varias variables de respuesta, manteniendo constante la suma de dichas proporciones.

- **Diseño simplex-centroide:** Tipo de diseño experimental de mezclas que considera combinaciones características de los componentes para estudiar su influencia sobre las respuestas evaluadas y ajustar modelos matemáticos.

- **Optimización de formulaciones:** Procedimiento mediante el cual se identifican proporciones de ingredientes que permiten alcanzar objetivos previamente establecidos para una o varias características del producto.

- **Función de deseabilidad:** Herramienta matemática utilizada en procesos de optimización de múltiples respuestas, que permite transformar los resultados experimentales en valores de conveniencia y establecer una formulación favorable según los criterios definidos.

- **Variable independiente:** Factor experimental cuya variación se utiliza para estudiar su influencia sobre una o varias respuestas. En la presente investigación, estuvo constituida por las proporciones de los tres componentes de la mezcla.

- **Variable dependiente:** Característica cuantificable cuyo comportamiento se evalúa en función de los factores experimentales.

En esta investigación, correspondió a la capacidad antioxidante y al contenido de fenoles totales de las formulaciones.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Método de investigación

La investigación se desarrolló mediante el método científico, con enfoque cuantitativo y procedimiento experimental, debido a que se manipularon las proporciones de los componentes de una formulación alimentaria para evaluar su influencia sobre la capacidad antioxidante y el contenido de fenoles totales.

Se aplicó un diseño experimental de mezclas, mediante el cual se establecieron diferentes combinaciones de polvo microencapsulado de guayaba, polvo microencapsulado de nuez de marañón y chancaca. Las formulaciones obtenidas fueron sometidas a análisis de laboratorio para determinar las respuestas experimentales mediante los métodos ABTS, ORAC y Folin-Ciocalteu.

Posteriormente, los resultados fueron analizados mediante modelos estadísticos de regresión y análisis de varianza, con la finalidad de estudiar el comportamiento de las variables dependientes e identificar una formulación optimizada dentro de los límites establecidos para cada componente.

3.2. Tipo y nivel de investigación

Tipo de investigación: La investigación fue de tipo aplicada, debido a que utilizó conocimientos científicos y tecnológicos relacionados con la microencapsulación, la caracterización de compuestos bioactivos y el diseño experimental de mezclas para desarrollar y optimizar una

formulación alimentaria a partir de materias primas de interés agroindustrial.

Nivel de investigación: La investigación fue de nivel explicativo, con diseño experimental, porque buscó determinar la influencia de las proporciones de los componentes de la mezcla sobre la capacidad antioxidante y el contenido de fenoles totales de las formulaciones elaboradas.

Asimismo, presentó un enfoque cuantitativo, puesto que las variables dependientes fueron determinadas mediante procedimientos analíticos de laboratorio y sus resultados se expresaron numéricamente para su posterior evaluación estadística.

3.3. Población y muestra

3.3.1. Población

La población estuvo constituida por los frutos de guayaba (*Psidium guajava* L.) y la nuez de marañón (*Anacardium occidentale* L.) disponibles en la región Ucayali, considerados materias primas de interés agroindustrial por su composición nutricional y la presencia de compuestos bioactivos.

3.3.2. Muestra

La muestra estuvo conformada por frutos de guayaba en estado de madurez comercial y nueces de marañón en condiciones adecuadas para su procesamiento, seleccionados mediante un muestreo no probabilístico por conveniencia.

Se consideraron materias primas sin daños mecánicos visibles ni signos de deterioro físico, con la finalidad de mantener condiciones adecuadas para el procesamiento experimental.

Para la ejecución de la investigación se utilizaron 20 kg de guayaba y 10 kg de nuez de marañón, destinados a la obtención de las materias primas procesadas y los polvos microencapsulados empleados en las formulaciones experimentales.

3.4. Componentes en estudio

Los componentes de la mezcla estuvieron constituidos por tres ingredientes utilizados en la formulación de una bebida instantánea: polvo microencapsulado de guayaba, polvo microencapsulado de nuez de marañón y chancaca.

- **Componente A: Polvo microencapsulado de guayaba.** Se obtuvo a partir del procesamiento de la guayaba (*Psidium guajava* L.) y su posterior secado por aspersión, utilizando maltodextrina como agente encapsulante. Su proporción experimental estuvo comprendida entre 35% y 45%.

- **Componente B: Polvo microencapsulado de nuez de marañón.** Se obtuvo mediante el procesamiento de la materia prima correspondiente y su posterior microencapsulación por secado por aspersión con maltodextrina. Su proporción experimental estuvo comprendida entre 5% y 15%.

- **Componente C: Chancaca.** Se incorporó como ingrediente complementario de la formulación, en proporciones comprendidas entre 45% y 55%.

Los componentes fueron combinados considerando la restricción de que la suma de sus proporciones debía representar el 100% de cada formulación experimental.

Tabla 2

Componentes y rangos de proporción establecidos para el diseño experimental de mezclas

Componente	Ingrediente	Proporción
A	Polvo microencapsulado de guayaba	35 – 45%
B	Polvo microencapsulado de nuez de marañón	5 – 15%
C	Chancaca	45 – 55%

Nota. La maltodextrina se utilizó como agente encapsulante durante la obtención de los polvos, por lo que no constituyó un cuarto componente independiente del diseño experimental de mezclas.

3.5. Tratamientos en estudio

Los tratamientos experimentales estuvieron constituidos por diferentes combinaciones de los tres componentes de la mezcla, cuyas proporciones fueron establecidas mediante el software Design-Expert, versión 7.0.0, considerando los límites inferiores y superiores definidos para cada ingrediente.

Se evaluaron 16 formulaciones experimentales, incluidas las repeticiones de determinados puntos del diseño. Cada tratamiento correspondió a una combinación específica de polvo microencapsulado de guayaba, polvo microencapsulado de nuez de marañón y chancaca.

Tabla 3

Tratamientos experimentales del diseño de mezclas

Tratamiento	Guayaba (%)	Nuez de marañón (%)	Chancaca (%)
T1	45,000	7,775	47,225
T2	35,701	9,299	55,000
T3	41,165	13,835	45,000
T4	40,875	5,000	54,125
T5	35,000	13,994	51,006
T6	39,844	10,024	50,132
T7	44,151	5,000	50,849
T8	44,045	10,955	45,000
T9	38,788	8,002	53,210
T10	37,560	15,000	47,440
T11	42,139	7,605	50,256
T12	35,701	9,299	55,000
T13	35,000	13,994	51,006
T14	40,875	5,000	54,125
T15	41,165	13,835	45,000
T16	39,844	10,024	50,132

Nota. Los valores corresponden a las formulaciones experimentales consignadas en la tesis original. Se conservaron las repeticiones establecidas en el diseño.

3.6. Diseño experimental

Se empleó un diseño experimental de mezclas tipo simplex-centroide ampliado con restricciones, con la finalidad de evaluar el efecto de las proporciones de los componentes sobre la capacidad antioxidante y

el contenido de fenoles totales de la formulación.

El diseño consideró tres componentes: A, polvo microencapsulado de guayaba; B, polvo microencapsulado de nuez de marañón; y C, chancaca. Para cada uno se establecieron límites de formulación, manteniendo la restricción de suma constante:

[A+B+C=100, %]

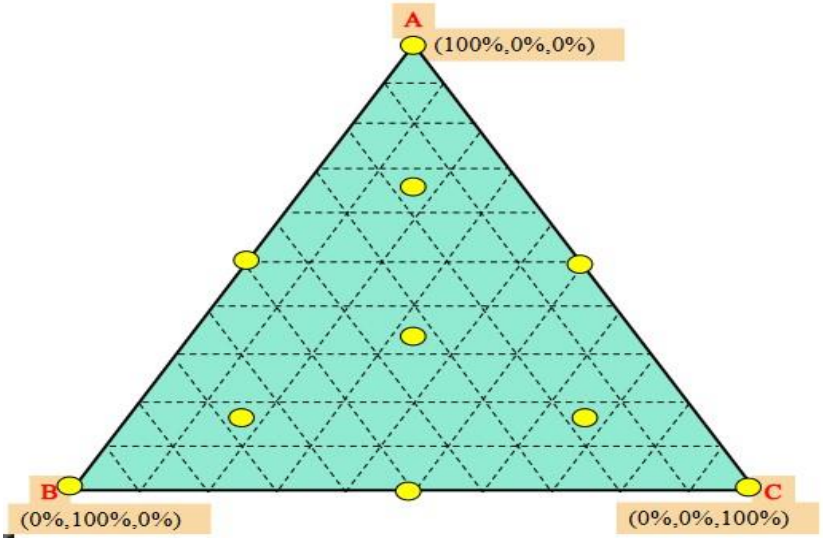
Los límites establecidos fueron:

- [35%\leqA\leq45%]
- [5%\leqB\leq15%]
- [45%\leqC\leq55%]

La generación de los tratamientos y el análisis estadístico se realizaron mediante el software Design-Expert, versión 7.0.0.

Figura 3

Diseño experimental de mezclas simplex-centroide ampliado



Las formulaciones fueron evaluadas mediante la determinación de la capacidad antioxidante por los métodos ABTS y ORAC y del contenido de fenoles totales por el método de Folin-Ciocalteu.

Los resultados experimentales fueron sometidos a análisis de varianza (ANOVA), considerando un nivel de significancia del 5 % (α = 0,05). Asimismo, se evaluó el ajuste de modelos de regresión de mezclas, considerando su significancia estadística, coeficiente de determinación y adecuación a los datos experimentales.

A partir de los modelos seleccionados, se generaron representaciones de superficie de respuesta para estudiar el comportamiento de las variables dependientes dentro de la región experimental.

La optimización se realizó mediante una función de deseabilidad, que permitió transformar las respuestas en valores comprendidos entre cero y uno. Posteriormente, se estableció una deseabilidad global para identificar una formulación que favoreciera simultáneamente las respuestas consideradas en el proceso de optimización.

3.7. Ejecución del experimento

3.7.1. Ubicación y duración de la investigación

La investigación se desarrolló en dos etapas experimentales:

- La primera etapa comprendió el procesamiento de las materias primas, la obtención de los extractos, el secado por atomización, la formulación y el envasado del producto. Estas actividades se realizaron en el Laboratorio de Tecnología de Industrias Lácteas y Química de la Universidad Nacional de Ucayali, ubicado en la ciudad de Pucallpa, región Ucayali.

- La segunda etapa correspondió a la evaluación de los compuestos bioactivos de las formulaciones, mediante los análisis de capacidad antioxidante y contenido de fenoles totales. Estas determinaciones se realizaron en el Laboratorio de Control de Calidad del Instituto de Investigación y Tecnología Agroindustrial (IITA), de la Universidad Nacional del Santa, ubicado en Nuevo Chimbote, región Áncash.

3.7.2. Condiciones ambientales y de procesamiento

Durante el procesamiento de las materias primas se emplearon las condiciones operativas establecidas para la obtención de los polvos microencapsulados.

El secado por aspersión se realizó a una temperatura de entrada de 170 °C, utilizando maltodextrina en una concentración del 10 % como agente encapsulante. El polvo obtenido fue acondicionado hasta alcanzar una humedad aproximada del 8%, según lo señalado en el procedimiento experimental original.

Posteriormente, las formulaciones fueron envasadas en bolsas trilaminadas con capacidad de 10 g, selladas al vacío y almacenadas en un ambiente fresco, seco y protegido de la luz, a una temperatura aproximada de 25 °C, hasta la realización de los análisis correspondientes.

3.7.3. Proceso experimental

Obtención de los polvos microencapsulados

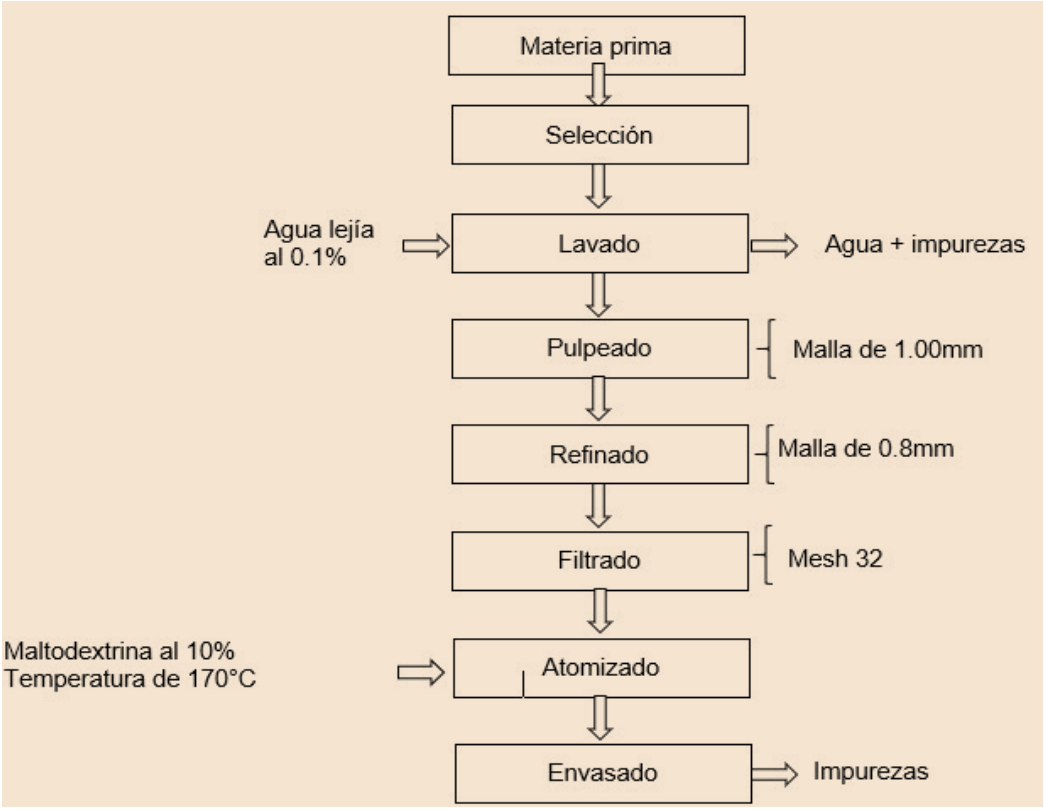
El procesamiento de las materias primas comprendió las operaciones necesarias para obtener los extractos destinados al secado

por aspersión. Posteriormente, se incorporó maltodextrina como agente encapsulante y se efectuó la atomización a una temperatura de entrada de 170 °C.

El procedimiento se desarrolló tomando como referencia la metodología de Díaz (2024), con modificaciones adaptadas a las condiciones de la presente investigación.

Figura 4

Diagrama de flujo del proceso de atomización de guayaba y nuez de marañón



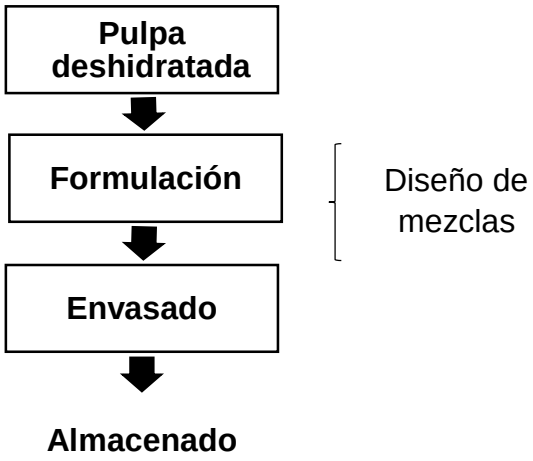
Formulación de la bebida instantánea

Los polvos microencapsulados de guayaba y nuez de marañón se combinaron con chancaca, de acuerdo con las proporciones establecidas en el diseño experimental de mezclas.

Cada formulación fue preparada considerando las cantidades correspondientes a los tres componentes, manteniendo la suma constante del 100%.

Figura 5

Diagrama de flujo del proceso de mezclado de polvos microencapsulados



Envasado

Las formulaciones obtenidas fueron colocadas en bolsas trilaminadas con capacidad de 10 g y selladas al vacío, con la finalidad de limitar su exposición a la humedad y a las condiciones ambientales durante el periodo previo a los análisis.

Almacenamiento

Las muestras envasadas fueron almacenadas en un ambiente fresco, seco y protegido de la luz, a una temperatura aproximada de 25 °C. Los envases permanecieron cerrados hasta la realización de las determinaciones analíticas.

3.7.4. Variables evaluadas

Variable independiente

La variable independiente estuvo constituida por las proporciones de los componentes de la formulación:

- Polvo microencapsulado de guayaba: 35–45%.
- Polvo microencapsulado de nuez de marañón: 5–15%.
- Chancaca: 45–55%.

Variables dependientes

- **Capacidad antioxidante:** Se determinó mediante los métodos ABTS y ORAC, utilizando Trolox como compuesto de referencia para la cuantificación de las respuestas antioxidantes.
- **Contenido de fenoles totales:** Se determinó mediante el método de Folin-Ciocalteu, utilizando ácido gálico como compuesto de referencia.

Los análisis de laboratorio se realizaron por triplicado. Los resultados se expresaron en equivalentes de Trolox para la capacidad antioxidante y en equivalentes de ácido gálico para el contenido de fenoles totales.

Los procedimientos analíticos específicos de ABTS, ORAC y Folin-Ciocalteu se presentan en los anexos 01, 02 y 03 de la tesis, respectivamente.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. Obtención de pulpa y extractos acuosos

4.1.1. Obtención de pulpa de guayaba

El procesamiento de la guayaba (*Psidium guajava* L.) se inició con 3153 g de frutos frescos seleccionados en estado de madurez adecuado. Posteriormente, se realizó el corte de los frutos y la separación de sus componentes, seguida del tamizado mediante una malla tipo mesh 32, con la finalidad de obtener la pulpa libre de semillas y otras fracciones sólidas.

Como resultado del procesamiento, se obtuvieron 474 g de pulpa, equivalentes al 15,03% de la masa inicial. Asimismo, se separaron 2049 g de cáscara (64,99%) y 630 g de semillas (19,98%).

Tabla 4

Balance de materia del procesamiento de guayaba

Fracción	Masa (g)	Porcentaje (%)
Fruto total	3153	100,00
Cáscara	2049	64,99
Semillas	630	19,98
Pulpa	474	15,03
Total	3153	100,00

El rendimiento de pulpa se determinó mediante la relación entre la masa recuperada y la masa inicial del fruto:

$$R=\frac{474}{3153}\times100=15,03\%$$

El resultado indicó que la pulpa recuperada representó el 15,03% de la materia prima procesada, mientras que las fracciones separadas durante el acondicionamiento constituyeron el 84,97% restante.

Obtención de almendra de nuez de marañón

El procesamiento de la nuez de marañón (*Anacardium occidentale* L.) se realizó a partir de 980 g de nueces, previamente separadas del pseudofruto. Estas fueron sometidas a escaldado a una temperatura de 60 °C durante cinco minutos, seguido de pelado manual para separar la cáscara de la almendra.

Como resultado, se recuperaron 307 g de almendra, equivalentes al 31,33% de la masa inicial de nueces. La cáscara representó 673 g, correspondiente al 68,67%.

Tabla 5

Balance de materia del procesamiento de marañón

Etapa	Masa (g)	Porcentaje (%)
Nuez entera	980	100,00
Cáscara	673	68,67
Almendra	307	31,33

El rendimiento de almendra se calculó mediante la siguiente expresión:

$$R=\frac{307}{980}\times100=31,33\%$$

El resultado evidenció que aproximadamente una tercera parte de la masa inicial de nueces correspondió a la almendra recuperada para su posterior procesamiento.

Obtención de extractos acuosos

La pulpa de guayaba y la almendra de marañón fueron procesadas por separado mediante licuado con agua en una proporción de 1:4, expresada como materia prima y agua. Posteriormente, las mezclas fueron filtradas utilizando papel filtro de paso rápido, con la finalidad de separar las partículas sólidas y obtener los extractos acuosos destinados a la microencapsulación.

4.2. Obtención de polvos microencapsulados

La obtención de los polvos microencapsulados de guayaba y nuez de marañón se realizó mediante secado por aspersión, utilizando maltodextrina como agente encapsulante en una proporción de 10 g por cada 100 g de pulpa, según el procedimiento experimental descrito.

El proceso se desarrolló a una temperatura de entrada de 170 °C, una temperatura de salida de 40 °C y una velocidad de aire del 50%, tomando como referencia la metodología de Díaz (2024).

En el procesamiento de guayaba se obtuvieron 18,1586 g de polvo microencapsulado, equivalentes a un rendimiento de 3,83% respecto a la pulpa utilizada y de 0,58% respecto a la materia prima inicial.

Por su parte, el procesamiento de la nuez de marañón permitió obtener 21,4126 g de polvo microencapsulado, con un rendimiento de 6,97% respecto a la almendra procesada y de 2,18% respecto a la nuez entera.

Los resultados evidenciaron que el rendimiento de polvo microencapsulado fue mayor en la nuez de marañón que en la guayaba,

tanto respecto a la fracción aprovechable como a la materia prima inicial. Asimismo, se registró una humedad final aproximada del 8% en el producto obtenido.

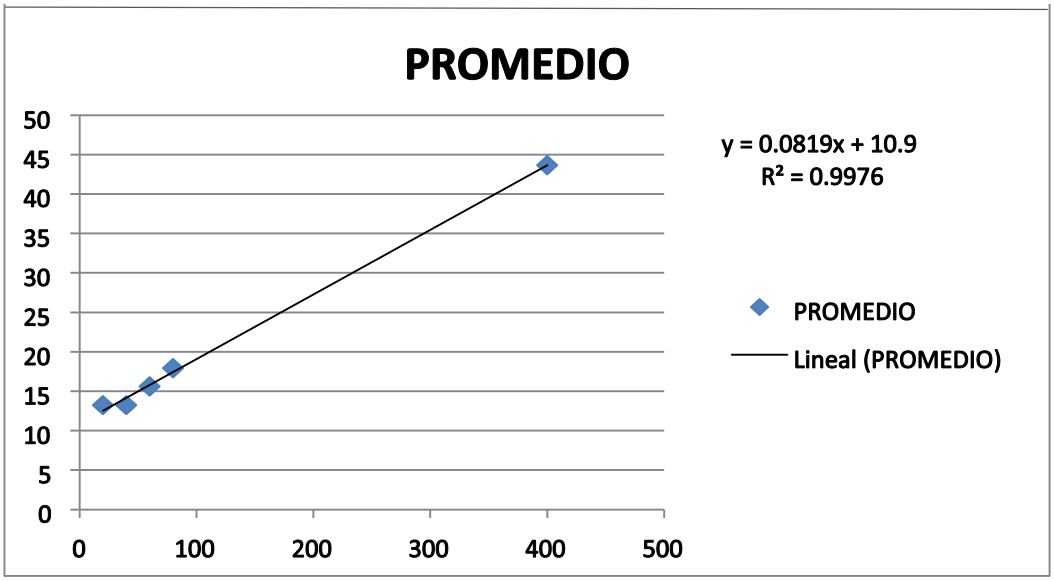
4.3. Análisis de compuestos bioactivos

4.3.1. Capacidad antioxidante mediante el método ABTS

La capacidad antioxidante de las 16 formulaciones experimentales se determinó mediante el método ABTS, utilizando Trolox como compuesto de referencia para la elaboración de la curva estándar.

Figura 6

Curva estándar de Trolox para la determinación de la capacidad antioxidante mediante ABTS



La curva estándar presentó un coeficiente de determinación de R^2 = 0,9976, lo que evidenció una elevada relación lineal entre las concentraciones del estándar y la respuesta analítica dentro del intervalo evaluado.

Tabla 6

Capacidad antioxidante mediante el método ABTS de las 16 formulaciones experimentales

TRAT.	% PM GUAYABA	% PM NUEZ CASHO	% CHANCACA	ABTS (µmol TE/g)
1	45.000	7.775	47.225	2919.08
2	35.701	9.299	55.000	21533.88
3	41.165	13.835	45.000	18303.9
4	40.875	5.000	54.125	31971.48
5	35.000	13.994	51.006	16150.59
6	39.844	10.024	50.132	17017.9
7	44.151	5.000	50.849	12890.71
8	44.045	10.955	45.000	20786.2
9	38.788	8.002	53.210	11993.49
10	37.560	15.000	47.440	28023.73
11	42.139	7.605	50.256	13758.02
12	35.701	9.299	55.000	12501.91
13	35.000	13.994	51.006	25571.35
14	40.875	5.000	54.125	13758.02
15	41.165	13.835	45.000	19500.19
16	39.844	10.024	50.132	26767.63

Los resultados de capacidad antioxidante mediante ABTS oscilaron entre 2919,08 y 31971,48 µmol ET/g. El mayor valor correspondió al tratamiento 4, constituido por 40,875% de polvo microencapsulado de guayaba, 5,000% de polvo microencapsulado de nuez de marañón y 54,125% de chancaca. El menor valor se registró en el tratamiento 1, conformado por 45,000% de guayaba, 7,775% de nuez de marañón y 47,225% de chancaca.

Para determinar la influencia de las proporciones de los componentes sobre la capacidad antioxidante, se realizó el análisis de varianza del modelo cúbico de mezclas.

Tabla 7

Análisis de varianza del modelo cúbico de mezclas para la capacidad antioxidante mediante ABTS

Fuente de variación	Suma de cuadrados	gl	Cuadrado medio	F	Valor p
Modelo	—	—	—	—	0,2751
Mezcla lineal	—	—	—	—	—
AB	—	—	—	—	—
AC	—	—	—	—	—
BC	—	—	—	—	—
ABC	—	—	—	—	—
AB(A–B)	—	—	—	—	—
AC(A–C)	—	—	—	—	—
BC(B–C)	—	—	—	—	—
Residuo	—	—	—	—	—
Falta de ajuste	—	—	—	—	0,2678
Error puro	—	—	—	—	—
Total corregido	—	—	—	—	—

Nota. Modelo de mezclas cúbico; codificación de componentes L_Pseudo; sumas de cuadrados parciales tipo III. «—» indica dato no recuperable de forma inequívoca del Word suministrado. Interpretación: el modelo no fue significativo (p = 0,2751).

El análisis de varianza evidenció que el modelo cúbico de mezclas no fue estadísticamente significativo (p = 0,2751), debido a que el valor obtenido fue superior al nivel de significancia establecido (α = 0,05).

Asimismo, los términos de interacción evaluados no alcanzaron significancia estadística. La falta de ajuste tampoco fue significativa (p = 0,2678).

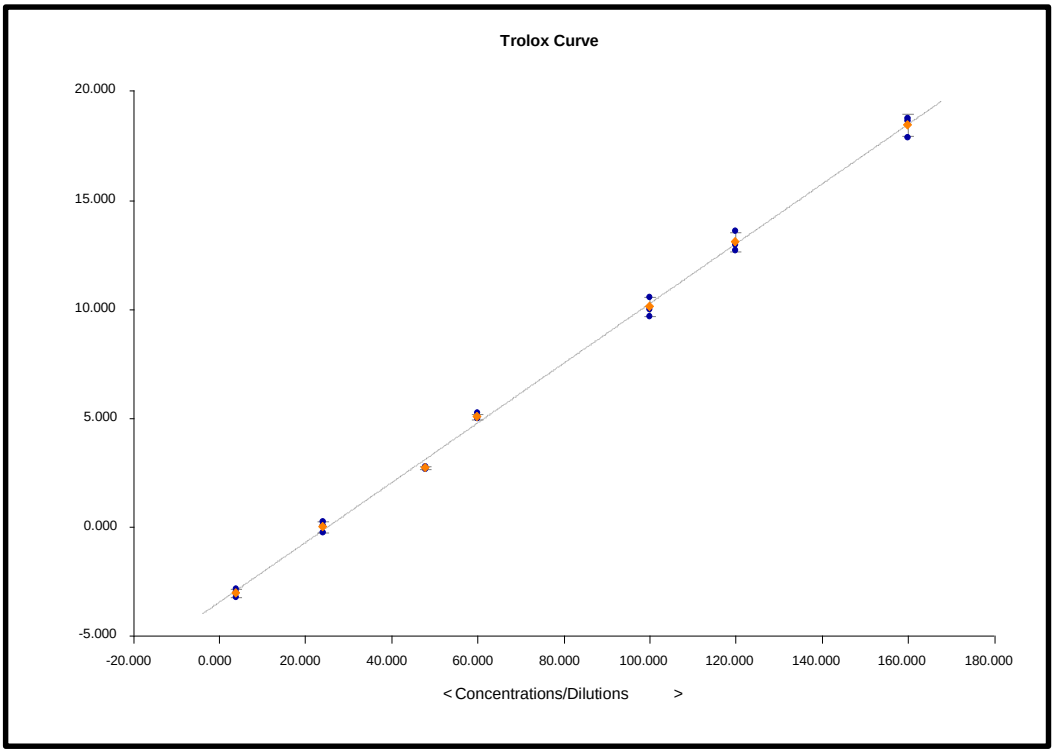
En consecuencia, aunque se observaron diferencias numéricas entre los tratamientos, el modelo no proporcionó evidencia estadística suficiente para establecer una influencia significativa de las proporciones de los componentes sobre la capacidad antioxidante determinada mediante ABTS.

4.3.2. Capacidad antioxidante mediante el método ORAC

La capacidad antioxidante también fue determinada mediante el método ORAC, utilizando una curva estándar de Trolox para cuantificar la respuesta de las formulaciones experimentales.

Figura 7

Curva estándar de Trolox para la determinación de la capacidad antioxidante mediante ORAC



La curva estándar presentó un coeficiente de determinación de R^2 = 0,999, evidenciando una elevada linealidad de la respuesta analítica dentro del intervalo de calibración.

Tabla 8

Capacidad antioxidante mediante el método ORAC de las 16 formulaciones experimentales

TRAT.	% PM GUAYABA	% PM NUEZ CASHO	% CHANCACA	ORAC (µmol TE/100g)
1	45.000	7.775	47.225	6177.700
2	35.701	9.299	55.000	4625.350
3	41.165	13.835	45.000	3690.000
4	40.875	5.000	54.125	7184.910
5	35.000	13.994	51.006	3716.350
6	39.844	10.024	50.132	3649.990
7	44.151	5.000	50.849	2930.470
8	44.045	10.955	45.000	6976.540
9	38.788	8.002	53.210	2804.850
10	37.560	15.000	47.440	4919.240
11	42.139	7.605	50.256	3403.420
12	35.701	9.299	55.000	2976.380
13	35.000	13.994	51.006	3556.320
14	40.875	5.000	54.125	2788.920
15	41.165	13.835	45.000	4415.000
16	39.844	10.024	50.132	5682.720

Los valores de capacidad antioxidante mediante ORAC oscilaron entre 2788,92 y 7184,91, según la unidad consignada en la tabla original. El valor máximo se obtuvo en el tratamiento 4, constituido por 40,875 % de guayaba, 5,000% de nuez de marañón y 54,125% de chancaca. El valor mínimo correspondió al tratamiento 14, que presentó las mismas proporciones nominales de ingredientes y formó parte de los puntos repetidos del diseño.

Esta diferencia entre formulaciones repetidas evidenció variabilidad experimental, aspecto que debe considerarse en la interpretación estadística de la respuesta.

Tabla 9

Análisis de varianza del modelo cúbico de mezclas para la capacidad antioxidante mediante ORAC

Fuente de variación	Suma de cuadrados	gl	Cuadrado medio	F	Valor p
Modelo	2,575E+007	9	2,861E+006	3,86	0,0755
Mezcla lineal	4,427E+006	2	2,214E+006	2,99	0,1402
AB	1,881E+006	1	1,881E+006	2,54	0,1721
AC	—	—	—	—	0,0235
BC	—	—	—	—	—
ABC	—	—	—	—	—
AB(A–B)	—	—	—	—	—
AC(A–C)	—	—	—	—	—
BC(B–C)	8,977E+006	1	8,977E+006	12,11	0,0177
Residuo	—	—	—	—	—
Falta de ajuste	—	—	—	—	0,9432
Error puro	—	—	—	—	—
Total corregido	—	—	—	—	—

Nota. Modelo de mezclas cúbico; codificación de componentes L_Pseudo; sumas de cuadrados parciales tipo III. «—» indica dato no recuperable de forma inequívoca del Word suministrado. Interpretación: el modelo global no fue significativo (p = 0,0755), aunque algunos términos individuales sí lo fueron.

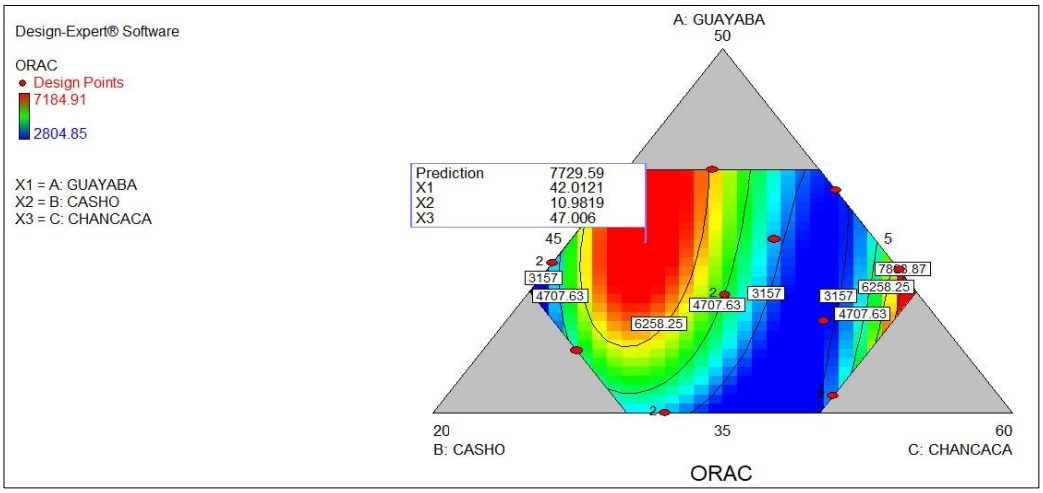
El análisis de varianza mostró que el modelo cúbico de mezclas no alcanzó significancia estadística global (p = 0,0755), al presentar un valor superior a 0,05.

Sin embargo, se identificaron términos individuales significativos, específicamente la interacción entre guayaba y chancaca (AC), con p = 0,0235, y el término no lineal BC(B–C), con p = 0,0177.

Por su parte, la falta de ajuste no fue significativa (p = 0,9432). Estos resultados evidenciaron asociaciones de determinados términos con la respuesta ORAC, aunque la falta de significancia global del modelo limita la interpretación predictiva de dichas asociaciones.

Figura 8

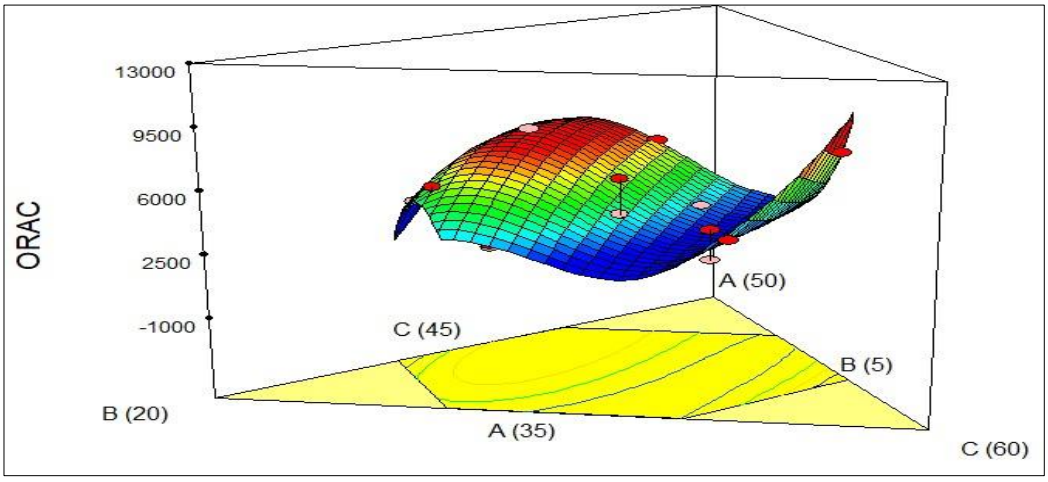
Diagrama de contorno de la capacidad antioxidante mediante ORAC en función de las proporciones de guayaba, nuez de marañón y chancaca



El diagrama de contorno permitió visualizar la distribución de los valores estimados de ORAC dentro de la región experimental. Se identificaron zonas de mayor respuesta asociadas con determinadas combinaciones de guayaba, nuez de marañón y chancaca, así como regiones de menor capacidad antioxidante estimada.

Figura 9

Superficie de respuesta de la capacidad antioxidante mediante ORAC en función de la formulación de la mezcla



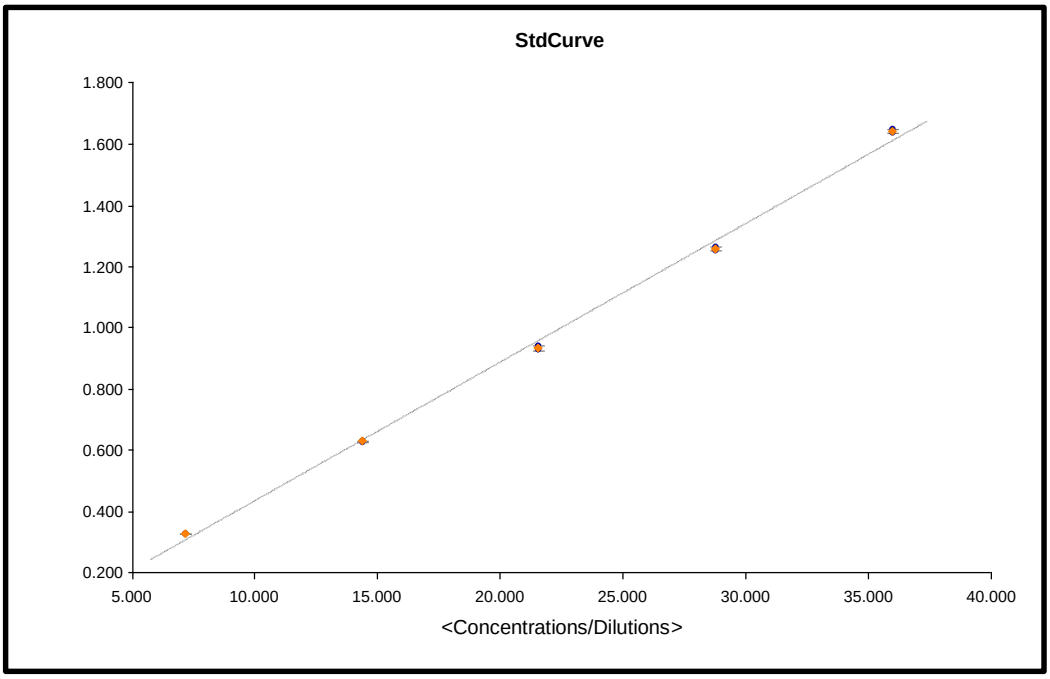
La superficie de respuesta mostró un comportamiento curvilíneo, compatible con la presencia de términos no lineales en el modelo. Las regiones de mayor respuesta constituyeron áreas de interés para el procedimiento de optimización, aunque su interpretación debe considerar que el modelo global no fue estadísticamente significativo.

4.3.3. Contenido de compuestos fenólicos totales mediante Folin-Ciocalteu

El contenido de compuestos fenólicos totales de las formulaciones experimentales se determinó mediante el método de Folin-Ciocalteu, utilizando ácido gálico como compuesto de referencia.

Figura 10

Curva estándar de ácido gálico para la determinación del contenido de fenoles totales



La curva estándar presentó un coeficiente de determinación de R^2 = 0,997, evidenciando una elevada relación lineal entre la concentración del estándar y la respuesta analítica.

Tabla 10

Contenido de compuestos fenólicos totales de las 16 formulaciones experimentales

Tratamiento	PM guayaba (%)	PM nuez de casho (%)	Chancaca (%)	CFT (mg GAE/100 g)
1	45.000	7.775	47.225	53.670
2	35.701	9.299	55.000	51.440
3	41.165	13.835	45.000	65.130
4	40.875	5.000	54.125	86.630
5	35.000	13.994	51.006	55.220
6	39.844	10.024	50.132	57.810
7	44.151	5.000	50.849	50.610
8	44.045	10.955	45.000	72.480
9	38.788	8.002	53.210	44.420
10	37.560	15.000	47.440	69.320
11	42.139	7.605	50.256	54.490
12	35.701	9.299	55.000	45.290
13	35.000	13.994	51.006	59.040
14	40.875	5.000	54.125	54.070
15	41.165	13.835	45.000	69.390
16	39.844	10.024	50.132	65.750

Nota. Valores transcritos del documento original. PM: polvo microencapsulado.

Los valores de compuestos fenólicos totales oscilaron entre 44,42 y 86,63 mg EAG/100 g. El mayor contenido se registró en el tratamiento 4, constituido por 40,875% de guayaba, 5,000% de nuez de marañón y 54,125% de chancaca. El menor valor correspondió al tratamiento 9, integrado por 38,788% de guayaba, 8,002% de nuez de marañón y 53,210% de chancaca.

Estos resultados evidenciaron diferencias en el contenido fenólico total de las formulaciones evaluadas.

Tabla 11

Análisis de varianza del modelo cúbico de mezclas para el contenido de compuestos fenólicos totales

Fuente	Suma de cuadrados	gl	Cuadrado medio	Valor F	Valor p
Modelo	1749.05653	9	194.339615	—	0.0049
Mezcla lineal	270.658822	2	135.329411	13.9223274	0.0190
AB	288.146277	1	288.146277	20.6425581	0.0061
AC	84.9560321	1	84.9560321	6.08617904	0.0567
BC	47.6481396	1	47.6481396	3.41347284	0.1239
ABC	2.63174807	1	2.63174807	0.18853623	0.6822
AB(A–B)	0.37987968	1	0.37987968	0.02721426	0.8754
AC(A–C)	—	—	—	—	0.0350
BC(B–C)	—	—	—	—	0.0020
Falta de ajuste	—	—	—	—	0.6939

Nota. Se transcribieron los valores recuperables del archivo original. «—» indica un dato que no pudo identificarse con certeza en la tabla fragmentada; debe verificarse con el reporte de Design-Expert. No se estimaron ni sustituyeron cifras faltantes.
Advertencia: la fila del modelo y sus términos deben cotejarse con la salida estadística original antes de la presentación final.

El análisis de varianza mostró que el modelo cúbico de mezclas fue estadísticamente significativo (p = 0,0049), evidenciando una asociación entre las proporciones de los componentes y el contenido de fenoles totales.

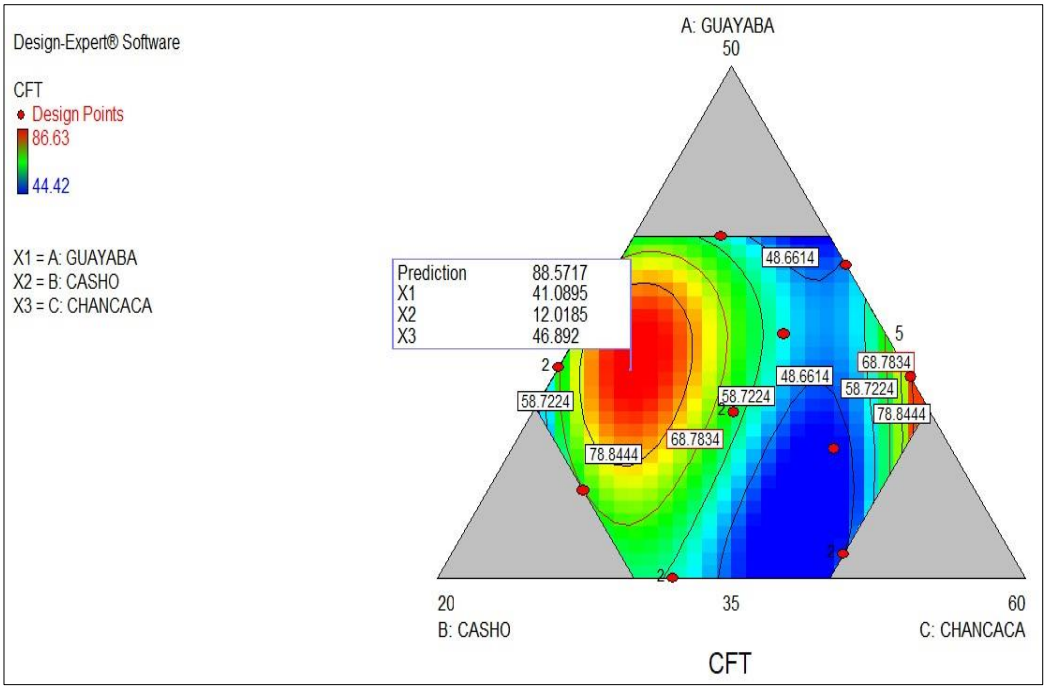
El término de mezcla lineal también fue significativo (p = 0,0190). Entre las interacciones, el término AB presentó significancia estadística (p = 0,0061), mientras que AC (p = 0,0567), BC (p = 0,1239) y ABC (p = 0,6822) no fueron significativos al nivel del 5 %.

Asimismo, los términos no lineales AC(A–C) y BC(B–C) presentaron significancia estadística, con valores de p = 0,0350 y p = 0,0020, respectivamente. El término AB(A–B) no resultó significativo (p = 0,8754).

La falta de ajuste presentó un valor de p = 0,6939, por lo que no se identificó evidencia estadística suficiente de falta de ajuste del modelo.

Figura 11

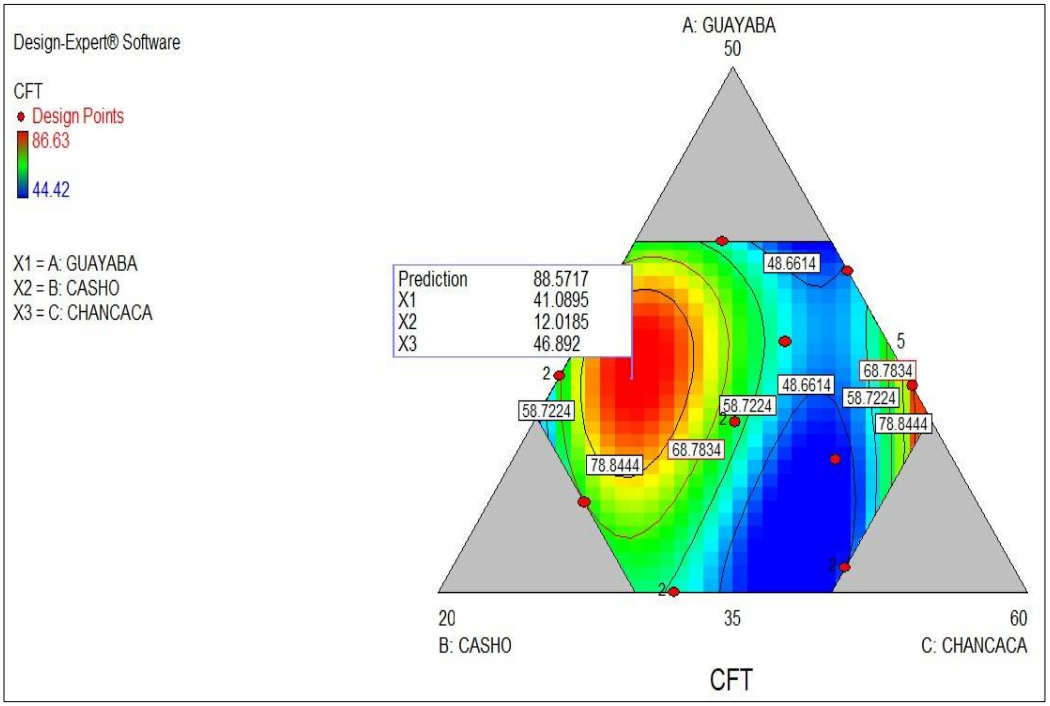
Diagrama de contorno del contenido de compuestos fenólicos totales en función de la formulación de la mezcla



El diagrama de contorno permitió identificar regiones experimentales con mayores valores estimados de compuestos fenólicos totales, así como zonas de menor respuesta. La distribución de las curvas evidenció un comportamiento no lineal relacionado con las proporciones de los componentes.

Figura 12

Superficie de respuesta del contenido de compuestos fenólicos totales en función de la formulación de la mezcla



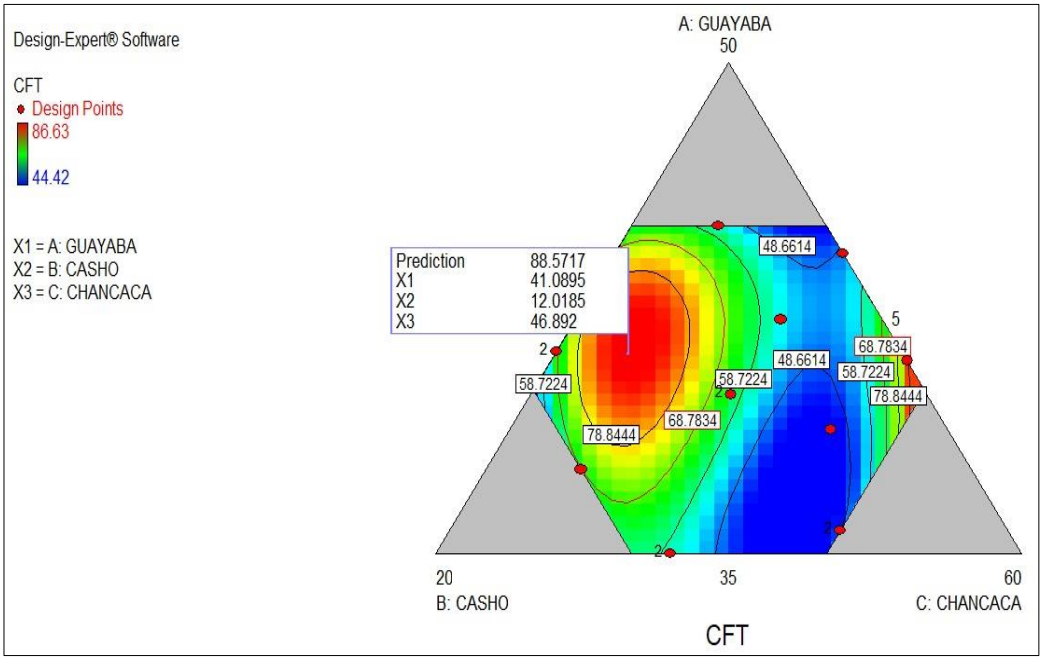
La superficie de respuesta mostró variaciones en el contenido fenólico total dentro de la región experimental. Su comportamiento curvilíneo fue consistente con la significancia de determinados términos de interacción y permitió identificar combinaciones favorables para la optimización.

4.4. Optimización de la formulación mediante el diseño de mezclas

La optimización se realizó mediante la función de deseabilidad, considerando como objetivos la maximización de la capacidad antioxidante determinada mediante ORAC y del contenido de compuestos fenólicos totales.

Figura 13

Diagrama de contorno de la optimización de la formulación de guayaba, nuez de marañón y chancaca



El procedimiento de optimización identificó una formulación constituida por 41,6921% de polvo microencapsulado de guayaba, 11,3862% de polvo microencapsulado de nuez de marañón y 46,9217% de chancaca.

La combinación propuesta se encontró dentro de los intervalos establecidos para cada ingrediente y representó la solución seleccionada por el procedimiento de deseabilidad.

Tabla 12

Valores predichos de compuestos fenólicos totales y capacidad antioxidante para la formulación optimizada

Response	Prediction	SE Mean	95% CI low	95% CI high	SE Pred	95% PI low	95% PI high
CFT	**88.0407683**	5.16488313	74.7640143	101.317522	6.37454807	71.6544717	104.427065
ABTS	**31826.7662**	8489.89255	10002.8039	53650.7285	10478.3064	4891.42355	58762.1088
ORAC	**7769.10535**	1190.23135	4709.51843	10828.6923	1468.9949	3992.93397	11545.2767

Los valores predichos fueron de 88,04 mg EAG/100 g para el contenido de compuestos fenólicos totales, 31826,77 para la respuesta ABTS y 7769,11 para la respuesta ORAC, conservando las magnitudes consignadas en el documento original.

Los intervalos de confianza de las predicciones evidenciaron diferencias en su precisión. El contenido de fenoles totales presentó una predicción de 88,04 mg EAG/100 g, con un intervalo de confianza del 95% comprendido entre 74,76 y 101,32 mg EAG/100 g. Por su parte, la predicción de ORAC fue de 7769,11, con un intervalo de confianza del 95% comprendido entre 4709,52 y 10828,69, según la unidad que corresponda confirmar.

En consecuencia, la optimización permitió identificar matemáticamente una combinación favorable de los componentes. No obstante, los valores reportados corresponden a predicciones del modelo y no a mediciones independientes de una formulación de validación. Asimismo, la interpretación de la respuesta ORAC debe considerar que su modelo global no alcanzó significancia estadística al nivel de 0,05.

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN

5.1. Rendimiento de pulpa de guayaba y almendra de nuez de marañón

El rendimiento de pulpa de guayaba (*Psidium guajava* L.) obtenido en la presente investigación fue de 15,03%, mientras que la cáscara y las semillas representaron el 64,99% y 19,98% de la materia prima, respectivamente. Estos resultados evidenciaron una recuperación relativamente baja de pulpa durante el procesamiento, lo que puede relacionarse con las características físicas del fruto y con las operaciones de separación utilizadas. Al respecto, Sharma et al. (2023) y Farwa et al. (2025) señalaron que la proporción de subproductos generados durante el procesamiento de la guayaba puede variar considerablemente según la variedad, el estado de madurez y el método de extracción empleado.

El rendimiento obtenido también podría estar relacionado con el procedimiento de tamizado manual utilizado para separar la pulpa de las fracciones sólidas. Aunque esta operación permitió obtener una materia prima acondicionada para la preparación del extracto acuoso, pudo ocasionar la retención de material aprovechable junto con las cáscaras y semillas. En ese sentido, Singh (2022) destacó la influencia de los métodos de despulpado sobre la recuperación de material comestible. Por consiguiente, el rendimiento registrado en esta investigación sugiere la conveniencia de evaluar tecnologías de separación que permitan incrementar la recuperación de pulpa sin afectar las características requeridas para su posterior procesamiento.

En cuanto a la nuez de marañón (*Anacardium occidentale* L.), se obtuvo un rendimiento de almendra de 31,33%, valor que se encuentra dentro del intervalo de 25% a 35% señalado por Dakuyo et al. (2022) para la fracción aprovechable de la nuez. Este resultado evidencia que aproximadamente una tercera parte de la materia prima procesada correspondió a la almendra recuperada, mientras que la proporción restante estuvo constituida principalmente por la cáscara y otras fracciones separadas durante el acondicionamiento.

El procedimiento de escaldado a 60 °C durante cinco minutos, seguido del pelado, permitió obtener la almendra utilizada en la elaboración del extracto acuoso. De acuerdo con Diallo et al. (2025), los tratamientos térmicos previos pueden facilitar determinadas operaciones de separación en el procesamiento del marañón. Sin embargo, debido a que en esta investigación no se compararon diferentes temperaturas ni métodos de pelado, no es posible establecer que las condiciones utilizadas fueran las más eficientes.

Posteriormente, tanto la pulpa de guayaba como la almendra de marañón fueron procesadas con agua en una relación de 1:4, seguida de una operación de filtración. Esta etapa permitió obtener los extractos acuosos destinados al proceso de microencapsulación. Shicai et al. (2025) señalaron que la proporción entre materia prima y disolvente constituye un factor importante en los procesos de extracción de componentes vegetales. No obstante, el efecto específico de la relación empleada sobre la recuperación de compuestos bioactivos no fue evaluado mediante tratamientos comparativos en el presente estudio.

En conjunto, los resultados demostraron diferencias importantes en el aprovechamiento físico de ambas materias primas. Mientras que la guayaba presentó un rendimiento de pulpa de 15,03%, la nuez de marañón alcanzó un rendimiento de almendra de 31,33%. Estos hallazgos evidencian la importancia de considerar las pérdidas de materia prima durante las operaciones preliminares, especialmente cuando se proyecta la aplicación de los procedimientos a una mayor escala de procesamiento agroindustrial.

5.2. Rendimiento de los polvos microencapsulados de guayaba y nuez de marañón

El proceso de secado por aspersión permitió obtener 18,1586 g de polvo microencapsulado de guayaba y 21,4126 g de polvo microencapsulado de nuez de marañón. Los rendimientos fueron de 3,83% respecto a la pulpa de guayaba y 6,97% respecto a la almendra de marañón, mientras que los rendimientos globales alcanzaron 0,58 % y 2,18% respecto a las materias primas iniciales, respectivamente. Estos resultados evidenciaron una mayor recuperación porcentual de polvo en el procesamiento de la nuez de marañón.

Las diferencias observadas pueden relacionarse con las características composicionales de ambas materias primas, particularmente con su contenido inicial de agua y sólidos. Durante el secado por aspersión, la eliminación de humedad constituye una operación fundamental para transformar la alimentación líquida en partículas secas; sin embargo, el rendimiento final también depende de la cantidad de sólidos alimentados y de las pérdidas de material durante su recuperación.

Ríos y Gil (2021) y Saeid et al. (2023) destacaron que las características de la alimentación y las condiciones operativas influyen en la obtención de polvos a partir de matrices vegetales.

La utilización de una relación de extracción de 1:4 entre materia prima y agua pudo contribuir a reducir la concentración de sólidos de la alimentación suministrada al secador. Esta condición representa un aspecto tecnológico importante, debido a que una mayor proporción de agua exige eliminar más humedad durante el proceso y puede modificar la cantidad de polvo recuperado. No obstante, en la presente investigación no se evaluaron diferentes relaciones de dilución, por lo que esta explicación debe considerarse una posibilidad tecnológica y no un efecto experimentalmente demostrado.

Asimismo, se empleó maltodextrina al 10% como agente encapsulante, con una temperatura de entrada de 170 °C y una temperatura de salida de 40 °C. La maltodextrina es utilizada en procesos de microencapsulación debido a su capacidad para formar matrices sólidas durante la deshidratación. García-Chacón et al. (2024) señalaron que la concentración del material encapsulante puede influir en las características de los polvos obtenidos mediante secado por aspersión. Sin embargo, como se utilizó una sola concentración de maltodextrina, no fue posible determinar su efecto sobre el rendimiento ni establecer una concentración óptima para las materias primas estudiadas.

Por otra parte, la temperatura de entrada de 170 °C permitió desarrollar el proceso de atomización bajo las condiciones establecidas. Según Xindi et al. (2025), las condiciones térmicas del secado por

aspersión pueden influir en la evaporación del agua y en la recuperación de partículas, particularmente cuando se procesan materiales que contienen azúcares y otros sólidos solubles. En este estudio, la ausencia de tratamientos con diferentes temperaturas impidió evaluar estadísticamente la influencia de este factor sobre los rendimientos obtenidos.

La humedad final del producto fue aproximadamente de 8 %, lo que permitió caracterizar una de las condiciones físicas de los polvos obtenidos. Aunque la reducción de humedad constituye un aspecto importante para el procesamiento y conservación de ingredientes deshidratados, no se realizaron pruebas de estabilidad durante el almacenamiento que permitan afirmar una mayor conservación de los compuestos bioactivos a lo largo del tiempo.

En consecuencia, la obtención de polvos microencapsulados demostró la viabilidad experimental del procedimiento utilizado para procesar guayaba y nuez de marañón. No obstante, los rendimientos obtenidos sugieren la necesidad de desarrollar estudios complementarios que evalúen la concentración de sólidos, las proporciones de maltodextrina y las condiciones operativas del secado, con la finalidad de mejorar la recuperación de producto y su aprovechamiento agroindustrial.

5.3. Capacidad antioxidante de las formulaciones experimentales

5.3.1. Capacidad antioxidante mediante el método ABTS

La capacidad antioxidante determinada mediante el método ABTS presentó valores comprendidos entre 2919,08 y 31971,48 µmol ET/g en las

formulaciones experimentales. Este intervalo evidenció diferencias numéricas entre los tratamientos; sin embargo, el análisis de varianza del modelo cúbico de mezclas no mostró significancia estadística ($p = 0,2751$), al superar el nivel de significancia establecido de 0,05. En consecuencia, no se obtuvo evidencia estadística suficiente para afirmar que las proporciones de polvo microencapsulado de guayaba, polvo microencapsulado de nuez de marañón y chancaca influyeron significativamente sobre la capacidad antioxidante evaluada mediante este método.

Asimismo, los términos de interacción considerados en el modelo no presentaron significancia estadística. Este comportamiento indica que, dentro de los intervalos de formulación estudiados, no fue posible identificar efectos suficientemente consistentes de las combinaciones de ingredientes sobre la respuesta ABTS. Es importante señalar que la ausencia de significancia no demuestra que los componentes carezcan de actividad antioxidante, sino que el modelo evaluado no permitió establecer una relación estadísticamente significativa entre sus proporciones y los valores obtenidos.

La falta de ajuste del modelo tampoco fue significativa ($p = 0,2678$). Aunque este resultado no evidenció discrepancias estadísticas suficientes entre el modelo y los datos experimentales, no constituye por sí mismo una demostración de adecuada capacidad predictiva. Por tanto, la interpretación de las respuestas ABTS debe considerar conjuntamente la falta de significancia global del modelo y la variabilidad observada entre los tratamientos.

Desde el punto de vista analítico, este comportamiento puede relacionarse con la naturaleza del método ABTS, que evalúa la reacción de los componentes de la muestra frente al radical catión ABTS•+. La respuesta depende de las características químicas de las sustancias presentes, sus concentraciones y las condiciones específicas del ensayo. Suvarna et al. (2024) y Knez et al. (2025) señalaron que las características de la matriz alimentaria y las condiciones analíticas pueden influir en la determinación de la capacidad antioxidante.

Asimismo, Osorio et al. (2023) destacaron la importancia de considerar los diferentes mecanismos de reacción de los métodos utilizados para evaluar antioxidantes. En este sentido, las respuestas obtenidas mediante ABTS no necesariamente presentan el mismo comportamiento que aquellas determinadas mediante ORAC, debido a que ambos ensayos se fundamentan en procedimientos y mecanismos analíticos diferentes.

Por consiguiente, los resultados del método ABTS constituyeron información complementaria sobre las características antioxidantes de las formulaciones, pero no proporcionaron evidencia estadística suficiente para sustentar la optimización de esta respuesta mediante el modelo cúbico evaluado. Este hallazgo debe considerarse al interpretar el alcance de la investigación y al establecer las conclusiones relacionadas con la capacidad antioxidante.

5.3.2. Capacidad antioxidante mediante el método ORAC

La evaluación de la capacidad antioxidante mediante el método

ORAC permitió identificar un comportamiento diferente al observado con ABTS. El análisis de varianza del modelo cúbico de mezclas presentó un valor de p = 0,0755, superior al nivel de significancia de 0,05. Por tanto, el modelo global no resultó estadísticamente significativo, lo que limita la posibilidad de afirmar que explicó de manera suficiente la variación de la capacidad antioxidante en toda la región experimental.

Sin embargo, el análisis de los términos del modelo permitió identificar significancia estadística en la interacción entre guayaba y chancaca (AC), con p = 0,0235, y en el término no lineal BC(B–C), con p = 0,0177. Estos resultados sugieren que determinadas combinaciones de los componentes estuvieron asociadas con variaciones de la respuesta ORAC. No obstante, debido a que el modelo global no alcanzó significancia estadística, estos efectos deben interpretarse con cautela y no como una confirmación concluyente de la capacidad predictiva del modelo.

Los resultados también evidenciaron que las interacciones AB, BC y ABC, consideradas individualmente en sus términos correspondientes, no alcanzaron significancia estadística. Por su parte, la falta de ajuste presentó un valor de p = 0,9432, por lo que no se identificó evidencia estadística suficiente de falta de ajuste. Este resultado es favorable desde el punto de vista del diagnóstico del modelo, aunque no elimina la limitación derivada de su falta de significancia global.

En los diagramas de contorno y superficies de respuesta se observaron regiones con valores elevados de ORAC asociadas con determinadas combinaciones de los tres ingredientes. Particularmente, las formulaciones con mayor proporción de guayaba y niveles intermedios de

chancaca mostraron respuestas estimadas favorables.

Este comportamiento puede relacionarse con la composición de la guayaba, materia prima reconocida por contener vitamina C y diversos compuestos fenólicos con propiedades antioxidantes.

Al respecto, Vargas et al. (2026) destacaron la presencia de componentes antioxidantes en frutas tropicales, mientras que Osorio et al. (2023) señalaron que el comportamiento de los antioxidantes puede modificarse según las características de la matriz alimentaria. Estos planteamientos proporcionan una explicación teórica de las tendencias observadas, aunque la presente investigación no determinó individualmente las concentraciones de vitamina C ni de los diferentes compuestos fenólicos presentes en las formulaciones.

Por otro lado, la participación de la nuez de marañón podría estar relacionada con su composición química y con las interacciones entre sus constituyentes y los demás ingredientes. Ying-Ying et al. (2023) señalaron la importancia de considerar las características de los componentes alimentarios al interpretar su comportamiento antioxidante. Sin embargo, los resultados obtenidos no permiten atribuir a una sustancia específica las variaciones observadas en ORAC.

En relación con la chancaca, las representaciones gráficas mostraron una tendencia hacia menores valores de capacidad antioxidante en determinadas regiones con mayor participación de este ingrediente. Una posible explicación es el cambio en la proporción relativa de los componentes que aportan sustancias antioxidantes. No obstante, esta interpretación debe considerarse una hipótesis, puesto que no se cuantificó

de manera independiente el aporte antioxidante de cada ingrediente ni se evaluaron directamente mecanismos de dilución o sinergia.

En consecuencia, los resultados de ORAC permitieron identificar tendencias e interacciones de interés dentro del diseño de mezclas. Sin embargo, la falta de significancia estadística del modelo global indica que la optimización basada en esta respuesta debe interpretarse como una estimación del modelo, cuya confiabilidad requiere confirmación mediante ensayos experimentales adicionales.

5.4. Contenido de compuestos fenólicos totales mediante Folin-Ciocalteu

El contenido de compuestos fenólicos totales presentó diferencias entre las formulaciones experimentales, registrándose valores comprendidos entre 44,42 y 86,63 mg EAG/100 g. El análisis de varianza del modelo cúbico de mezclas mostró significancia estadística ($p = 0,0049$), lo que evidenció que las proporciones de los componentes estuvieron relacionadas significativamente con las variaciones del contenido fenólico total dentro de los intervalos evaluados.

Este resultado concuerda con los planteamientos de Granato et al. (2020) y Galván et al. (2021), quienes destacaron la utilidad de los diseños experimentales de mezclas para estudiar el comportamiento de diferentes respuestas alimentarias en función de las proporciones de sus ingredientes. En el presente estudio, la significancia del modelo permitió sustentar estadísticamente la influencia de la formulación sobre el contenido de compuestos fenólicos totales.

El término de mezcla lineal también resultó significativo (p = 0,0190), lo que indicó que la composición relativa de los ingredientes contribuyó a explicar las variaciones observadas. Asimismo, la interacción entre guayaba y nuez de marañón (AB) presentó significancia estadística (p = 0,0061), evidenciando que la combinación de ambos componentes estuvo asociada con cambios en la respuesta que no pueden describirse únicamente mediante sus contribuciones lineales.

Por su parte, la interacción entre guayaba y chancaca (AC) presentó un valor de p = 0,0567, ligeramente superior al nivel de significancia establecido. Por tanto, no se consideró estadísticamente significativa al 5%, aunque mostró una tendencia próxima al umbral de decisión. De igual manera, la interacción BC (p = 0,1239) y el término ternario ABC (p = 0,6822) no alcanzaron significancia estadística.

En cuanto a los términos no lineales, AC(A–C) presentó un valor de p = 0,0350 y BC(B–C) alcanzó p = 0,0020, evidenciando asociaciones significativas con el contenido de fenoles totales. Estos resultados sugieren que el comportamiento de la respuesta dependió no solamente de las proporciones individuales, sino también de determinadas relaciones no lineales entre los componentes. En contraste, el término AB(A–B) no fue significativo (p = 0,8754).

La falta de ajuste del modelo presentó un valor de p = 0,6939, por lo que no se identificó evidencia estadística suficiente de discrepancia entre el modelo y las observaciones experimentales. Considerando conjuntamente este resultado y la significancia global del modelo, el análisis proporcionó un fundamento estadístico más sólido para estudiar y

optimizar el contenido fenólico total que el obtenido para las respuestas ABTS y ORAC.

Los diagramas de contorno y superficies de respuesta permitieron visualizar regiones de la mezcla asociadas con mayores valores estimados de compuestos fenólicos totales. Estas tendencias pueden relacionarse con las características químicas de las materias primas, especialmente con la presencia de sustancias fenólicas en la guayaba. Bohee y Youngjae (2025) señalaron la importancia de los compuestos bioactivos presentes en esta fruta, lo que proporciona un fundamento para interpretar su participación en las formulaciones estudiadas.

Sin embargo, debe considerarse que el método de Folin-Ciocalteu responde a sustancias con capacidad reductora y no exclusivamente a compuestos fenólicos. Por ello, los valores obtenidos representan una estimación analítica del contenido fenólico total, que puede estar influida por otros constituyentes de las materias primas. Esta característica metodológica resulta especialmente importante al analizar formulaciones que combinan ingredientes vegetales con composiciones químicas diferentes.

En conjunto, los resultados evidenciaron que el contenido de fenoles totales fue la respuesta que presentó el respaldo estadístico más consistente dentro de los modelos evaluados. La significancia del modelo global y de determinadas interacciones permitió establecer una relación entre la composición de la mezcla y la respuesta experimental, aportando fundamentos para el proceso de optimización de la formulación.

5.5. Optimización de la capacidad antioxidante y del contenido de fenoles totales

La optimización de la formulación mediante la función de deseabilidad permitió identificar una combinación constituida por 41,69% de polvo microencapsulado de guayaba, 11,39% de polvo microencapsulado de nuez de marañón y 46,92% de chancaca. Esta formulación se encontró dentro de los límites experimentales establecidos para los tres componentes y representó la solución propuesta por el procedimiento de optimización aplicado.

Los valores predichos para dicha formulación fueron de 88,04 mg EAG/100 g de compuestos fenólicos totales y 7769,11 µmol ET/g de capacidad antioxidante mediante ORAC, según las unidades consignadas en el apartado de optimización del documento original. Estos resultados correspondieron a estimaciones matemáticas generadas a partir de los modelos de respuesta y no deben confundirse con determinaciones experimentales de una formulación de validación.

La aplicación de funciones de deseabilidad constituye una estrategia utilizada para abordar problemas de optimización con múltiples respuestas, particularmente cuando se busca identificar combinaciones de ingredientes que satisfagan simultáneamente diferentes criterios. Granato et al. (2020) y Galván et al. (2021) destacaron la utilidad de las herramientas estadísticas para estudiar formulaciones alimentarias y establecer condiciones favorables a partir de los resultados experimentales.

Desde el punto de vista composicional, la formulación seleccionada presentó una proporción relativamente elevada de polvo microencapsulado

de guayaba, lo que resulta compatible con las tendencias observadas en las representaciones gráficas de capacidad antioxidante y contenido fenólico total. No obstante, los resultados no permiten establecer que la guayaba fuera el único componente responsable de las respuestas, debido a que el diseño experimental evaluó mezclas y no los ingredientes de manera aislada.

La proporción de nuez de marañón, equivalente al 11,39%, también formó parte de la solución propuesta por el modelo. Su presencia puede relacionarse con la contribución conjunta de los ingredientes a las respuestas de interés. Sin embargo, no se realizaron ensayos específicos para demostrar mecanismos de sinergia entre los compuestos bioactivos de ambas materias primas.

Por otra parte, la chancaca representó el 46,92% de la formulación optimizada. Este componente participó en la composición de las mezclas y, por consiguiente, en el comportamiento estadístico de las respuestas. Aunque puede desempeñar una función edulcorante en la formulación, la presente investigación no evaluó su aceptabilidad sensorial ni sus efectos sobre la estabilidad durante el almacenamiento.

Es importante destacar que el contenido de fenoles totales presentó un modelo global estadísticamente significativo ($p = 0,0049$), mientras que los modelos correspondientes a ABTS ($p = 0,2751$) y ORAC ($p = 0,0755$) no alcanzaron significancia estadística al nivel de 0,05. Esta diferencia constituye una limitación importante para interpretar la optimización conjunta de las respuestas antioxidantes. En particular, el valor predicho de ORAC debe considerarse una estimación exploratoria cuya capacidad

predictiva requiere comprobación adicional.

Asimismo, la investigación no presentó una validación experimental independiente de la formulación óptima que permitiera comparar directamente los valores predichos con los valores observados. Por consiguiente, aunque la función de deseabilidad permitió identificar una combinación favorable según los modelos utilizados, su confirmación requiere preparar nuevamente la formulación seleccionada y determinar experimentalmente las respuestas correspondientes.

Finalmente, los resultados obtenidos demostraron la utilidad del diseño de mezclas para estudiar la influencia de las proporciones de guayaba, nuez de marañón y chancaca sobre las características analíticas de la formulación. La evidencia estadística fue especialmente consistente para el contenido de fenoles totales, mientras que las respuestas de capacidad antioxidante presentaron limitaciones que deben reconocerse en la interpretación de los resultados. En este sentido, la formulación identificada constituye una propuesta de optimización que puede servir como punto de partida para futuras investigaciones orientadas a su validación experimental y al desarrollo de productos agroindustriales con compuestos bioactivos.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES

De acuerdo con los objetivos planteados y los resultados obtenidos en la presente investigación, se establecieron las siguientes conclusiones:

- En relación con el objetivo general, se identificó mediante el diseño experimental de mezclas una formulación optimizada constituida por 41,69% de polvo microencapsulado de guayaba, 11,39% de polvo microencapsulado de nuez de marañón y 46,92% de chancaca. La combinación seleccionada presentó valores predichos de 88,04 mg EAG/100 g de fenoles totales y 7769,11 para la capacidad antioxidante mediante ORAC. Estos resultados constituyeron una propuesta de optimización matemática de la formulación, cuya confirmación requiere validación experimental, especialmente debido a que el modelo global de ORAC no alcanzó significancia estadística.

- En relación con el primer objetivo específico**,** se determinó que las proporciones de los componentes presentaron comportamientos diferentes respecto a la capacidad antioxidante evaluada mediante los métodos ABTS y ORAC. Para ABTS, los valores experimentales oscilaron entre 2919,08 y 31971,48 µmol ET/g; sin embargo, el modelo cúbico de mezclas no fue estadísticamente significativo ($p = 0,2751$). En el caso de ORAC, se registraron valores comprendidos entre 2788,92 y 7184,91, identificándose términos de interacción significativos entre guayaba y chancaca ($p = 0,0235$) y en el término BC(B–C) ($p = 0,0177$). No obstante, el modelo global tampoco alcanzó significancia estadística ($p = 0,0755$). Por

consiguiente, las proporciones propuestas para maximizar la capacidad antioxidante deben considerarse estimaciones que requieren confirmación experimental.

- En relación con el segundo objetivo específico, se determinó que las proporciones de polvo microencapsulado de guayaba, polvo microencapsulado de nuez de marañón y chancaca influyeron significativamente en el contenido de compuestos fenólicos totales de las formulaciones, según el modelo cúbico de mezclas ($p = 0,0049$). Los valores experimentales oscilaron entre 44,42 y 86,63 mg EAG/100 g. Asimismo, se identificaron efectos significativos en la interacción guayaba–marañón ($p = 0,0061$) y en los términos no lineales AC(A–C) ($p = 0,0350$) y BC(B–C) ($p = 0,0020$). La optimización permitió establecer un contenido fenólico predicho de 88,04 mg EAG/100 g para la formulación seleccionada, constituyendo la respuesta con mayor respaldo estadístico dentro de los modelos evaluados.

CAPÍTULO VII

RECOMENDACIONES

Considerando los resultados obtenidos, las conclusiones establecidas y las limitaciones identificadas durante el desarrollo de la investigación, se formularon las siguientes recomendaciones:

- En relación con el objetivo general, se recomienda realizar la validación experimental de la formulación optimizada, constituida por 41,69% de polvo microencapsulado de guayaba, 11,39% de polvo microencapsulado de nuez de marañón y 46,92 % de chancaca. Para ello, se deberá preparar la mezcla bajo condiciones controladas y determinar nuevamente la capacidad antioxidante y el contenido de fenoles totales, comparando los resultados observados con los valores predichos mediante el diseño de mezclas. Esta evaluación permitirá establecer la precisión y reproducibilidad de la formulación propuesta.

- En relación con el primer objetivo específico, se recomienda desarrollar investigaciones complementarias orientadas a mejorar la evaluación y optimización de la capacidad antioxidante mediante los métodos ABTS y ORAC, considerando un mayor número de repeticiones experimentales y la revisión de los modelos estadísticos utilizados. Asimismo, se sugiere evaluar formulaciones adicionales dentro de la región experimental y verificar las condiciones analíticas de ambos métodos, con la finalidad de reducir la variabilidad observada y obtener modelos con mayor capacidad predictiva.

- En relación con el segundo objetivo específico, se recomienda profundizar en el estudio de las interacciones entre el polvo microencapsulado de guayaba, el polvo microencapsulado de nuez de marañón y la chancaca, especialmente aquellas que presentaron significancia estadística sobre el contenido de fenoles totales. Se sugiere complementar la determinación mediante Folin-Ciocalteu con técnicas analíticas más específicas para identificar y cuantificar compuestos fenólicos individuales, así como evaluar su comportamiento durante el almacenamiento, con la finalidad de ampliar el conocimiento sobre las características funcionales de la formulación optimizada.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Arteaga, A., & Arteaga, H. (2016). Optimización de la capacidad antioxidante, contenido de antocianinas y capacidad de rehidratación en polvo de arándano (*Vaccinium corymbosum*) microencapsulado con mezclas de hidrocoloides. *Scientia Agropecuaria, 7*(Número especial), 191–200.

Ashwaq, T. K., & Enas, J. (2024). *Psidium guajava*: Una revisión de sus componentes farmacológicos y fitoquímicos. *Biomedical & Pharmacology Journal, 17*(2).

Ávila-Palma, A., Contreras-Martínez, C., Gutiérrez-Hernández, R., Ramos-Muñoz, L., García-González, J., Carranza-Téllez, J., & Carranza-Concha, J. (2023). Caracterización fisicoquímica, polifenoles totales y capacidad antioxidante en tres variedades de guayaba de la región de Santiago el Chique, Zacatecas. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos, 8*, 201–207.

Bińkowska, W., Szpicer, A., Stelmasiak, A., Wojtasik-Kalinowska, I., & Półtorak, A. (2024). Microencapsulación de polifenoles y su aplicación en tecnología alimentaria. *Applied Sciences, 14*(24), 11954.

Bohee, C., & Youngjae, S. (2025). Análisis comparativo de las características fisicoquímicas, el contenido de compuestos antioxidantes y las actividades antioxidantes de cinco cultivares de guayaba (*Psidium guajava* L.) cosechados en Corea. *Foods, 14*(21), 3645.

Bustamante-Bernedo, M. S., León Félix, L., Huamán-Castilla, N. L., Ponce, S., & Pacheco-Salazar, D. G. (2025). Microencapsulation of natural antioxidant-rich and pH-sensitive extracts from Peruvian purple corn (*Zea mays* L.) cob using spray-drying. *International Journal of Biological*

Cano, V., & Puente, I. (2021). *Evaluación de una bebida funcional de pulpa de piña (Ananas comosus) y naranja (Citrus sinensis) con adición de L-carnitina a diferentes concentraciones* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú].

Causil Espitia, K. (2021). *Composición bromatológica y bioactividad de la nuez y seudofruto de Anacardium occidentale L.: Una revisión* [Trabajo académico, Universidad de Córdoba].

Chérrez Neacato, A., Chillogalli Alonso, J., Feijoo Fernández, J., & Rondal Simbaña, J. (2025). Liofilización de miel de abeja usando maltodextrina como encapsulante para la producción de miel en polvo. *Revista Veritas de Difusão Científica, 6*(1).

Contreras, R., Pizarro, M., & Batista-González, A. (2025). Exploración de metabolitos vegetales para aplicaciones en alimentos funcionales: Una revisión de compuestos bioactivos y su uso potencial en la industria alimentaria. *Food Science & Technology, 6*(1), 15–33.

Dakuyo, R., Konaté, K., Bazié, D., & Sanou, A. (2022). Correlacionar la morfología de los frutos de *Anacardium occidentale* L. de 30 huertos con sus propiedades fisicoquímicas y nutricionales. *Frontiers in Plant Science, 13*, 1033577.

Diallo, M., Madoumier, M., Bassama, J., Ollier, L., Chapuis, A., & Collignan, A. (2025). Impactos individuales y combinados de la inmersión en agua, el vaporizado a 100 °C y el secado con aire caliente en el proceso de descascarado de la nuez de anacardo. *Journal of Food Science and Technology*.

Díaz Ávila, A. D. (2024). *Evaluación de propiedades funcionales a la pulpa microencapsulada de nuez de casho (Anacardium occidentale L.) secado a diferentes temperaturas de atomización y encapsulante en Ucayali* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ucayali].

Elhassaneen, Y., Garib, M., Abd El-Rahman, T., & Abd El-Moez, O. (2025). Extractos bioactivos coloreados de residuos alimentarios agroindustriales: Ingredientes funcionales para mejorar la calidad y la salud de los alimentos. *American Journal of Food Science and Technology, 13*(3), 53–69.

Farwa, I., Saeed, A., Muhammad, Q., Tariq, I., Wisha, S., Tuba, E., & Seid, M. (2025). A comprehensive review on guava: Nutritional profile, bioactive potential, and health-promoting properties of its pulp, peel, seeds, pomace and leaves. *Trends in Food Science & Technology, 156*, 104822.

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2024). *FAOSTAT: Crops and livestock products—Cashew nuts, with shell*.

Galván, D., Effting, L., Cremasco, H., & Conte-Junior, C. (2021). Aplicaciones recientes de diseños de mezclas en bebidas, alimentos y productos farmacéuticos para la salud: Una revisión sistemática y un metaanálisis. *Foods, 10*(8), 1941.

García-Chacón, J., Rodríguez-Pulido, F., Heredia, F., González-Miret, M., & Osorio, C. (2024). Caracterización y evaluación de la bioaccesibilidad de compuestos bioactivos de polvos de camu-camu (*Myrciaria dubia*) y sus aplicaciones alimentarias. *Food Research International*, artículo 113820.

Granato, D., Barba, F. J., Bursać Kovačević, D., Lorenzo, J. M., Cruz, A. G., & Putnik, P. (2020). Functional foods: Product development, technological

trends, efficacy testing, and safety. *Annual Review of Food Science and Technology, 11*, 93–118.

Knez, E., Kadac-Czapska, K., & Grembecka, M. (2025). Evaluación de métodos espectrofotométricos para determinar el potencial antioxidante en muestras de alimentos vegetales: Un enfoque crítico. *Applied Sciences, 15*(11), 5925.

Mattos, M. J. (2024). *Determinación fisicoquímica, contenido de antocianinas y carotenoides totales en una bebida instantánea de pulpa microencapsulada de guayaba (Psidium guajava L.) y nuez de marañón (Anacardium occidentale L.), Pucallpa-2022* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ucayali].

Mihaylova, D., Dimitrova-Dimova, M., & Popova, A. (2024). Compuestos fenólicos en la dieta: Bienestar y aplicaciones futuras. *International Journal of Molecular Sciences, 25*(9), 4769.

Ministerio de Agricultura y Riego. (2024). *Líneas de cultivos emergentes: Cultivos amazónicos*.

Mora Varela, J. A., Mora Mejía, S., Grisales Mejía, J. F., Martínez Correa, H. A., & Torres Castañeda, H. G. (2023). Extracción, optimización y capacidad antioxidante de extractos de frutos silvestres de palmas (*E. oleracea, O. bataua* y *O. mapora*) del Pacífico colombiano. *Acta Agronómica, 72*(1), 16–22.

Neacșu, S., Mititelu, M., & Ozon, E. (2024). Análisis exhaustivo de nuevas formulaciones antioxidantes sinérgicas: Perspectivas sobre sus propiedades farmacotécnicas, físicas, químicas y antioxidantes. *Pharmaceuticals, 17*(6), 690.

Obando, M. (2024, 19 de mayo). Los misterios del casho: El tesoro escondido de la naturaleza que te ayuda a potenciar la memoria y la salud. *Infobae*.

Orduz-Rodríguez, J., & Rodríguez-Polanco, E. (2022). El marañón (*Anacardium occidentale* L.), un cultivo con potencial productivo: Desarrollo tecnológico y perspectivas en Colombia. *Agronomía Mesoamericana, 33*(2), 47268.

Osorio-Valencia, A., Franco-Mejía, J., Hoyos-Arbeláez, J., Blandón-Naranjo, L., Vega-Castro, O., & Contreras-Calderón, J. (2023). Evaluación de la capacidad antioxidante en diferentes matrices alimentarias mediante voltametría de pulso diferencial y su correlación con métodos espectrofotométricos. *Journal of Applied Electrochemistry, 53*, 2495–2505.

Prior, R. L., Wu, X., & Schaich, K. (2005). Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplements. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 53*(10), 4290–4302.

Pudžiuvelytė, L., Petrauskaitė, E., Stabrauskienė, J., & Bernatonienė, J. (2025). Microencapsulación por secado por pulverización de bioactivos naturales: Avances en materiales de pared sostenibles. *Pharmaceuticals, 18*(7), 963.

Ramos Quispe, I. (2024). *Evaluación de la microencapsulación de compuestos bioactivos extraídos de coronta de maíz morado (Zea mays L.) en matrices de maltodextrina y goma de tara* [Tesis, Universidad Nacional José María Arguedas].

Ríos-Aguirre, S., & Gil-Garzón, M. (2021). Microencapsulación por secado por aspersión de compuestos bioactivos en diversas matrices: Una revisión. *TecnoLógicas, 24*(51), e1836.

Rivera-Rojas, F. N., Guerrero-Naranjo, L. E., Montero-Mora, M. C., & Vargas-Peralvo, E. A. (2024). Optimización de la extracción de compuestos polifenólicos totales y actividad antioxidante de *Hibiscus sabdariffa* L. *Código Científico Revista de Investigación, 5*(E3), 97–118.

Saeid, J., Seid Mahdi, J., Mahdi Di, E., Isaya, K., & Kitipong, A. (2023). A decade overview and prospect of spray drying encapsulation of bioactives from fruit products: Characterization, food application and in vitro gastrointestinal digestion. *Food Hydrocolloids*, artículo 108068.

Saini, N., Anmol, A., Kumar, S., Wani, A., Bakshi, M., & Dhiman, Z. (2024). Exploración de los compuestos fenólicos como atenuantes naturales del estrés en las plantas: Una revisión exhaustiva. *Physiological and Molecular Plant Pathology, 133*, 102383.

Shahidi, F., & Ambigaipalan, P. (2015). Phenolics and polyphenolics in foods, beverages and spices: Antioxidant activity and health effects—A review. *Journal of Functional Foods, 18*, 820–897.

Sharma, K., Kondle, R., & Wani, A. (2023). Evaluación de recubrimientos comestibles naturales para mejorar la calidad poscosecha y la vida útil de los frutos de guayaba (*Psidium guajava* L.). *Annals of Phytomedicine, 12*(1), 808–815.

Shicai, S., Ying, Y., Yunju, J., Jung, H., Yingqi, X., Minkyoung, C., & Shiwei, Z. (2025). Impacto de las técnicas de extracción en la composición fitoquímica y la bioactividad de mezclas de productos naturales. *Frontiers in Pharmacology, 16*, 1615338.

Singleton, V. L., Orthofer, R., & Lamuela-Raventós, R. M. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology, 299*, 152–178.

Singh, R. (2022). *Alimentos funcionales y nutracéuticos en enfermedades metabólicas y no transmisibles* (pp. 79–85). Academic Press.

Solomon Worku, K. (2021). Aplicación de la metodología de superficie de respuesta en el modelado y la optimización de procesos alimentarios. *IntechOpen*.

Suvarna, Y., Ramya, P., & Naga Prashant, K. (2024). Avances recientes en métodos analíticos e instrumentación para el análisis de antioxidantes naturales. *Talanta Open, 13*, 100602.

Terrones, L., Terrones, J., Idrogo, L., Castillo, L., & Velásquez-Barreto, F. (2022). Diseño y optimización de una mezcla de compota elaborada a partir de pulpa de guayaba, chalarina y oca. *Revista de Investigación Agropecuaria Science and Biotechnology, 2*(2), 15–24.

Tirado-Kulieva, V., Sánchez-Chero, M., Villegas-Yarlequé, M., Villegas-Aguilar, G., Carrión-Barco, G., Ygnacio-Santa Cruz, A., & Sánchez-Chero, J. (2021). Panorama general del uso de la metodología de superficie de respuesta para modelar y optimizar los procesos de extracción en la industria alimentaria. *Nutrition and Food Science, 9*(3), 745–754.

Travis, C., McMaster, J., & Rivas, F. (2026). Avances en la extracción de productos naturales: Tecnologías establecidas y emergentes. *Molecules, 31*(7), 1136.

Vargas-Ramella, M., Ely, J., Favaro-Trindade, C., Alves dos Santos, B., Bastianello Campagnol, P., & Lorenzo, J. (2026). Caracterización analítica

y cuantificación de antioxidantes derivados de plantas: Enfoque en métodos, limitaciones y comparabilidad de datos. *Food Analytical Methods, 19*, artículo 162.

Xindi, T., Wenzhan, J., Jiaying, S., & Fanqianhui, Y. (2025). Avances recientes en tecnologías de secado para productos de naranja. *Foods, 14*(17), 3051.

Ying-Ying, C., Ningyang, L., Xu, G., & Hai-jie, H. (2023). Componentes nutricionales y bioactivos, actividades funcionales y aplicaciones industriales del anacardo (*Anacardium occidentale*): Una revisión. *Food Frontiers, 4*(4).

Zambrano Vélez, M., Vera Zambrano, A., & Vera Arteaga, T. (2024). Microencapsulación en la industria alimentaria: Avances y tendencias actuales. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria, 9*(2), 51–60.

ANEXOS

ANEXO 1

PROTOCOLO DE ANÁLISIS DE CAPACIDAD ANTIOXIDANTE POR MÉTODO ABTS

1. Principio del método

El método ABTS se basa en la generación del radical catiónico ABTS, el cual presenta una coloración verde-azulada. Los compuestos antioxidantes presentes en la muestra reducen este radical, provocando una disminución de la absorbancia, proporcional a la capacidad antioxidante.

2. Reactivos

- ABTS (2,2′-azinobis-(3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfónico))
- Persulfato de potasio ($K_2S_2O_8$)
- Etanol o buffer fosfato
- Trolox (estándar antioxidante)
- Agua destilada

3. Preparación del radical ABTS

- Preparar una solución de ABTS 7 mM.
- Preparar una solución de persulfato de potasio 2.45 mM.
- Mezclar ambas soluciones en proporción 1:1.
- Dejar reaccionar en oscuridad durante 12–16 horas a temperatura ambiente para formar el radical $ABTS^{\bullet+}$.
- Diluir la solución con etanol o buffer hasta obtener una absorbancia de 0.70 ± 0.02 a 734 nm.

4. Preparación de la curva estándar

- Preparar soluciones de Trolox en diferentes concentraciones (por ejemplo: 0–500 µM).

- Estas soluciones serán utilizadas para construir la curva de calibración.

5. Procedimiento

- Añadir 20–30 µL de muestra o estándar en una cubeta o microplaca.
- Agregar 2.0–3.0 mL de solución $ABTS^{\bullet+}$ (o 200 µL en microplaca).
- Mezclar suavemente.
- Incubar durante 6–10 minutos a temperatura ambiente en oscuridad.
- Medir la absorbancia a 734 nm.

6. Cálculos

- Construir la curva estándar (Absorbancia vs concentración de Trolox).
- Determinar la capacidad antioxidante de la muestra interpolando en la curva.
- Expresar los resultados como: µmol equivalentes de Trolox por gramo de muestra (µmol TE/g)

ANEXO 2

PROTOCOLO DE ANÁLISIS DE CAPACIDAD ANTIOXIDANTE POR MÉTODO ORAC

1. Principio del método

El método ORAC (*Oxygen Radical Absorbance Capacity*) evalúa la capacidad antioxidante de una muestra para inhibir la oxidación inducida por radicales peroxilo generados a partir de AAPH. La fluoresceína actúa como sonda fluorescente, cuya degradación es retardada en presencia de antioxidantes. La capacidad antioxidante se cuantifica mediante el área bajo la curva (AUC) de la fluorescencia.

2. Reactivos

- Fluoresceína sódica
- AAPH (2,2′-azobis(2-amidinopropano) diclorhidrato)
- Trolox (estándar antioxidante)
- Buffer fosfato 75 mM (pH 7.4)
- Agua destilada

3. Preparación de soluciones

- **Fluoresceína:** preparar una solución de trabajo (≈ 70–80 nM) en buffer fosfato.
- **AAPH:** preparar solución fresca (≈ 12–153 mM) en buffer fosfato justo antes del análisis.
- **Trolox:** preparar soluciones estándar en un rango adecuado (por ejemplo, 0–100 µM).

4. Procedimiento (microplaca de 96 pocillos)

- Añadir **25 µL** de muestra o estándar (Trolox) en cada pocillo.
- Agregar **150 µL** de fluoresceína.
- Incubar la placa a **37 °C durante 10–15 minutos**.

- Añadir rápidamente **25 µL de AAPH** para iniciar la reacción.
- Medir la fluorescencia (λ excitación ≈ 485 nm; λ emisión ≈ 520 nm).
- Registrar lecturas cada **1 minuto durante 60–90 minutos**.

5. Cálculos

- Calcular el **área bajo la curva (AUC)** para cada muestra:

$$AUC = 1 + \sum \frac{F_t}{F_0}$$

- Determinar el **AUC neto**:

$$AUC_{neto} = AUC_{muestra} - AUC_{blanco}$$

- Construir la curva estándar con Trolox (AUC vs concentración).
- Expresar los resultados como: µmol equivalentes de Trolox por gramo de muestra (µmol TE/g)

ANEXO 3

PROTOCOLO DE ANÁLISIS DE COMPUESTOS FENÓLICOS TOTALES (MÉTODO FOLIN-CIOCALTEU)

1. Principio del método

El método Folin-Ciocalteu se basa en la reacción de los compuestos fenólicos con el reactivo Folin, formando un complejo de color azul en medio alcalino. La intensidad del color es proporcional al contenido de compuestos fenólicos y se mide espectrofotométricamente.

2. Reactivos

- Reactivo Folin-Ciocalteu (comercial)
- Carbonato de sodio (Na_2CO_3) al 7–10 % (p/v)
- Ácido gálico (estándar)
- Etanol o metanol (según extracción)
- Agua destilada

3. Preparación de soluciones

- Folin-Ciocalteu: diluir 1:10 con agua destilada antes de su uso.
- Na_2CO_3: preparar solución al 7.5 % (p/v).
- Ácido gálico: preparar soluciones estándar (por ejemplo, 0–200 mg/L).

4. Procedimiento

- Colocar 0.5 mL de muestra o estándar en un tubo de ensayo.
- Añadir 2.5 mL de reactivo Folin-Ciocalteu diluido.
- Mezclar y dejar reposar durante 5 minutos.
- Agregar 2.0 mL de solución de Na_2CO_3 (7.5%).
- Mezclar e incubar en oscuridad durante 30 minutos a temperatura ambiente.

- Medir la absorbancia a 760–765 nm.

  (En microplaca: ajustar volúmenes proporcionalmente, por ejemplo 20–25 µL muestra + 100 µL Folin + 80 µL Na_2CO_3).

5. Curva estándar

- Construir la curva con soluciones de ácido gálico.
- Graficar absorbancia vs concentración.

6. Cálculos

- Determinar la concentración a partir de la curva estándar.
- Expresar los resultados como: mg equivalentes de ácido gálico por 100 g de muestra (mg GAE/100 g)

ANEXO 4

PANEL FOTOGRÁFICO

Figura 1A
Recepción de materia prima



Figura 2A
Despulpado de guayaba



Figura 3A
Escaldado de nuez de marañón



Figura 4A
Obtención de pulpas



Figura 5A
Filtrado



Figura 6A
Adición de maltodextrina

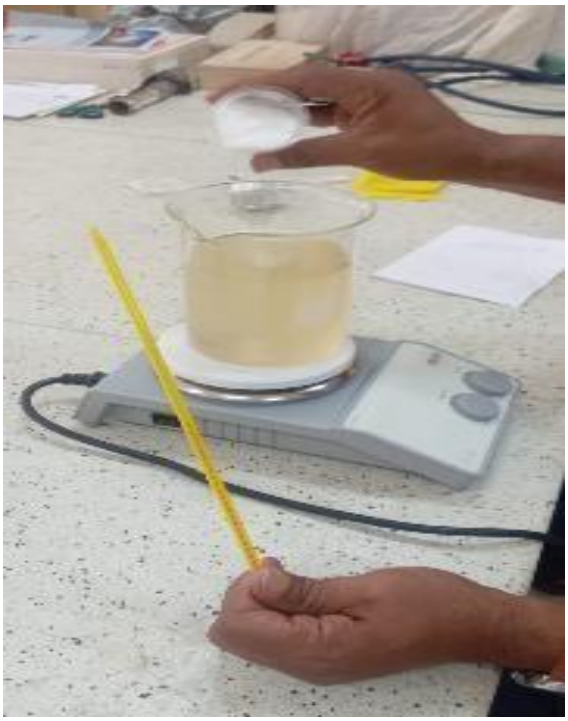


Figura 7A
Solución homogenizada



Figura 8A
Parámetros en atomizador



Figura 9A

Atomizado



Figura 10A

Polvos atomizados



Figura 11A

Envasado

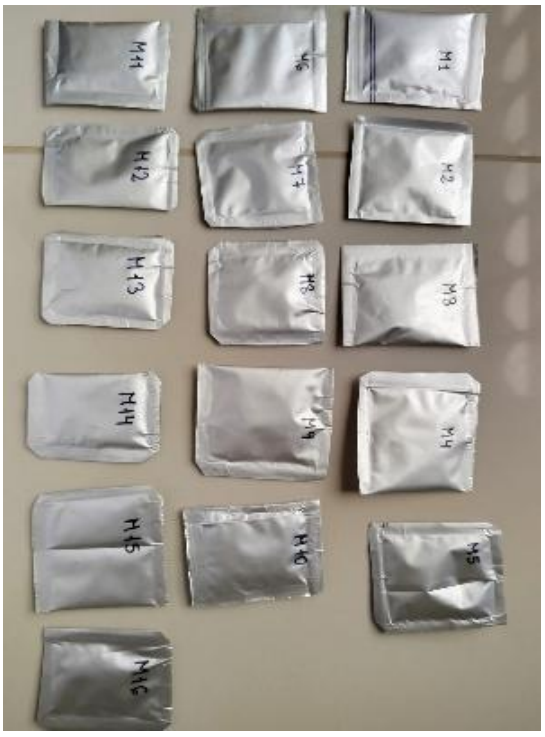


Figura 12A

Análisis de CFT

