



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

Facultad de Químico Farmacobiología

**PROGRAMA INSTITUCIONAL DE MAESTRÍA EN CIENCIAS
BIOLÓGICAS**

Caracterización sensorial y evaluación antioxidante de una bebida potencialmente funcional elaborada con *Rubus fruticosus* L. y extracto fenólico nanoencapsulado de hojas de *Psidium guajava* L.

Proyecto de tesis que presenta:

L.N Sussy Celia González Escalona

Como requisito para obtener el grado de:

Maestra en Ciencias Biológicas



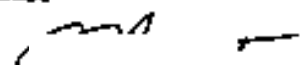
DIRECTOR DE TESIS: Dr. Héctor Eduardo Martínez Flores

Morelia, Michoacán Febrero, 2025.

DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD

El presente documento es producto del trabajo original de investigación de Susy Celia González Escalona, estudiante del Programa Institucional de Maestría en Ciencias Biológicas y respetando siempre los más altos estándares éticos solicitados por la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Todos los datos de la investigación reportada en el presente documento de tesis (excepto los indicados explícitamente en el texto), fueron obtenidos por Susy Celia González Escalona durante el periodo que fue estudiante de la Maestría en Ciencias Biológicas, bajo la Dirección del Dr. Héctor Eduardo Martínez Flores.

Morelia, Mich., a 14 de Marzo de 2025

Licenciada en Nutrición Humana Susy Celia González Escalona 

Dr. Héctor Eduardo Martínez Flores 

Programa institucional de Maestría en Ciencias Biológicas, UMSNH

Agradecimientos

Este trabajo es el resultado de una confluencia de experiencias, desafíos y aprendizajes que se presentaron a lo largo del camino. No es solo el producto de largas horas de estudio y análisis, sino también de un contexto lleno de estímulos que nutrieron cada idea plasmada aquí.

Agradezco las oportunidades que se cruzaron en mi camino, las cuales me permitieron profundizar en este tema y cuestionar mis propios límites. Los momentos de incertidumbre y las dificultades no solo pusieron a prueba mi perseverancia, sino que también me enseñaron a encontrar claridad en medio del caos.

Las herramientas, los espacios y los recursos que hicieron posible este proyecto jugaron un papel fundamental. Cada libro, cada documento consultado, cada técnica de laboratorio aprendida y empleada, cada lugar que sirvió de refugio para escribir y reflexionar fue un engranaje clave en este proceso.

También quiero reconocer el valor del tiempo, ese recurso tan escaso, que me permitió dedicarme a este trabajo y concentrarme en cada detalle con la atención que merece.

Finalmente, agradezco al propio proceso de aprendizaje, que más allá del producto final, me transformó en el camino. Esta tesis no es solo un logro académico, sino un reflejo de crecimiento personal y profesional.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS.....	3
ÍNDICE DE TABLAS	5
ÍNDICE DE FIGURAS.....	6
RESUMEN	7
ABSTRACT.....	8
INTRODUCCIÓN	9
MARCO TEÓRICO	11
DIABETES MELLITUS TIPO II (DM 2): PREVALENCIA Y FACTORES DE RIESGO.....	11
DISLIPIDEMIAS: CLASIFICACIÓN Y PREVALENCIA	12
DISLIPIDEMIAS PRIMARIAS	12
DISLIPIDEMIAS SECUNDARIAS.....	13
IMPACTO DEL ESTRÉS OXIDATIVO EN EL DESARROLLO DE LA OBESIDAD, DIABETES Y DISLIPIDEMIAS	15
COMPUESTOS FENÓLICOS (CF) Y SU RELACIÓN CON EL ESTRÉS OXIDATIVO	16
METABOLISMO DE LOS COMPUESTOS FENÓLICOS	19
ALIMENTOS FUNCIONALES	20
BEBIDAS Y SU PANORAMA DE CONSUMO EN MÉXICO.....	21
EVALUACIÓN SENSORIAL DE LOS ALIMENTOS	21
CLASIFICACIÓN DE LAS PRUEBAS SENSORIALES	22
CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA ZARZAMORA <i>RUBUS FRUTICOSUS</i> L.	22
CARACTERÍSTICAS <i>RUBUS FRUTICOSUS</i> Cv ERANDY	24
CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA DEL GUAYABO <i>PSIDIUM GUAJAVA</i> L.....	25
NANOTECNOLOGÍA Y NANOENCAPSULACIÓN	26
JUSTIFICACIÓN.....	30
HIPÓTESIS	31
OBJETIVO GENERAL	31
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	31
DISEÑO EXPERIMENTAL	32
METODOLOGÍA	32
ETAPA I. OBTENCIÓN Y PROCESAMIENTO DE MUESTRAS	32
<i>Rubus fruticosus</i> Cv Erandy.....	32
Procesamiento de la muestra de zarzamora <i>Rubus fruticosus</i> Cv Erandy	33
<i>Psidium guajava</i> Cv Hidrozac	34
Procesamiento para la obtención del extracto acuoso fenólico de hojas de <i>P. guajava</i>	35
ETAPA II. CARACTERIZACIÓN QUÍMICA Y DETERMINACIÓN DE COMPUESTOS FENÓLICOS	36
Preparación de las muestras.....	36
Determinación de polifenoles totales	36
Determinación de flavonoides totales	36
Caracterización cromatográfica en extracto liofilizado de hojas de guayabo <i>P. guajava</i> L. y zarzamora <i>R. fruticosus</i> L.	36
ETAPA III. ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD ANTIOXIDANTE.....	38
Ensayo antioxidante DPPH•.....	38
Ensayo antioxidante ABTS•+	38
ETAPA IV. ANÁLISIS BROMATOLÓGICO <i>P. GUAJAVA</i> Y <i>R. FRUTICOSUS</i>	39
Determinación de la humedad	39
Determinación de nitrógeno proteico	39
Determinación de lípidos	40
Determinación de carbohidratos	40
ETAPA V. NANOENCAPSULACIÓN DE EXTRACTO FENÓLICO DE HOJAS DE <i>PSIDIUM GUAJAVA</i>	40
ETAPA VI. ELABORACIÓN DE LA BEBIDA POTENCIALMENTE FUNCIONAL	41
ETAPA VII. ANÁLISIS SENSORIAL DE LA BEBIDA POTENCIALMENTE FUNCIONAL	42
ANÁLISIS ESTADÍSTICO	44
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	45
TRATAMIENTO DE MUESTRAS: LIOFILIZACIÓN	45
DETERMINACIÓN DE FENOLES TOTALES, FLAVONOIDES.....	46
EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD ANTIOXIDANTE.....	50
ANÁLISIS BROMATOLÓGICO <i>R. FRUTICOSUS</i> Y <i>P. GUAJAVA</i>	52

NANOENCAPSULACIÓN DE COMPUESTOS FENÓLICOS DE <i>P. GUAJAVA</i>	53
MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO	54
ANÁLISIS CROMATOGRÁFICO GC-MS	56
ELABORACIÓN DE LA BEBIDA FUNCIONAL DE <i>R. FRUTICOSUS</i>	65
ANÁLISIS SENSORIAL: ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES	67
CONCLUSIONES	84
REFERENCIAS	86
ANEXO A. ÍNDICE DE HOMOGENEIDAD DE LOS EJES	97
ANEXO B. COSENOS CUADRADOS DE LAS OBSERVACIONES.	98
ANEXO C. REPORTE DE HERRAMIENTA ANTIPLAGIO	101
ANEXO D. FORMATO DE DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD Y USO DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL	103

Índice de tablas

TABLA 1. TIPOS COMUNES DE DISLIPIDEMIAS PRIMARIAS. TOMADO DE LA INTERNATIONAL CLASSIFICATION OF DISEASES, 10TH REVISION (ICD-10) Y LA NATIONAL CHOLESTEROL EDUCATION PROGRAM (NCEP).....	13
TABLA 2. CAUSAS COMUNES Y MECANISMOS DESENCADENANTES DE LAS DISLIPIDEMIAS SECUNDARIAS.	14
TABLA 3. PASOS PARA DESARROLLAR PRODUCTOS ALIMENTICIOS FUNCIONALES Y LLEVARLOS AL MERCADO.	20
TABLA 4. ESTÍMULOS DE LOS SENTIDOS EN LAS PRUEBAS SENSORIALES.....	21
TABLA 5. CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA DE <i>RUBUS FRUTICOSUS</i> L.	23
TABLA 6 CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA DE <i>PSIDIUM GUAJAVA</i> L.....	25
TABLA 7. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS INGREDIENTES ALIMENTARIOS COMUNES QUE PUEDEN SER ENCAPSULADOS Y EL PROPÓSITO PARA LA ENCAPSULACIÓN.	27
TABLA 8. RENDIMIENTO DE LAS MUESTRAS LIOFILIZADAS DE <i>RUBUS FRUTICOSUS</i> CV ERANDY Y <i>PSIDIUM GUAJAVA</i> CV ERANDY	46
TABLA 9 CONTENIDO DE FENOLES TOTALES, FLAVONOIDES Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DE <i>P. GUAJAVA</i> Y <i>R. FRUTICOSUS</i>	46
TABLA 10. ANÁLISIS BROMATOLÓGICO BASE SECA (B.S) DE <i>R. FRUTICOSUS</i> Y <i>P. GUAJAVA</i> , SOMETIDAS A EXTRACCIÓN DE COMPUESTOS Y LIOFILIZACIÓN.	53
TABLA 11. PARÁMETROS DE NANOENCAPSULACIÓN DEL EXTRACTO DE <i>P. GUAJAVA</i>	54
TABLA 12. COMPUESTOS MAYORITARIOS IDENTIFICADOS POR GC-MS DEL EXTRACTO DE <i>P. GUAJAVA</i>	57
TABLA 13. COMPUESTOS MAYORITARIOS IDENTIFICADOS POR GC-MS DE LA MUESTRA DE LIOFILIZADO DE <i>R. FRUTICOSUS</i>	59
TABLA 14. DETALLE DE LOS COMPUESTOS MAYORITARIOS IDENTIFICADOS MEDIANTE GC-MS DE LA MUESTRA NANOCAPSULAS DE <i>P. GUAJAVA</i> , PROPORCIÓN 2:1 MALTODEXTRINA/EXTRACTO	60
TABLA 15. DETALLE DE LOS COMPUESTOS MAYORITARIOS IDENTIFICADOS MEDIANTE GC-MS DE LA MUESTRA NANOCAPSULAS DE <i>P. GUAJAVA</i> , PROPORCIÓN 3:1 MALTODEXTRINA/EXTRACTO	62
TABLA 16. COMPUESTOS MAYORITARIOS IDENTIFICADOS MEDIANTE GC-MS DE LA MUESTRA NANOCAPSULAS DE <i>P. GUAJAVA</i> , PROPORCIÓN 4:1 MALTODEXTRINA/EXTRACTO	64
TABLA 17. RESULTADOS DE LA MEDICIÓN DEL PH A DIFERENTES CONCENTRACIONES DE SÓLIDOS DE LIOFILIZADO DE <i>R. FRUTICOSUS</i>	65
TABLA 18. RESULTADOS DE LOS PARÁMETROS COLORIMÉTRICOS REALIZADAS A LOS ENSAYOS PRELIMINARES DE <i>R. FRUTICOSUS</i> A DIFERENTES CONCENTRACIONES	66
TABLA 19. DESCRIPTIVOS DE LOS PRINCIPALES ATRIBUTOS SENSORIALES	68
TABLA 20. VALORES PROPIOS, VARIANZA EXPLICADA Y VARIABILIDAD ACUMULADA EN EL ACP	69
TABLA 21. VECTORES PROPIOS DEL ACP	70
TABLA 22. CARGAS FACTORIALES DE LOS COMPONENTES PRINCIPALES DE LA EVALUACIÓN SENSORIAL	71
TABLA 23. CORRELACIONES ENTRE LAS VARIABLES Y LOS FACTORES.....	71
TABLA 24. CONTRIBUCIONES DE LAS VARIABLES (%).....	74
TABLA 25. ANÁLISIS DE COSENOS CUADRADOS DE LAS VARIABLES SENSORIALES	75
TABLA 26. PUNTUACIONES FACTORIALES DE LOS JUECES.	76
TABLA 27. CONTRIBUCIONES DE LAS OBSERVACIONES (%) REALIZADAS POR LOS JUECES	81

Índice de figuras

FIGURA 1. CLASIFICACIÓN DE COMPUESTOS FENÓLICOS.....	17
FIGURA 2. MECANISMO DE ACCIÓN ANTIOXIDANTE DE COMPUESTOS FENÓLICOS POR CESIÓN DE UN ÁTOMO DE HIDRÓGENO.....	18
FIGURA 3. MECANISMO DE ACCIÓN ANTIOXIDANTE DE COMPUESTOS FENÓLICOS POR TRANSFERENCIA DE UN SOLO ELECTRÓN.....	18
FIGURA 4. METABOLISMO DE LOS COMPUESTOS FENÓLICOS DIETÉTICOS.....	19
FIGURA 5. ESQUEMA DEL PROCESO DE SECADO POR ASPERSIÓN CON CAMPO ELÉCTRICO APLICADO.....	28
FIGURA 6. DIAGRAMA DE FLUJO. PRINCIPALES PROCESOS REALIZADOS EN EL PROYECTO. MEB MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO, GC-MS CROMATOGRAFÍA DE GASES ACOPLADO A ESPECTROMETRÍA DE MASAS.....	32
FIGURA 7. A) PLÁNTULAS DE <i>RUBUS FRUTICOSUS</i> Cv. ERANDY UTILIZADA EN EL DESARROLLO DE ESTA INVESTIGACIÓN, B) PLANTAS EN FASE DE FRUCTIFICACIÓN EN PARCELA DEL PRODUCTOR COOPERANTE.....	33
FIGURA 8. MUESTRAS COSECHADAS DE ZARZAMORA EN PARCELA DEL PRODUCTOR, CLASIFICADAS COMO SUBPRODUCTO.....	33
FIGURA 9. EQUIPO LIOFILIZADOR LABCONCO, KANSAS CITY, MO, EE. UU CON LA MUESTRA DE <i>RUBUS FRUTICOSUS</i>	34
FIGURA 10. ESPECIE VEGETAL DE GUAYABO <i>PSIDIUM GUAJAYA</i> Cv. HIDROZAC UTILIZADO EN EL DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN.....	34
FIGURA 11. MEZCLA DE POLVO DE <i>P. GUAJAYA</i> Cv HIDROZAC Y AGUA DESTILADA EN ULTRASONICADOR VCX 500, PARA EXTRACCIÓN DE COMPUESTOS BIOACTIVOS.....	35
FIGURA 12. EXTRACTO FENÓLICO <i>P. GUAJAYA</i> Cv HIDROZAC ULTRASONICADO MEDIANTE ULTRASONICADOR VCX 500 Y FILTRADO, DILUÍDO EN AGUA DESTILADA.....	35
FIGURA 13. CROMATÓGRAFO DE GASES (GC-MS) AGILENT.....	37
FIGURA 14. VIALES COLOCADOS EN EL GC-MS AGILENT PARA SU LECTURA.....	37
FIGURA 15. FORMULACIÓN DE LA BEBIDA DE ZARZAMORA CON NANOCÁPSULAS DE GUAYABA, ADICIONADA CON EDULCORANTE MONK FRUIT, ÁCIDO CÍTRICO Y BENZOATO DE SÓDIO.....	42
FIGURA 16. JUECES SENSORIALES EN PRUEBA DE ACEPTACIÓN DE LA BEBIDA FUNCIONAL.....	42
FIGURA 17. FORMULARIO APLICADO PARA EL ANÁLISIS SENSORIAL DE LA BEBIDA POTENCIALMENTE FUNCIONAL.....	43
FIGURA 18. LIOFILIZADOS DE <i>R. FRUTICOSUS</i> (A) Y <i>P. GUAJAYA</i> (B) DONDE SE OBSERVA SU ESTRUCTURA POROSA Y COLOR CARACTERÍSTICO, RESULTADO DEL PROCESO DE LIOFILIZACIÓN QUE PERMITIÓ LA CONSERVACIÓN DE SUS COMPUESTOS BIOACTIVOS Y LA REDUCCIÓN DEL CONTENIDO DE AGUA.....	45
FIGURA 19. CONTENIDO DE FENOLES DE <i>P. GUAJAYA</i> LIOFILIZADO, NANOENCAPSULADO DE EXTRACTO <i>P. GUAJAYA</i> Y BEBIDA POTENCIALMENTE FUNCIONAL.....	49
FIGURA 20. CONTENIDO DE FLAVONOIDES TOTALES DE <i>P. GUAJAYA</i> LIOFILIZADO, NANOENCAPSULADO DE EXTRACTO <i>P. GUAJAYA</i> Y BEBIDA POTENCIALMENTE FUNCIONAL.....	49
FIGURA 21. CONTENIDO DE FENOLES (mgEAG/g) Y FLAVONOIDES TOTALES (mgEQ/g) EN <i>R. FRUTICOSUS</i>	50
FIGURA 22. CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DE <i>P. GUAJAYA</i> LIOFILIZADO, NANOENCAPSULADO Y BEBIDA POTENCIALMENTE FUNCIONAL MEDIANTE EL ENSAYO DPPH.....	51
FIGURA 23. CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DE <i>P. GUAJAYA</i> LIOFILIZADO, NANOENCAPSULADO Y BEBIDA POTENCIALMENTE FUNCIONAL MEDIANTE ENSAYO ABTS.....	52
FIGURA 24. OBTENCIÓN DE NANOCÁPSULAS POR NANO SPRAY DRYER B90.....	54
FIGURA 25. MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO.....	55
FIGURA 26. CROMATOGRAFÍA GC-MS MOSTRANDO COMPUESTOS MAYORITARIOS DEL LIOFILIZADO DE EXTRACTO DE HOJAS DE <i>P. GUAJAYA</i>	57
FIGURA 27. CROMATOGRAMA DE PICOS MAYORITARIOS DEL LIOFILIZADO DE <i>R. FRUTICOSUS</i>	58
FIGURA 28. CROMATOGRAMA DE PICOS MAYORITARIOS DEL T1 DE NANO-CÁPSULAS DE <i>P. GUAJAYA</i> , PROPORCIÓN 2:1.....	60
FIGURA 29. CROMATOGRAMA DE PICOS MAYORITARIOS DEL T2 DE NANO-CÁPSULAS DE <i>P. GUAJAYA</i> , PROPORCIÓN 3:1 MALTODEXTRINA/EXTRACTO <i>P. GUAJAYA</i>	62
FIGURA 30. CROMATOGRAMA DE PICOS MAYORITARIOS DEL T3 DE NANOCÁPSULAS DE <i>P. GUAJAYA</i> , PROPORCIÓN 4:1 MALTODEXTRINA/EXTRACTO <i>P. GUAJAYA</i>	64
FIGURA 31. GRÁFICO DE SEDIMENTACIÓN DE LOS ATRIBUTOS SENSORIALES, RESPECTO AL VALOR PROPIO Y EL PORCENTAJE DE LA VARIABILIDAD ACUMULADA.....	69
FIGURA 32. VARIABLES SENSORIALES REPRESENTADAS EN LOS EJES F1 Y F2 MOSTRANDO EL 76.23 % DE LA VARIABILIDAD DE LOS DATOS.....	73
FIGURA 33. DISTRIBUCIÓN DE LAS OBSERVACIONES DE LOS JUECES RESPECTO A LOS DOS COMPONENTES PRINCIPALES EJES F1 Y F2 REPRESENTANDO EL 76.23 % DE LA VARIABILIDAD DE LOS DATOS.....	78
FIGURA 34. BILOT DE LAS VARIABLES SENSORIALES Y LA PERCEPCIÓN DE LOS JUECES (EJES F1 Y F2: 76.23 %).....	79
FIGURA 35. GRÁFICA DEL ÍNDICE DE HOMOGENEIDAD DE LOS EJES DE LOS COMPONENTES PRINCIPALES DE LA EVALUACIÓN SENSORIAL.....	83

RESUMEN

La obesidad es una enfermedad inflamatoria crónica, multifactorial y prevenible, que se ha convertido en uno de los principales factores de riesgo para enfermedades crónicas no transmisibles, como la diabetes mellitus tipo 2 y las dislipidemias. Según la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición (ENSANUT) 2022, en México estas condiciones de salud son de alta prevalencia, lo que subraya la necesidad de desarrollar estrategias innovadoras y accesibles para su prevención y tratamiento. En este contexto, los alimentos funcionales enriquecidos con compuestos bioactivos representan una alternativa prometedora y rentable. Los compuestos fenólicos (CF) son conocidos por sus propiedades antioxidantes, antiinflamatorias, reguladoras del metabolismo y neuroprotectoras, lo que los posiciona como candidatos ideales para formular productos novedosos dirigidos a estas patologías.

El presente trabajo tuvo como objetivo desarrollar una bebida funcional a base de zarzamora (*Rubus fruticosus* Cv. Erandy), adicionada con extracto fenólico nanoencapsulado de hoja de guayaba (*Psidium guajava* Cv. Hidrozac). Se emplearon técnicas de nanotecnología y microscopía electrónica de barrido para garantizar la estabilidad y biodisponibilidad de los compuestos fenólicos, optimizando su liberación y su actividad terapéutica. Adicionalmente, se realizaron análisis químicos para determinar el contenido de fenoles totales, flavonoides y la capacidad antioxidante de los extractos y de la bebida final, así como análisis cromatográficos para determinar los componentes bioactivos contenidos en la bebida funcional. Además, se llevó a cabo un análisis sensorial mediante panelistas no entrenados, evaluando parámetros clave como aroma, color, sabor y aceptación general, lo que permitió predecir la aceptabilidad del producto para su consumo.

Michoacán, como principal productor nacional de zarzamora y guayaba, ofrece condiciones óptimas para la obtención de materias primas de alta calidad. El uso de subproductos agrícolas, como la zarzamora clasificada como no exportable, refuerza el enfoque sostenible y económico del proyecto, además de contribuir a la valorización de la producción local. La incorporación de tecnologías avanzadas, junto con la evaluación sensorial, destaca el potencial del desarrollo de esta bebida funcional para mejorar la salud pública, permitiendo crear oportunidades económicas en el mercado nacional e internacional de alimentos funcionales.

Palabras clave: Compuestos fenólicos, bebida funcional, zarzamora, guayaba, nanotecnología.

ABSTRACT

Obesity is a chronic, multifactorial, and preventable inflammatory condition that has emerged as a significant risk factor for various chronic non-communicable diseases, including type 2 diabetes mellitus and dyslipidemias. The National Health and Nutrition Survey (ENSANUT) 2022 indicates a high prevalence of these health issues in Mexico, highlighting the urgent need for developing innovative and accessible prevention and treatment strategies. In this regard, functional foods enriched with bioactive compounds offer a promising and cost-effective solution. Phenolic compounds (PCs) are recognized for their antioxidant, anti-inflammatory, metabolism-regulating, and neuroprotective properties, making them excellent candidates for formulating novel products aimed at addressing these health conditions.

This study aims to develop a functional beverage utilizing blackberry (*Rubus fruticosus* Cv. Erandy) combined with nanoencapsulated phenolic extract derived from guava leaves (*Psidium guajava* Cv. Hidrozac). To ensure the stability and bioavailability of the phenolic compounds, nanotechnology methods were employed, enhancing their release and therapeutic efficacy. Furthermore, chemical analyses were conducted to assess the levels of total phenols, flavonoids, and the antioxidant capacity of both the extracts and the final beverage. Moreover, this research involved a sensory evaluation conducted by untrained panelists, who assessed essential attributes such as aroma, color, flavor, and overall acceptance, thereby providing insights into the product's potential for market appeal.

Michoacán stands out as the leading national producer of blackberries and guavas, providing optimal conditions for obtaining high-quality raw materials. The utilization of agricultural by-products, including blackberries deemed non-exportable, enhances the project's sustainable and economic framework while also promoting the enhancement of local production. The integration of cutting-edge technologies, coupled with sensory evaluation, underscores the potential for developing this functional beverage to enhance public health thereby generating economic opportunities in both national and international markets for functional foods.

Palabras clave: Phenolic compounds, functional beverage, blackberry, guava, nanotechnology.

INTRODUCCIÓN

El sobrepeso y obesidad se han triplicado a nivel global desde 1975, afectando a 2 de cada 3 adultos. De hecho, se considera que 2000 millones de personas en el mundo presentan obesidad, siendo responsable cada año de la muerte de 3 millones de adultos (Sophiea *et al.*, 2024). México reconoció la obesidad como una emergencia sanitaria desde el año 2016, los datos de la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición de 2022 muestran que la prevalencia de obesidad y sobrepeso en adultos es de 36.9 % y 38.3 % respectivamente, lo cual representa un grave problema de salud pública (Basto-Abreu *et al.*, 2023). El desarrollo de la obesidad está condicionado por múltiples factores incluyendo aspectos epigenéticos, edad, falta de actividad física, aumento de peso materno durante la gestación, la falta de educación y la presencia de entornos alimentarios con pobre acceso a alimentos saludables (OMS, 2023; Lazcano-Ponce, 2020; Campos-Nonato *et al.*, 2023).

La obesidad aumenta el riesgo de padecer enfermedades crónicas no transmisibles como diabetes mellitus tipo II, presión arterial elevada (hipertensión), dislipidemias, enfermedades cardiovasculares, osteoartritis, algunos tipos de cáncer además de trastornos psíquicos y emocionales (OMS, 2021; Lazcano-Ponce, 2020; (Ensanut, 2022; *NORMA Oficial Mexicana NOM-174-SSA1-1998, Para el manejo integral de la obesidad*, s/f)

El diseño y desarrollo de alimentos funcionales se ha convertido en una estrategia clave para mejorar la salud y bienestar de las personas, particularmente en la prevención y manejo de enfermedades metabólicas como la diabetes mellitus tipo 2 (DM2) y las dislipidemias. Estas patologías, cada vez más prevalentes en todo el mundo, están estrechamente relacionadas con el estrés oxidativo y la inflamación crónica, dos factores que afectan negativamente el metabolismo de los lípidos y glucosa. Frente a este desafío, los compuestos fenólicos han emergido como agentes bioactivos con propiedades antioxidantes y antiinflamatorias, que ofrecen un potencial terapéutico considerable en el control de estos desequilibrios metabólico (Pineda-Lozano *et al.*, 2021)

Entre las fuentes más destacadas de compuestos fenólicos se encuentran la zarzamora (*Rubus fruticosus*) y el guayabo (*Psidium guajava*), dos especies de alto valor agronómico y funcional. La zarzamora, particularmente la variedad Cv Erandy, es rica en antocianinas y flavonoides, mientras que las hojas de guayabo contienen ácidos fenólicos y flavonoles (Vinayagam *et al.*, 2018). Estos componentes no solo presentan una poderosa capacidad antioxidante, sino que también han mostrado efectos favorables sobre la regulación del metabolismo de lípidos y glucosa en estudios previos (Dudonné *et al.*, 2009, Chen & Yen, 2007). El desarrollo de una bebida funcional que combine estas dos fuentes naturales, por tanto, representa una oportunidad para explorar sus beneficios potenciales de manera sinérgica.

Dado que se ha reportado que los compuestos fenólicos pueden ser termolábiles, fotosensibles y poseer una baja biodisponibilidad por vía oral (Gutiérrez-Grijalva *et al.*, 2015), limitando su actividad biológica, se hace necesaria la búsqueda de estrategias que permitan su incorporación efectiva en alimentos

funcionales. En este contexto se ha sugerido que la aplicación de nano-encapsulación puede mejorar significativamente la estabilidad y biodisponibilidad de estas moléculas como parte de los alimentos funcionales (Valencia-Avilés, *et al.*, 2019). La nanoencapsulación permite proteger los compuestos bioactivos durante su procesamiento y almacenamiento, además de optimizar su liberación en el organismo, lo que podría potenciar sus efectos beneficiosos. En consecuencia, en esta investigación, se propone la elaboración de una bebida funcional de zarzamora, rica en compuestos fenólicos con propiedades antioxidantes, enriquecida con un extracto fenólico de hoja de guayabo nanoencapsulado. Su enfoque innovador reside en la combinación de ingredientes naturales disponibles en el estado de Michoacán con tecnologías avanzadas como la nanotecnología, lo que abre nuevas perspectivas en el desarrollo de alimentos funcionales antioxidantes más eficaces que pudieran ofrecer alternativas saludables para la prevención de la obesidad y trastornos metabólicos asociados.

MARCO TEÓRICO

Diabetes Mellitus tipo II (DM 2): Prevalencia y Factores de Riesgo

La Diabetes Mellitus (DM) es una enfermedad multifactorial con una alta tasa de complicaciones. En México, se estima que 15 millones de personas padecen DM (Ensanut 2022). A nivel mundial, cerca de 536 millones de personas viven con esta enfermedad, cifra que se ha duplicado en las últimas dos décadas y que se espera siga aumentando debido al envejecimiento de la población, la creciente prevalencia de obesidad, el sedentarismo y los cambios en la dieta (OMS, 2023; Basto-Abreu *et al.*, 2023).

La DM se caracteriza por hiperglucemia crónica, resultado de la incapacidad de las células para absorber y utilizar eficientemente la glucosa. Esto puede ser consecuencia de una secreción inadecuada de insulina por las células β del páncreas o de la resistencia de las células a la acción de esta hormona en diversos tejidos, definida como resistencia a la insulina (RI) (OMS, 2023).

La insulina es una hormona anabólica que se secreta desde las células β del páncreas en respuesta a diversos estímulos, siendo la concentración de glucosa el estímulo más importante. Su función principal es regular los niveles de glucosa en sangre y mantener el equilibrio de otros metabolitos energéticos en el organismo. Tras la ingesta de alimentos, la insulina disminuye la liberación de ácidos grasos libres y favorece la síntesis de triglicéridos en el tejido adiposo. Asimismo, inhibe la producción hepática de glucosa y promueve la captación de glucosa. En individuos con RI, la eficacia de la hormona a nivel celular se ve reducida, lo que provoca un aumento en la secreción de insulina por parte del páncreas, en un intento por compensar el déficit en la respuesta tisular. Este mecanismo busca mantener la homeostasis glicémica, pero resulta en un estado de hiperinsulinemia. La hiperinsulinemia, característica de la resistencia a la insulina es una adaptación fisiológica que, si bien puede compensar parcialmente la disfunción en la acción de la insulina, tiene implicaciones a largo plazo. El exceso de insulina circulante contribuye a la aparición de alteraciones metabólicas, como la obesidad, la hipertensión y la propia DM2, debido a la incapacidad de los tejidos para responder adecuadamente a la insulina, lo que altera el control de la glicemia y otros procesos de aporte y metabolismo de energía en el organismo (Fernando Carrasco *et al.*, 2013).

Los síntomas de la hiperglucemia incluyen poliuria, polidipsia, pérdida de peso, polifagia, visión borrosa y susceptibilidad a infecciones. A medida que la enfermedad avanza, pueden desarrollarse comorbilidades como problemas cardiovasculares, nefropatías, retinopatías, neuropatías y daños microvasculares (ElSayed *et al.*, 2023). Desde un punto de vista fisiológico, la hiperglucemia crónica puede dañar los vasos sanguíneos, lo que provoca complicaciones microvasculares y macrovasculares. Las complicaciones microvasculares incluyen la retinopatía diabética, que puede llevar a la ceguera; la nefropatía diabética, que puede causar insuficiencia renal; y la neuropatía diabética, que puede resultar en amputaciones debido a infecciones no tratadas. Las complicaciones macrovasculares incluyen enfermedades cardiovasculares como el infarto de miocardio y el accidente cerebrovascular (Martirosyan & Christopher, 2024; NOM-015-SSA2-2010).

La situación en México es alarmante; en 2021, el 15.8% de los adultos vivía con DM2 (Lazcano-Ponce, 2020). A pesar del alto costo social y económico de la obesidad y la diabetes, pocas terapias efectivas existen en el mercado. La creciente prevalencia de DM2, junto con sus complicaciones, subraya la necesidad urgente de encontrar tratamientos efectivos y accesibles.

Dada la limitada eficacia de las terapias actuales, el uso de compuestos naturales, como los compuestos fenólicos (CF), está siendo intensamente explorado por la comunidad científica (Gutiérrez-Grijalva et al., 2015). Los CF han mostrado propiedades efectivas en el tratamiento de DM2 y sus complicaciones (Martín & Iriondo-DeHond, 2018). Estos compuestos, presentes en frutas, hojas, cortezas y tallos de diversas plantas, tienen propiedades antioxidantes, antiinflamatorias y reguladoras del metabolismo. Los compuestos fenólicos pueden influir en la señalización celular y la expresión génica, inhibiendo factores de transcripción involucrados en las cascadas de señalización proinflamatorias como NF- κ B (nuclear factor-kappa B) y AP-1 (activator protein 1), además de regular la vía de las MAPK (mitogen-activated protein kinase). Esta regulación puede tener efectos moduladores sobre el metabolismo de la glucosa y el perfil lipídico, contribuyendo al control de la hiperglucemia y la hiperlipidemia (Martirosyan et al., 2022).

La DM2 es una enfermedad crónica con un impacto negativo significativo en la salud pública y económica de México y el mundo. La búsqueda de nuevas terapias, incluyendo el uso de compuestos naturales y seguros, es crucial para abordar esta creciente crisis de salud. La investigación continua en este campo promete ofrecer nuevas soluciones para la prevención, tratamiento de DM y sus complicaciones.

Dislipidemias: Clasificación y prevalencia

Según la Norma Oficial Mexicana-037-SSA2-2002, las dislipidemias representan enfermedades asintomáticas resultantes del trastorno en el metabolismo de las grasas, lípidos y proteínas, y son diagnosticadas por concentraciones sanguíneas anormales de colesterol, triglicéridos y/o colesterol de alta densidad (HDL), y/o colesterol de baja densidad (LDL), que participan como factores de riesgo independientes en la fisiopatología de la aterosclerosis (National Cholesterol Education Program, 2002). Las dislipidemias se clasifican en varios tipos, dividiéndose en primarias y secundarias de acuerdo con su origen según Décima Revisión de la Clasificación Internacional de Enfermedades y El Programa Nacional de Educación sobre el Colesterol (International Classification of Diseases, 10th Revision (ICD-10) y la National Cholesterol Education Program (NCEP):

Dislipidemias primarias

Las dislipidemias primarias son de origen genético y se heredan de una generación a otra. Estas condiciones surgen como resultado de alteraciones en genes que codifican proteínas involucradas en el metabolismo de los lípidos, tales como receptores o enzimas que regulan los niveles de colesterol y triglicéridos (Katarzyna Rygiel, 2018). En la Tabla 1 se describen los tipos más comunes de dislipidemias primarias.

Tabla 1. Tipos comunes de dislipidemias primarias. Tomado de la International Classification of Diseases, 10th Revision (ICD-10) y la National Cholesterol Education Program (NCEP)

Tipos de dislipidemias primarias	Características
Tipo I Hiperquilomicronemia	Caracterizada por un aumento de quilomicrones en la sangre debido a la deficiencia de la enzima lipoproteína lipasa o una alteración en la apolipoproteína C-II. Esta acumulación de triglicéridos en sangre aumenta el riesgo de desarrollar pancreatitis aguda.
Tipo II Dislipidemia Aterogénica	Tipo IIa: Hipercolesterolemia Familiar: Se caracteriza por el aumento del colesterol LDL (lipoproteínas de baja densidad) debido a un defecto en el receptor de LDL. Este tipo de dislipidemia está asociado con un alto riesgo de aterosclerosis y enfermedades coronarias prematuras Tipo IIb: Dislipidemia Combinada: Se observa un aumento tanto del colesterol LDL como de triglicéridos, lo que agrava el riesgo cardiovascular
Tipo III Disbetalipoproteinemia	Se caracteriza por el aumento de quilomicrones y VLDL (lipoproteínas de muy baja densidad) debido a una alteración en la apolipoproteína E, lo que aumenta el riesgo de desarrollar aterosclerosis
Tipo IV Hipertrigliceridemia Familiar	Se presenta un aumento de los triglicéridos en sangre debido a la sobreproducción de VLDL, lo cual está estrechamente relacionado con un mayor riesgo de enfermedades cardiovasculares
Tipo V Hiperlipoproteinemia Mixta	Caracterizada por un aumento simultáneo de quilomicrones, VLDL y LDL, lo que combina hipercolesterolemia e hipertrigliceridemia, exacerbando el riesgo de complicaciones cardiovasculares.

Dislipidemias secundarias

Las dislipidemias secundarias son consecuencia de otras enfermedades o factores externos que alteran el metabolismo de los lípidos. A diferencia de las dislipidemias primarias, no tienen un origen genético directo, sino que resultan de condiciones subyacentes que afectan la regulación de los lípidos en el organismo (Katarzyna Rygiel, 2018). En la Tabla 2 se describen las causas más comunes de dislipidemias secundarias y sus mecanismos, que incluyen enfermedades o condiciones como la diabetes mellitus, obesidad, hipotiroidismo, síndrome nefrótico, el consumo excesivo de alcohol y el uso de medicamentos. La correcta identificación de la clasificación de las dislipidemias es crucial para un adecuado manejo clínico y terapéutico.

Tabla 2. Causas comunes y mecanismos desencadenantes de las dislipidemias secundarias. Tomado de National Cholesterol Education Program (NCEP).

Causas comunes en las dislipidemias secundarias	Mecanismos desencadenantes
Diabetes Mellitus	La hiperglucemia crónica y la RI pueden contribuir a la elevación de triglicéridos y la reducción de colesterol HDL, creando un perfil lipídico anormal que favorece el desarrollo de aterosclerosis
Obesidad	El exceso de tejido adiposo contribuye a la alteración del metabolismo lipídico, favoreciendo el aumento de triglicéridos y colesterol LDL
Hipotiroidismo	La disfunción tiroidea puede llevar a una disminución en el metabolismo de los lípidos, lo que resulta en el aumento de colesterol total y LDL
Síndrome nefrótico	Esta condición renal altera la excreción de lípidos en la orina, provocando hipercolesterolemia y, en algunos casos, hipertrigliceridemia
Consumo excesivo de alcohol	El alcohol en exceso puede provocar un aumento en la producción de triglicéridos y afectar negativamente el perfil lipídico en general
Uso de medicamentos	Algunos fármacos como los esteroides, anticonceptivos orales y ciertos diuréticos pueden inducir dislipidemias al alterar el metabolismo de los lípidos

Una alteración concomitante resulta cuando se presenta la resistencia a la insulina, ésta pierde su capacidad natural para frenar la lipólisis en los adipocitos, provocando que aumenten los ácidos grasos libres (AG) en el torrente sanguíneo. Si aunado a esto hay hiperglucemia, el hígado utiliza los (AG) aumentando la síntesis hepática de triglicéridos y a su vez esta elevación de triglicéridos produce liberación de proteínas de muy baja densidad (VLDL) al plasma. Las VLDL intercambian triglicéridos con las lipoproteínas de alta densidad (HDL), y como resultado las (HDL) pierden su contenido de colesterol, mientras que las VLDL y las LDL se enriquecen con él. Posteriormente las HDL llenas de triglicéridos son eliminadas rápidamente del torrente sanguíneo disminuyendo de esta forma su auténtica capacidad para transportar el colesterol de vuelta al hígado (transporte reverso del colesterol) reduciendo su capacidad antioxidante y antiinflamatoria. Este proceso aumenta los niveles de lípidos en sangre desencadenando las dislipidemias, caracterizadas por HDL bajo y triglicéridos y LDL altos. Estos lípidos aumentados favorecen la lipoperoxidación en la sangre, elevando el estrés oxidativo lo cual daña de manera importante las células y los tejidos en el organismo (Lahoz & Mostaza, 2009).

Los datos de la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición (Ensanut Covid-2019) revelan una prevalencia significativa de alteraciones en los perfiles lipídicos de la población mexicana mayor de 20 años. Según este informe, el 24.7% de los adultos presenta niveles elevados de colesterol total, el 47.2% tiene triglicéridos elevados y el 30.8% muestra bajos niveles de lipoproteína de alta densidad (HDL). Además, el 20.7% de la población presenta niveles altos de colesterol no HDL y el 20.2% tiene niveles elevados de lipoproteína de baja densidad (LDL) (Lazcano-Ponce, 2020; Shamah-Levy *et al.*, 2022). Estos

indicadores bioquímicos están directamente relacionados con el índice aterogénico, también conocido como índice de Castelli, que es un importante predictor de riesgo coronario. Este índice se calcula a partir de la relación entre el colesterol total y el colesterol HDL, ofreciendo una perspectiva más precisa de la salud cardiovascular en comparación con la simple medición de colesterol total (Zuñiga Hurtado *et al.*, 2020). Diversos estudios y encuestas nacionales de salud y nutrición anteriores han señalado que la dislipidemia es uno de los factores de riesgo más relevantes asociados con el desarrollo de enfermedades cardiovasculares. La prevalencia de estas alteraciones lipídicas subraya la importancia de estrategias preventivas y de tratamiento en la población mexicana para reducir el impacto de estas enfermedades (Carrión, C. P, 2009; Lazcano-Ponce, 2020; Shamah-Levy *et al.*, 2022).

Impacto del estrés oxidativo en el desarrollo de la obesidad, diabetes y dislipidemias

El estrés oxidativo juega un papel central en el desarrollo de enfermedades metabólicas como la diabetes mellitus tipo 2, la dislipidemia y el síndrome metabólico, ya que afecta la señalización de la insulina, altera el metabolismo lipídico y deteriora la función de las células β pancreáticas (Tangvarasittichai, 2015). El organismo humano tiene de manera natural, y cuando las condiciones internas y externas lo permiten, un perfecto equilibrio denominado homeostasis, sin embargo, cuando éste es interrumpido por la presencia excesiva de especies reactivas de oxígeno comienza a generarse lo que se ha definido como estrés oxidativo (Aranda *et al.*, 2022).

Dicho estrés es producido en el organismo por las especies reactivas de oxígeno y nitrógeno que tienen la habilidad y peculiaridad de modificar moléculas como lo son las proteínas, lípidos e incluso el ADN. Estas especies reactivas tienen en su orbital más externo un electrón desapareado llamado radical libre, que intenta encontrar la estabilidad tomando hidrógenos de otras moléculas alterando de manera general el entorno, induciendo alteraciones en los complejos celulares tales como la inflamación sistémica. Estos radicales libres incluyen el anión superóxido ($O_2^{\cdot-}$), radical hidroxilo ($\cdot OH$) y como no radicales libres pero importantes encontramos al peróxido de hidrógeno (H_2O_2), dióxido de nitrógeno (NO_2), peroxi-nitrito ($ONOO^-$) entre otras especies descritas (Aranda *et al.*, 2022). Estas especies reactivas de oxígeno y nitrógeno son productos del metabolismo aeróbico y regulan los procesos celulares como la supervivencia, el crecimiento, la proliferación, la apoptosis y otros (Sies & Jones, 2020).

También pueden producirse de fuentes intracelulares o extracelulares, éstas últimas comprenden la luz ultravioleta (UV), la radiación ionizante, metales pesados o de transición y el estilo de vida. De manera intracelular en las mitocondrias, peroxisomas, retículo endoplásmico, nicotinamida adenina dinucleótido fosfato de hidrógeno (NADPH) y oxidasas (NOX) son producidas por más de 50 enzimas (Go *et al.*, 2015).

Como fuentes exógenas importantes en la producción de especies reactivas se encuentran los aspectos relacionados con el estilo de vida, tales como la alimentación, el consumo de tabaco y/o alcohol, consumo de fármacos, contaminantes de las fábricas y ambientales (Aranda *et al.*, 2022).

Las dietas occidentales cargadas de azúcares refinados, grasas saturadas y proteínas de origen animal sumado a un deficiente consumo de fibras vegetales provenientes de las frutas, verduras y cereales integrales aumentan los procesos de carbonilación de proteínas y los productos de la peroxidación lipídica debilitando el estado de defensa antioxidante del organismo (Görlach *et al.*, 2015). Las especies reactivas inducidas por dietas altas en grasas desencadenan la activación de interleucinas inflamatorias causando excesiva producción de óxido nítrico, conllevando al estrés oxidativo y por consiguiente a enfermedades metabólicas (Dalvi *et al.*, 2017).

De manera antagónica si existe disponibilidad de moléculas antioxidantes, éstas pueden donar o aceptar ese electrón, reestableciendo así el equilibrio y orden celular. El organismo de manera natural tiene activado un sistema antioxidante, para defensa y neutralización de las especies reactivas de oxígeno y nitrógeno compuestos por antioxidantes enzimáticos como la catalasa, superóxido dismutasa y glutatión peroxidasa, antioxidantes no enzimáticos como lo son el ácido ascórbico, glutatión, α -tocoferol y la bilirrubina entre otros, y un mecanismo antioxidante mineral compuesto por el manganeso, selenio, cinc y cobre (Rossi *et al.*, 2016).

Compuestos fenólicos (CF) y su relación con el estrés oxidativo

Los compuestos fenólicos han demostrado ser agentes efectivos en la mitigación del estrés oxidativo, debido a su capacidad antioxidante para neutralizar especies reactivas de oxígeno (ROS), lo que contribuye a la protección celular y a la prevención de enfermedades metabólicas como la DM 2 y la dislipidemia. Los (CF) son metabolitos secundarios de plantas, algunos esenciales para las funciones fisiológicas de las plantas, y otros participan en funciones de defensa contra el estrés y los estímulos ambientales con capacidad para actuar como antioxidantes (Bravo, 1998). Su biosíntesis se produce principalmente a través de la vía del ácido shikímico (fenoles simples como los ácidos fenólicos) y la vía del malonato (fenoles complejos como flavonoides). Su estructura química se constituye por anillos aromáticos con uno o más grupos hidroxilos y su propiedad antioxidante se relaciona con la posición del grupo hidroxilo y grado de hidroxilación de los anillos (Rabassa *et al.*, 2011). Los CF representan una gran familia de sustancias. La Fig.1 muestra la diversidad de estos compuestos incluyendo a los fenoles simples, fenoles aldehídicos, ácidos fenólicos, fenoles con grupo cetona, ácidos hidroxicinámicos (ferúlico, cumárico, cafeico), flavonoides (antocianidinas, flavononas, flavonoles entre otros), cumarinas, estilbenos, lignanos y neolignanos, y los taninos.

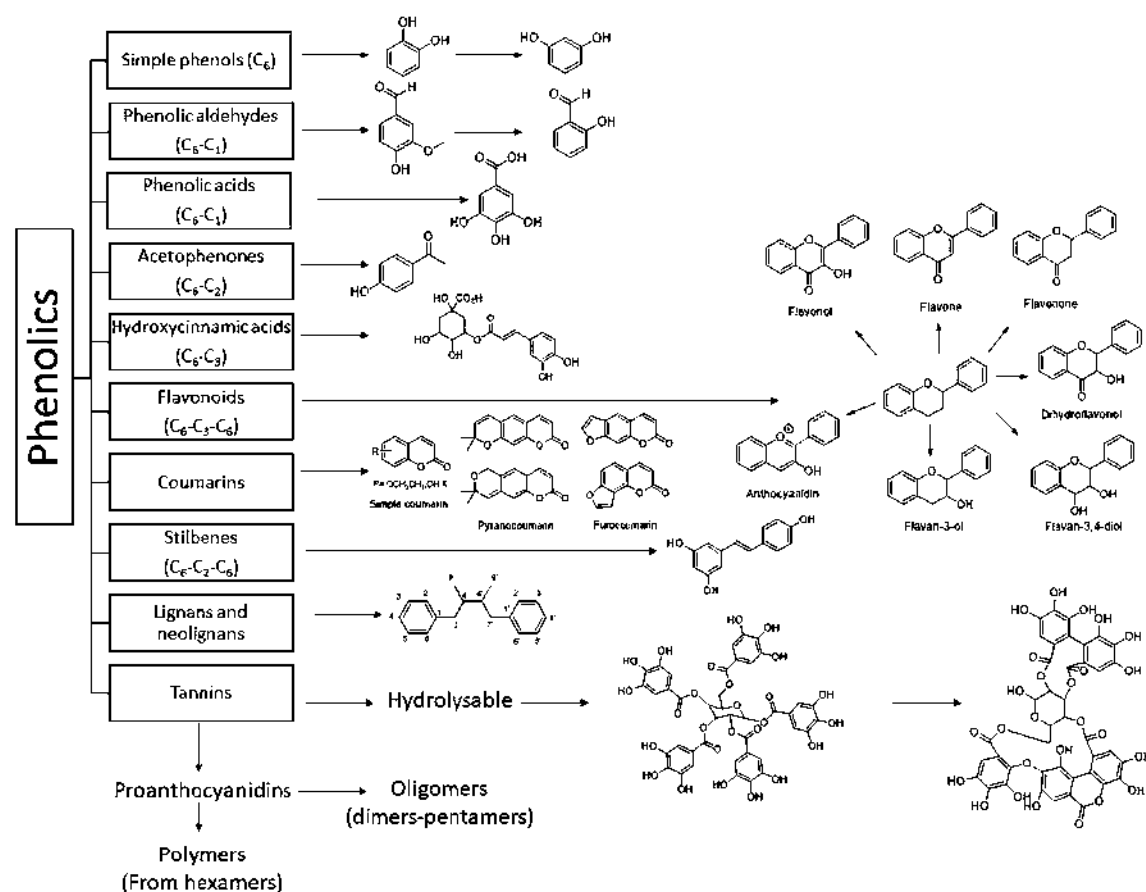


Figura 1. Clasificación de compuestos fenólicos.

Modificado de García-Pérez et al., 2025

El mecanismo de acción de los CF como antioxidantes involucra fundamentalmente dos acciones principales: a) la transferencia de átomos de hidrógeno y b) la transferencia de un solo electrón.

El primer mecanismo involucra la cesión de átomos de hidrógeno proveniente de los grupos hidroxilos (OH) u otros grupos funcionales de los compuestos fenólicos (Fig.2). El compuesto fenólico antioxidante que contiene un átomo de H representado por AH reacciona con los radicales libres. Como consecuencia de la donación del átomo de H a los radicales libres se produce una especie no radicalaria (RH, ROH, ROOH) y un radical libre antioxidante que no daña a las células (A^*) y puede interactuar con otros radicales libres disminuyendo su reactividad. (Zeb, A. 2020).

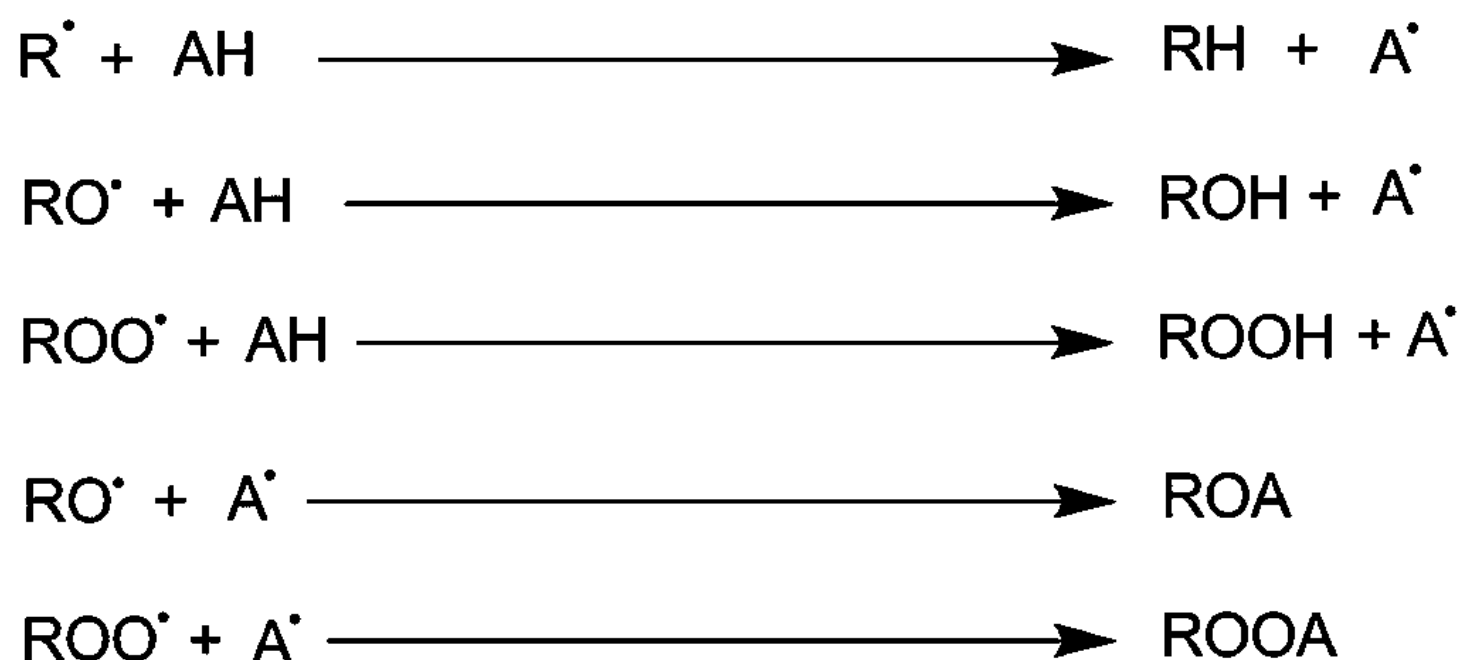


Figura 2. Mecanismo de acción antioxidante de compuestos fenólicos por cesión de un átomo de hidrógeno.

Tomado de Zeb, 2020.

En el mecanismo de transferencia de un solo electrón, conocido como “SET” Fig. 3 involucra que el compuesto fenólico done un electrón a un radical libre que posee un electrón desapareado. Como consecuencia, el CF, al donar un electrón, se transforma en un radical libre y finalmente se oxida, adoptando una forma que presenta baja o nula reactividad con su entorno, que puede estabilizarse por resonancia (Zeb, A. 2020).

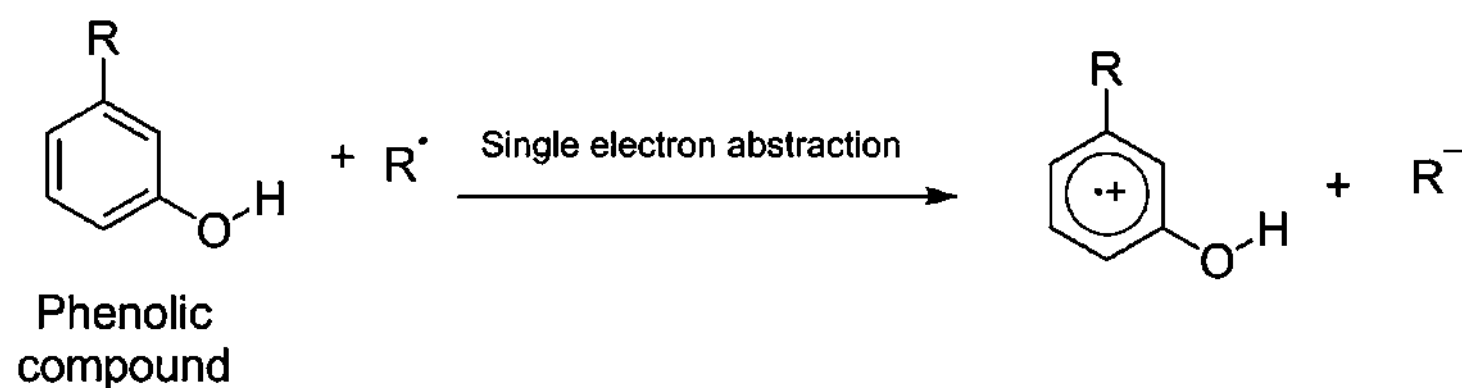


Figura 3. Mecanismo de acción antioxidante de compuestos fenólicos por transferencia de un solo electrón.

Tomado de Zeb, 2020

Metabolismo de los compuestos fenólicos.

Cuando los CF son ingeridos por los seres humanos lo hacen en forma de ésteres, glucósidos o polímeros, sufriendo una transformación metabólica. Como consecuencia, su forma de glucósidos y agliconas puede liberarse por la acción del pH ácido estomacal (pH-4), los ácidos fenólicos se absorben fácilmente a nivel de intestino delgado mientras que los flavonoides necesitan la hidrólisis enzimática para su absorción, posteriormente pasan al hígado para formar metabolitos más polares que son distribuidos a los tejidos corporales o excretados según sea el caso como se observa en la Fig.4. Los CF que no son absorbidos son metabolizados por la microbiota colónica generando metabolitos simples y otros compuestos bioactivos. Su excreción se da a través de la orina y en menor proporción en las heces (Crozier *et al.*, 2010).

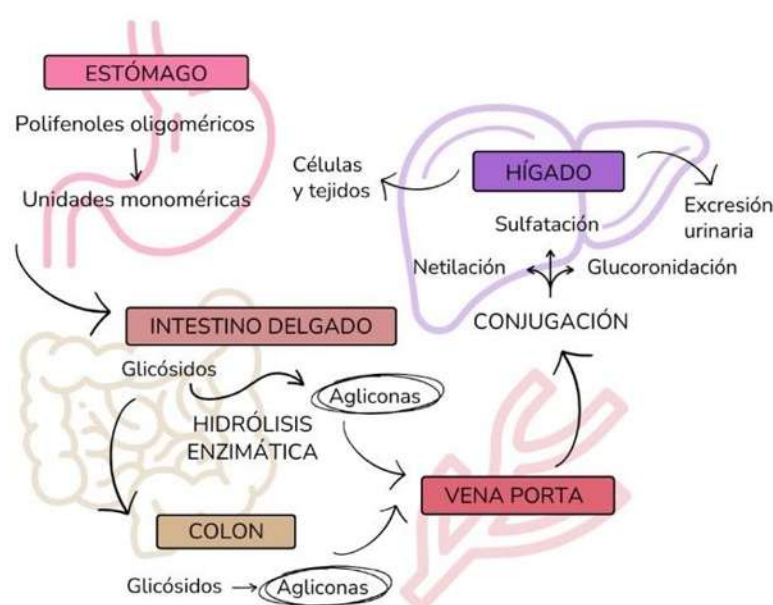


Figura 4. Metabolismo de los compuestos fenólicos dietéticos.

Se han descrito ampliamente las propiedades anticancerígenas, antiteratogénicas, cardioprotectoras, neuroprotectoras, hepatoprotectoras y reguladoras de metabolitos de los CF. De hecho, estos metabolitos de los CF pueden actuar como reguladores de la inflamación, una respuesta fisiológica que conecta el consumo de dieta hiperlipídica y desarrollo de obesidad (Thaler *et al.*, 2012).

Esta regulación es llevada a cabo por la inhibición de dos factores de transcripción involucrados en las cascadas de señalización pro-inflamatorias como son las de NF-κB (nuclear factor-kappa B) y AP-1 (activator protein 1), además de la actividad reguladora sobre la vía de las MAPK (mitogen-activated protein kinase). Flavonoides como kaempferol y quercetina, han mostrado un efecto positivo sobre la captura de glucosa, y reducción tanto de la gluconeogénesis como de la adipogénesis; esto asociado a una modulación de las vías inflamatorias dependientes de NF-κB, Tnf-α e Interleucinas (Vinayagam &

Xu, 2015). Por ello, los CF podrían ejercer sus efectos modulatorios sobre el metabolismo de la glucosa y el perfil lipídico vía una regulación de la inflamación.

Alimentos funcionales

El término de “alimentos funcionales” fue acuñado por primera vez en Japón, es el Dr Danik Martirosyan quién recientemente los ha definido como *“alimentos naturales o procesados que contienen compuestos bioactivos, que, en cantidades definidas, efectivas y no tóxicas, proporcionan un beneficio para la salud clínicamente probado y documentado utilizando biomarcadores específicos, para promover una salud óptima y reducir el riesgo de enfermedades crónicas/virales y controlar sus síntomas”* (Martirosyan et al., 2015). En la Tabla 3 se describen las características deseables de este tipo de alimentos y los puntos a tomar en cuenta durante el desarrollo de un alimento funcional.

Tabla 3. Pasos para desarrollar productos alimenticios funcionales y llevarlos al mercado. Tomado de Martirosyan et al., 2015

Pasos	Descripción de pasos para crear un alimento funcional
1	Establecer un objetivo del producto alimenticio funcional
2	Determinar la relevancia del compuesto(s) bioactivo(s).
3	Establecer la dosis adecuada de compuesto(s) bioactivo(s).
4	Determinar la vía y el mecanismo de acción específicos
5	Establecer biomarcadores relevantes
6	Elegir un vehículo alimentario apropiado para el(los) compuesto(s) bioactivo(s)
7	Proporcionar estudios preclínicos sobre eficacia y seguridad
8	Proporcionar ensayos clínicos de dosificación, eficacia y seguridad
9	Crea una etiqueta especial que informe a los consumidores la forma más efectiva de consumir el producto
10	Las publicaciones se enviarán a revistas revisadas por pares, preferiblemente en acceso abierto
11	Educación al público en general
12	Enviar información a agencias gubernamentales creíbles, como la FDA, para su aprobación
13	Contar con un establecimiento oficial del producto alimenticio funcional acreditado
14	Liberar el producto alimenticio funcional al mercado con la categoría Nivel C
15	Proporcionar estudios epidemiológicos (Volver a solicitar la aprobación de una nueva categoría Nivel B)
16	Proporcionar investigación de mercado posterior (Volver a solicitar la aprobación para una nueva categoría Nivel A)

Nivel A. Clasificación premium, categoría más alta que incluye estudios epidemiológicos e investigación posventa, Nivel B Clasificación más completa que incluye estudios epidemiológicos, Nivel C Clasificación básica, requisito mínimo para aprobación.

Bebidas y su panorama de consumo en México

La industria de las bebidas no alcohólicas en México y el mundo representa un sector que crece de manera constante, el mercado mundial para el año 2022 alcanzó cifras de 1.3 billones de dólares, y en este crecimiento sostenido la tasa anual compuesta esperada será del 5.2 % hasta 2028. (TECH®, 2024).

Existen factores que favorecen este incremento entre los cuales se describe la creciente concientización sobre aspectos relacionados con la salud, por ejemplo, la reducción en el contenido de azúcar en las bebidas podría contribuir a combatir la obesidad y enfermedades relacionadas (Barquera *et al.*, 2008). Además, el aumento en la variedad de sabores y la calidad de los ingredientes podría mejorar la experiencia de consumo y satisfacción del cliente, la necesidad de opciones sostenibles y que los consumidores encuentren experiencias de consumo diferentes y sofisticadas basadas en las experiencias previas.

Además de los sabores se han desarrollado una amplia gama de productos donde se encuentran las bebidas funcionales definidas como bebidas que contienen ingredientes como vitaminas, minerales y antioxidantes que representan un beneficio a la salud; en otro grupo destacan las bebidas probióticas mismas que contienen bacterias vivas y que en cantidades moderadas tienen un efecto positivo para la salud intestinal, y por último las bebidas con ingredientes botánicos que de la misma manera buscan beneficios a la salud (TECH®, 2024).

Evaluación sensorial de los alimentos

La evaluación sensorial es una disciplina científica empleada para evocar, medir, analizar e interpretar las reacciones humanas hacia las características de los alimentos y materiales. Durante el consumo de un alimento, se estimulan diferentes sentidos, que contribuyen a la experiencia sensorial global descritos en la Tabla 4. Además de evaluar las reacciones sensoriales, este análisis proporciona información valiosa sobre la calidad de los alimentos y las expectativas de aceptación por parte del consumidor, constituyéndose como una herramienta clave en el desarrollo y mejora de productos alimentarios (Etaio I *et al.*, 2007; de Penna, W. 2001).

Tabla 4. Estímulos de los sentidos en las pruebas sensoriales.
Tomado de (Liria, 2007).

Tipos de estímulos	Características
Visuales	Incluyen aspectos como el color, la forma y el brillo del alimento, los cuales influyen en las percepciones iniciales del consumidor
Táctiles	Percibidos tanto por la superficie de los dedos como por el epitelio bucal. Estos incluyen características como rugosidad, suavidad, aspereza, jugosidad, textura fibrosa, grumosidad, harinosidad, entre otros

Olfativos	Detectados por el epitelio olfativo, como aromas agradables o desagradables, que pueden clasificarse como aromáticos, ácidos o fetídicos
Auditivos	Percibidos durante la masticación o manipulación del alimento, como sonidos crujientes o burbujeantes
Gustativos	Percibidos por las papilas gustativas, los cuales incluyen sabores básicos como dulce, salado, ácido, amargo y umami

Tomado y modificado de (Liria, 2007).

Clasificación de las pruebas sensoriales

Existen tres tipos de pruebas sensoriales, éstas son aplicadas según el objetivo que se tenga en la evaluación del producto. La prueba discriminatoria determina si los productos se perciben de manera distinta en el consumidor. Es de carácter analítica y los panelistas son reclutados por su agudeza sensorial y en ocasiones entrenados. La prueba descriptiva es útil para determinar la naturaleza de las diferencias sensoriales de los alimentos, es evaluada de forma analítica y en este caso al igual que en la anterior los panelistas son reclutados por su agudeza sensorial y motivación; debiendo estar entrenados o altamente entrenados. Por su parte la prueba afectiva determina la aceptabilidad de consumo de un producto, este tipo de prueba se conoce como hedónica y los panelistas son reclutados por uso posible del producto y en este último caso no son entrenados (Liria, 2007).

Clasificación taxonómica Zarzamora *Rubus fruticosus* L.

La zarzamora crece en arbustos espinosos que presentan frutos pequeños agregados que consisten en varias drupas, de color negro cuando están maduros y pesan de 3-12 g dependiendo del cultivar. Son dulces, no climatéricos, bajos en calorías, fuente de vitaminas y minerales y su consumo se asocia con la disminución de la incidencia de enfermedades crónicas asociadas al corazón y cáncer, por su capacidad antioxidante (Hancock, 2008). Principalmente se desarrollan en zonas frías y templadas de América, Europa, norte de África y noroeste de Asia, considerando a China el lugar donde se concentra la mayor diversidad de especies de *Rubus* en el mundo (Graham *et al.*, 2011). La Tabla 5 representa la clasificación taxonómica de la planta.

Tabla 5. Clasificación taxonómica de *Rubus fruticosus* L.

Tomado de Departamento de Botánica, Instituto de Biología (IBUNAM), 2024.

Nombre científico:	<i>Rubus fruticosus</i> L.
Reino:	Plantae
División:	Magnoliophyta
Clase:	Rosales
Orden:	Rosales
Familia:	Rosaceae
Subfamilia:	Rosoideae
Tribu:	Rubeae
Género:	Rubus
Subgénero:	Rubus
Sección:	Rubus
Especie:	<i>R. ulmifolius</i>
Nombre común:	Zarzamora, Mora



Las zarzamoras pueden comercializarse en forma de alimento congelado, deshidratado, procesado y en fresco. Sin embargo tienen una corta vida de anaquel debido a sus características comparadas con otros frutos, tienen fragilidad biomecánica debido a que su piel es muy delgada y adicionalmente a esto tiene una alta tasa de respiración con una tendencia a perder humedad de manera acelerada debido a estas características son necesarias medidas especiales para mantener la calidad por lo que se generan cantidades importantes de productos no calificables para exportación y aumentando los costos de producción debido a la cadena de frío necesaria para su conservación (Martínez Camacho *et al.*, 2022). En consecuencia, se deben buscar alternativas para su aprovechamiento y generar productos alimenticios ricos en los compuestos bioactivos que la zarzamora posee, evitando de esta manera pérdidas importantes para los productores y cadenas de comercialización, que en el año 2016 se reportó que representó el 5% del total de la producción del fruto durante su almacenamiento y transporte. Los principales problemas que la afectan durante los procesos de comercialización son los cambios de coloración posterior a la cosecha denominado “*reversión*”; la degradación de la fruta producto de la presencia de hongos en la superficie y el escurrimiento del contenido de la zarzamora por daño mecánico o vibraciones fuertes durante el transporte (Pérez *et al.*, 2016; SIAP, 2023).

La explotación comercial de zarzamora es reciente en México, para 1985 se tenía 1 hectárea de la variedad “Logan” en Tetela del Volcán, Morelos. En 1993, el país contó con una superficie de 380 ha y Michoacán concentraba el 90% (Muratalla *et al.*, 1999). En Los Reyes, Michoacán, se inició la explotación comercial de zarzamora a partir de 1995, estableciendo principalmente el cultivar “Brazos” con calidad de exportación. Una gran parte de los productores han sustituido este cultivar por el “Tupy”, que para 2013 se tenía una capacidad de cultivo de 4,500 ha en esta región (González-Jiménez *et al.*, 2020).

Características *Rubus fruticosus* Cv Erandy

La variedad Erandy fue desarrollada en México con el objetivo de mejorar la adaptabilidad a las condiciones climáticas y de suelo locales. Es un híbrido que combina características deseables de otras variedades de zarzamora. Las plantas de zarzamora Erandy son vigorosas y tienen un crecimiento erecto, lo que facilita la cosecha, poseen espinas moderadas, lo que puede ser ventajoso para la manipulación y recolección. Los frutos son grandes, de forma cónica y de color negro brillante cuando están maduros, tienen un sabor dulce con un balance adecuado de acidez, lo que los hace atractivos para el consumo fresco y para la industria de procesamiento (Díaz *et al.*, 2016).

Es una variedad altamente productiva, lo que la convierte en una opción atractiva para los agricultores, la planta tiene una temporada de producción prolongada, lo que permite una cosecha más continua. Muestra una buena resistencia a enfermedades comunes de la zarzamora, como la antracnosis y la pudrición de raíces, reduciendo la necesidad de tratamientos químicos, contribuyendo a una producción más sostenible (Díaz *et al.*, 2016). La zarzamora se ha convertido en los últimos años en uno de los cultivos de mayor importancia agrícola en México, la producción anual de 220,772.01 toneladas en una superficie de 11, 309.17 mil ha, alcanzando cifras de valor comercial de 13 mil millones de pesos (SIAP, 2023, Martínez Camacho *et al.*, 2022). Michoacán aporta el 93% de la producción nacional. La exportación de este fruto a Canadá, Estados Unidos y Reino Unido se ubica en el 40-60% de la producción nacional (Martínez Camacho *et al.*, 2022; SIAVI, 2021) adquiriendo relevancia comercial por la ventaja en la época de cosecha (Esquivel *et al.*, 2016).

Se han identificado compuestos antioxidantes en la zarzamora tales como miricetina, kaempferol, quercetina, ácido cafeico y clorogénico, descritos con un amplio poder antioxidante y antiinflamatorio. Según lo reportado por García *et al.*, (2017) la zarzamora contiene mayor contenido de polifenoles totales en contraste con la frambuesa roja, fresa, mora azul y arándano (Neveu *et al.*, 2010)

En un estudio realizado sobre la recuperación muscular en atletas de alto rendimiento a los cuales se les administraron componentes antioxidantes por 16 días provenientes de la zarzamora congelada se demostró un efecto positivo en la disminución de la respuesta de daño muscular acelerando la recuperación en período competitivo, asociado con su contenido antioxidante (García *et al.*, 2017). El elevado poder antioxidante en las zarzamoras demostró su potencial para reducir los factores de riesgo para padecer de cáncer y enfermedades cardiovasculares comparados con otras 27 frutas y vegetales analizados (García *et al.*, 2004). Así como también han sido reportadas las propiedades hipoglucemiantes en los genotipos de *Rubus* mexicanos (Cuevas *et al.*, 2010).

Clasificación taxonómica del guayabo *Psidium guajava* L.

Tabla 6 Clasificación taxonómica de *Psidium guajava* L.

Tomado de Herbario de Plantas Ornamentales Carlos Contreras Pagés (HEFA)

Nombre científico:	<i>Psidium guajava</i> L.
Reino:	Plantae
Clase:	Magnoliopsida
Orden:	Myrtales
Familia:	Myrtaceae
Género:	Psidium
Especie:	Psidium guajava
Referencia del nombre científico	THEPLANTLIST: kew-166741
Determinador (es)	Rodrigo Pérez García
Fecha determinación	2018-06



Características *Psidium guajava* Cv Hidrozac

La guayaba (*Psidium guajava* L.), Tabla 6, es un árbol originario de América y ampliamente cultivado a nivel mundial, pertenece a la familia Myrtaceae. Este árbol frondoso puede alcanzar entre 5 y 6 metros de altura en promedio; sin embargo, mediante un manejo adecuado de podas, su altura puede mantenerse por debajo de los 3 metros, lo que facilita su cultivo y cosecha. Los tallos jóvenes presentan una forma angulosa, mientras que las hojas, dispuestas en pares opuestos, son de color verde pálido, con forma alargada y una punta aguda. Su longitud varía entre 10 y 20 cm, con un ancho aproximado de 8 cm (Yam Tzec *et al.*, 2010). Ambas superficies de las hojas están recubiertas por una fina capa de pelos suaves, destacando una nervadura central prominente acompañada de nervaduras secundarias claramente visibles. Es una planta perenne que se adapta a diversas condiciones climáticas, desde tropicales hasta subtropicales, gracias a su alta resistencia a la sequía. Su adaptabilidad a suelos pobres y su bajo requerimiento de insumos la convierten en un cultivo accesible para pequeños agricultores. Produce flores hermafroditas blancas y aromáticas, las cuales se desarrollan en las axilas de las hojas. Es una especie de rápido crecimiento y alta productividad (Tousif *et al.*, 2022).

Tanto su fruto como sus hojas contienen compuestos funcionales, destacando su alto contenido en vitaminas A y C, riboflavina, niacina, taninos, triterpenos, flavonoides, aceites esenciales, saponinas, carotenoides y lectinas (Kamath *et al.*, 2014). Los beneficios metabólicos de la hoja de guayaba se atribuyen principalmente a los polifenoles. Entre los principales componentes fenólicos solubles de las hojas de guayabo se encuentran el ácido gálico, catequina, epicatequina, rutina y quercetina (Chen y Yen, 2007). Esta planta ha demostrado tener actividades antioxidantes, hepatoprotectoras,

antialergénicas, antimicrobianas, antigenotóxicas, antiplasmodiales, citotóxicas, antiespasmódicas, cardioactivas, antiinflamatorias y antinociceptivas (Gutiérrez *et al.*, 2008, Tousif *et al.*, 2022). Un estudio previo informó que los fitoquímicos primarios de las hojas de guayaba son rutina, naringenina, ácido gálico, catequinas, epicatequinas, kaempferol, quercetina y guajaverina, que son ampliamente conocidos por sus propiedades antibacterianas, antioxidantes y antiinflamatorias (Sampath *et al.*, 2021). Según lo reportado por Sharma y Gupta (2010) la quercetina interviene en la disminución de la mortalidad por enfermedades cardíacas además de su actividad anticolesterolémicas.

El ácido gálico inhibe la enzima colesterol esterasa pancreática disminuyendo los niveles de colesterol mientras que las catequinas expresan sus propiedades preventivas en el tratamiento de la diabetes tipo II y la obesidad (Nayeem *et al.*, 2016; Legeay *et al.*, 2015). Además, se publicó la actividad hipoglucemiante en un estudio, donde el extracto de hojas de *Psidium guajava* con butanol administrado a ratas diabéticas durante cuatro semanas en una dosis de 250 mg/kg produjo una reducción en los niveles de glucosa (Inocente-Camones *et al.*, 2015; Choi *et al.*, 2021) demostraron que las hojas de *Psidium guajava* exhiben efectos hipoglucémicos y antidiabéticos en roedores, éstos fueron medidos sobre la adipogénesis, la captación de glucosa y la lipólisis de los adipocitos para examinar si las propiedades antidiabéticas están mediadas por efectos directos sobre los adipocitos, concluyendo que el extracto metanólico de hojas de *Psidium guajava* inhibe la adipogénesis y mejora la función de los adipocitos al reducir la lipólisis basal y aumentar la captación de glucosa estimulada por insulina en los adipocitos.

Resultado que concuerda con los efectos antidiabéticos de las hojas de guayaba que Tousif *et al.*, (2022), reportaron donde tanto las hojas como la corteza de *P. guajava* demostraron actividad inhibitoria sobre la enzima α -glucosidasa y α -amilasa, así mismo indican que el extracto etanólico de las hojas de *P. guajava* en modelos animales tuvo un poder anticonvulsionante dependiente de la dosis, que redujo la contracción tónica de las extremidades posteriores y la frecuencia de las crisis.

En el año 2022 en México la producción nacional de guayaba alcanzó las 321,123.41 toneladas, de las cuales Michoacán aportó 186,625.05 toneladas, representando el 58 % de la producción nacional, consolidándose como uno de los principales productores (SIAP, 2023). Según Teleszko y Wojdyło (2015), las hojas de varias especies vegetales contienen una mayor cantidad de compuestos fenólicos en comparación con los frutos. El proceso de corte que sufren las plantas de guayabo después de la temporada de cosecha hace que las hojas estén siendo subutilizadas en la industria alimentaria, usándose principalmente el fruto para el consumo humano, pudiendo las hojas desempeñar un papel importante como alimento funcional.

Nanotecnología y nanoencapsulación

La adición de compuestos bioactivos en formulaciones alimentarias, tipo bebidas, está limitada por diversas razones: liberación rápida, baja solubilidad, baja permeabilidad, baja biodisponibilidad y fácil

degradación frente a factores ambientales extremos de calor, luz, oxígeno y pH (Faridi Esfanjani y Jafari, 2016; Hessel *et al.*, 2023). Por ello, surge la necesidad de diseñar portadores mediante el uso de métodos innovadores, como la nanoencapsulación para superar las restricciones mencionadas, de fácil escalabilidad industrial. La nanotecnología mide, manipula y fabrica materiales en escalas pequeñas ≤ 100 nm (Bhushan y Li, 2003), cuyas partículas ofrecen mayor reactividad química y bioactividad comparadas con partículas de mayor tamaño, mejorando su acceso a cualquier parte del cuerpo. En la industria alimentaria la nanotecnología se está expandiendo rápidamente; entre sus principales aplicaciones está la nanoencapsulación de compuestos bioactivos con fines biológicos, al permitir el diseño y desarrollo de nuevos ingredientes funcionales de alimentos con solubilidad en agua mejorada, estabilidad térmica, biodisponibilidad oral, atributos sensoriales y desempeño fisiológico (Ojeda *et al.*, 2019).

La encapsulación es una técnica donde gotas líquidas, partículas gaseosas o sólidas que contienen una sustancia activa, son cubiertas por una película polimérica llamada material de pared, cuya función es resguardar al principio activo (Sosnik y Seremeta, 2015). La encapsulación de sustancias en escala de 100 nm se denomina nanoencapsulación y el material encapsulante se conoce como nanomaterial. La nanoencapsulación se ha empleado para la protección de fármacos, principios bioactivos, aromas, sabores, lípidos, aceites, micronutrientes, enzimas, probióticos, y prebióticos, entre otros (Ezhilarasi y Karthik, 2012), como se muestran en la Tabla 7 creando una barrera física entre el compuesto del núcleo y los otros componentes del producto final.

Tabla 7. Descripción general de los ingredientes alimentarios comunes que pueden ser encapsulados y el propósito para la encapsulación.

Tomado y modificado de Jafari, 2017.

Ingredientes alimentarios/nutraceuticos	Propósito de encapsulación	Ejemplos
Compuestos fenólicos y antioxidantes	Estabilización y protección	Cúrcuma, oleuropeína
Aceite de pescado y ácidos grasos esenciales	Estabilización y control de liberación	DHA, ácido linolénico
Vitaminas	Estabilización de la oxidación	Grasas solubles
Agentes antimicrobianos	Control de liberación	Nisina
Colorantes alimenticios naturales	Estabilización	Antocianinas, carotenoides
Saborizantes y aceites esenciales	Enmascaramiento del sabor, reducción de la volatilidad y control de liberación.	Terpenos, aceite de limón
Enzimas	Control de liberación	Proteasa, glucoxidasa
Otros	Estabilización y control de liberación	Minerales, ácidos, sustancias buffer, endulzantes, micronutrientes,

El material de pared usado en la encapsulación de compuestos debe ser de grado alimenticio, biodegradable y estable en los sistemas alimentarios durante el procesamiento, almacenamiento y

consumo, siendo los más usados los carbohidratos, proteínas o lípidos (Paredes *et al.*, 2016). La nanoencapsulación química, tal como el método de polimerización interfacial e *in situ*, implica la polimerización de monómeros del material de pared en la interfase de dos sustancias inmiscibles por la adición de un agente reticulante en la fase externa, que favorece el acoplamiento de los monómeros que constituirán al polímero encapsulante. El secado por aspersión, como muestra la Fig.5 es una técnica usada para encapsular ingredientes activos debido al bajo costo, y los instrumentos necesarios, que de acuerdo con la solubilidad de los ingredientes bioactivos determinará la velocidad y mecanismo de liberación de un sistema de matriz polimérica (Ezhilarasi y Karthik, 2012).

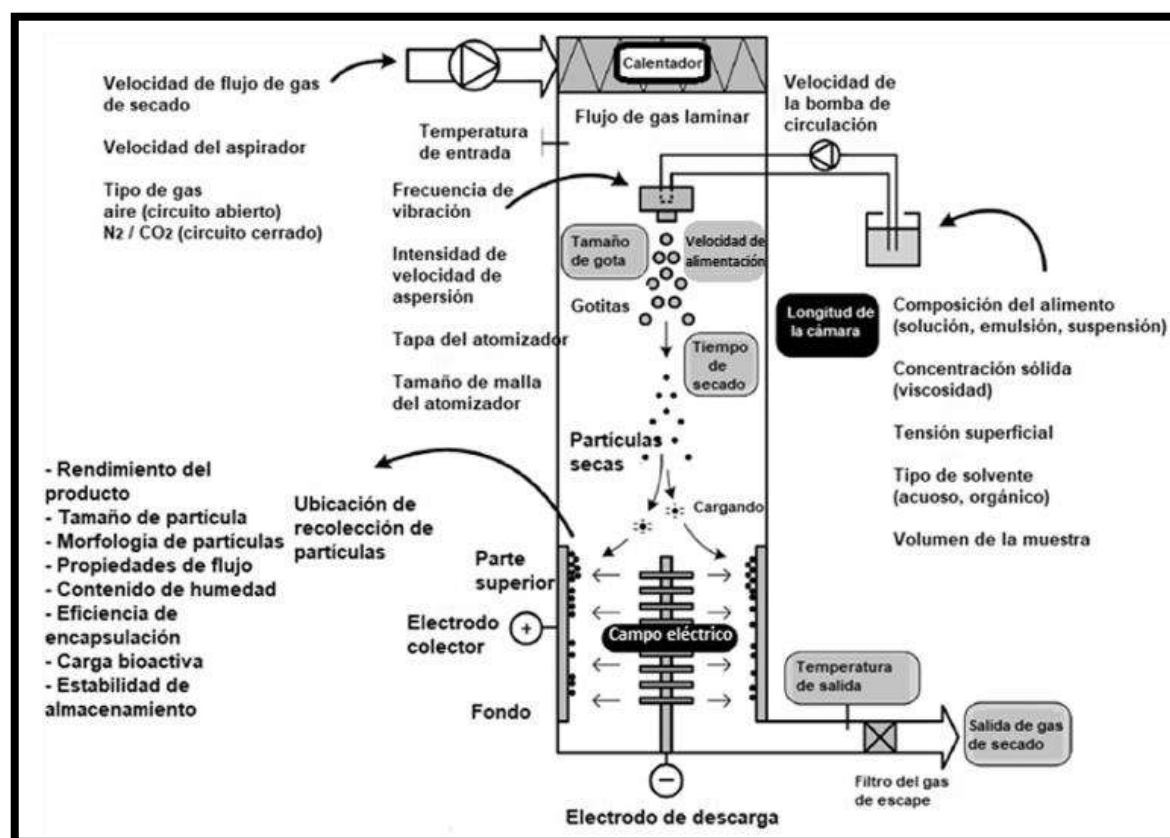


Figura 5. Esquema del proceso de secado por aspersión con campo eléctrico aplicado.

El diagrama muestra los principales parámetros operativos que influyen en la eficiencia del secado, incluyendo la velocidad del flujo de gas, la temperatura de entrada y salida, el tipo de solvente, la composición del alimento y el tamaño de las partículas formadas. También se destacan factores clave que afectan la calidad del producto final, como el rendimiento, la morfología de las partículas y la estabilidad del almacenamiento (Jafari, 2017).

En un estudio realizado por Araujo *et al.*, (2017), se evaluaron dos polímeros de carbohidratos, inulina y maltodextrina, como agentes de transporte en el proceso de secado por aspersión de jugo de arándano. Ambos sistemas generaron partículas no aglomeradas y presentaron un color púrpura claro, característico del producto. Sin embargo, los análisis realizados mediante microscopía electrónica de barrido revelaron diferencias significativas entre los dos polímeros. Las partículas formadas con inulina, inicialmente esféricas, mostraron cambios hacia formas más irregulares tras el procesamiento, lo que podría indicar una menor estabilidad estructural. Por otro lado, en términos de conservación del

contenido antioxidante, la maltodextrina demostró un mejor desempeño, destacándose como un agente de transporte más eficiente para preservar los compuestos bioactivos del jugo de arándano.

Khosravi *et al.*, (2018) llevaron a cabo la microencapsulación de *Lactobacillus casei* y *Bifidobacterium bifidum* en micropartículas de alginato de sodio recubiertas con quitosano. En sus estudios, observaron un incremento significativo en la viabilidad de los probióticos microencapsulados al someterlos a un ambiente que simulaba las condiciones del jugo intestinal y gástrico. Estos hallazgos resaltan la importancia de seleccionar el polímero adecuado para garantizar tanto la estabilidad física como la funcionalidad bioactiva en productos secos por aspersión.

JUSTIFICACIÓN

La prevalencia de enfermedades crónicas no transmisibles como la obesidad, diabetes mellitus tipo 2 y las dislipidemias ha alcanzado niveles alarmantes tanto a nivel global como en México. Estas patologías están estrechamente relacionadas con el estrés oxidativo y la inflamación crónica, factores que afectan negativamente el metabolismo de lípidos y glucosa. Los datos más recientes de la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición (Ensanut 2022) indican que el 75.2% de los adultos en México presentan sobrepeso u obesidad, lo que subraya la necesidad urgente de nuevas estrategias para la prevención y el manejo de estas enfermedades.

En este contexto, los compuestos fenólicos destacan por sus propiedades antioxidantes, antiinflamatorias y reguladoras del metabolismo. Tanto la zarzamora (*R. fruticosus*) como el guayabo (*P. guajava*) han demostrado ser fuentes ricas en estos compuestos bioactivos. Sin embargo, la biodisponibilidad de estos compuestos puede ser limitada debido a su susceptibilidad a factores ambientales como la luz, el pH y la temperatura. La nanoencapsulación ofrece una solución innovadora, ya que permite mejorar la estabilidad y liberar de forma controlada los compuestos fenólicos, lo que podría potenciar sus efectos terapéuticos.

Michoacán, como uno de los principales productores de zarzamora y guayaba en México, proporciona las condiciones agronómicas ideales para obtener materias primas de alta calidad potencialmente interesantes para el desarrollo de nuevos alimentos funcionales. Por ello, la utilización de estos ingredientes en el desarrollo de una bebida funcional, no solo abordaría una necesidad de salud pública, sino que también contribuiría a mejorar la economía local al generar productos con un alto valor añadido. Además, el creciente interés de los consumidores en productos funcionales representa una oportunidad de mercado significativa, ya que la industria de bebidas funcionales continúa en expansión.

El presente proyecto de investigación tuvo como objetivo desarrollar una bebida funcional a base de zarzamora enriquecida con extracto fenólico nanoencapsulado de hojas de guayabo, evaluando su capacidad antioxidante y su potencial para influir positivamente en los marcadores de salud relacionados con el metabolismo lipídico y glucémico. Esta bebida podría ofrecer una alternativa natural y accesible para el control de las enfermedades metabólicas, contribuyendo de manera significativa a la salud pública y al bienestar de los consumidores.

HIPÓTESIS

Los compuestos bioactivos de la zarzamora *Rubus fruticosus* y del extracto fenólico de hoja de guayabo *Psidium guajava* en una bebida potencialmente funcional tendrán un elevado poder antioxidante

OBJETIVO GENERAL

Desarrollar una bebida funcional antioxidante a base de zarzamora adicionada con extracto de compuestos fenólicos de hoja de guayabo nanoencapsulados

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar el contenido de fenoles y flavonoides totales, así como la capacidad antioxidante del extracto fenólico de hojas de guayabo.
- Realizar el análisis bromatológico de *Psidium guajava* Cv Hidrozac y *Rubus fruticosus* Cv Erandy.
- Caracterizar químicamente el extracto de hojas de guayabo *P. guajava* L. y zarzamora *R. fruticosus* L.
- Nanoencapsular el extracto fenólico de hoja de guayabo para su incorporación al jugo de zarzamora.
- Estandarizar el proceso de elaboración de la bebida potencialmente funcional y caracterizarla mediante análisis sensorial para predecir su aceptabilidad por el consumidor.

DISEÑO EXPERIMENTAL

La estrategia experimental del presente trabajo de investigación se representa en la Fig. 6, se realizaron las colectas de ambas especies vegetales con las cuáles se trabajó, se realizó el procesamiento y los análisis de compuestos previos para la formulación de la bebida potencialmente funcional.

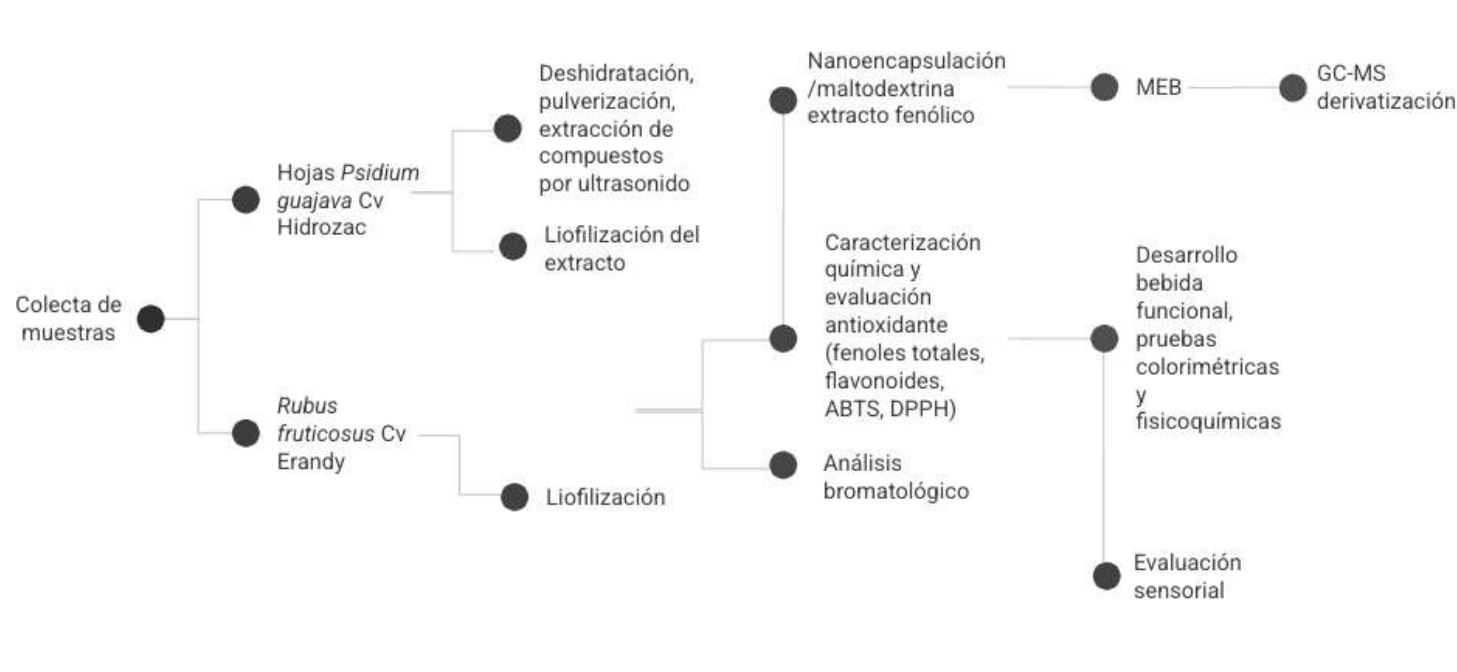


Figura 6. Diagrama de flujo. Principales procesos realizados en el proyecto. MEB microscopia electrónica de barrido, GC-MS cromatografía de gases acoplado a espectrometría de masas.

METODOLOGÍA

Etapas I. Obtención y procesamiento de muestras

Rubus fruticosus Cv Erandy

La variedad de *R. fruticosus* seleccionada para este estudio fue Cv. Erandy, la cual se encuentra establecida en una huerta ubicada en las coordenadas Longitud 19°20'56" N 101°55'52" a 1170 msnm, en el Municipio de Taretan Michoacán de Ocampo. El productor certificado cooperante Vivaberries apoyó con 20 kg material vegetal para el desarrollo del presente proyecto de investigación cosechados el 20 octubre del 2023. En la Fig.7A , se muestran plántulas de zarzamora *Rubus fruticosus* Cv Erandy, dispuestas en bandejas de germinación.

Las plántulas presentan un desarrollo homogéneo, con hojas de color verde brillante, lo que indica un estado saludable y vigoroso. Cada bandeja contiene múltiples plántulas organizadas en hileras, lo que facilita su manejo y cuidado. La Fig. 7B muestra una plantación de zarzamoras *Rubus fruticosus* Cv Erandy en campo de cultivo, con las plantas en plena fase de fructificación. Se observan racimos de zarzamoras en diferentes etapas de maduración, desde frutos verdes inmaduros hasta frutos oscuros completamente maduros, listos para la cosecha. Los frutos maduros presentan una tonalidad negra brillante, característica de esta variedad, mientras que los frutos en desarrollo tienen tonalidades que varían entre verde, rojo y anaranjado, lo cual es típico en la secuencia de maduración de la zarzamora.



Figura 7. A) Plántulas de *Rubus fruticosus* Cv. Erandy utilizada en el desarrollo de esta investigación, B) Plantas en fase de fructificación en parcela del productor cooperante.

Procesamiento de la muestra de zarzamora *Rubus fruticosus* Cv Erandy

Los frutos de zarzamora *R. fruticosus* Cv. Erandy seleccionadas fueron las clasificadas por el productor cooperante como “subproducto”, las cuales se clasifican como frutos no seleccionables para exportación, pero que aún pueden ser útiles y seguros para su utilización y proceso en la alimentación humana Fig.8. Las zarzamoras se lavaron bajo chorro de agua eliminando residuos propios de la cosecha y desinfectaron utilizando una solución de hipoclorito de sodio 100 ppm de Cloro Libre Residual, fue retirado el exceso de agua y se congelaron a -18°C en Refrigerador SAMSUNG RF22A4010S9EM, empacadas al vacío y protegidas de la luz. Posteriormente se liofilizaron usando el liofilizador 7753020, LABCONCO, Kansas City, MO, EE. UU, en el Centro de Innovación y Desarrollo Agroalimentario S.A de C.V CIDAM (Fig.9). La liofilización permite la eliminación del contenido de agua de las muestras mediante un proceso de sublimación, preservando así las propiedades fisicoquímicas de los compuestos fenólicos Ramírez-Navas (2007).



Figura 8. Muestras cosechadas de zarzamora en parcela del productor, clasificadas como subproducto.



Figura 9. Equipo liofilizador LABCONCO, Kansas City, MO, EE. UU con la muestra de *Rubus fruticosus*

***Psidium guajava* Cv Hidrozac**

Las muestras de hojas de guayabo *P. guajava* Cv Hidrozac se colectaron en octubre del 2023 en las coordenadas Longitud 19°41'54" N 101°9'57" O, a 1920 msnm, que corresponden a la Facultad de Químico Farmacobiología de Morelia, Michoacán. La variedad seleccionada para este proyecto aparece representada en la Fig.10 y correspondió a la Cv Hidrozac, con la cual se han publicado estudios previos en el grupo de investigación del Laboratorio de Investigación y Desarrollo de Alimentos de la UMSNH, desarrollada en el INIFAP, Aguascalientes, México (Tena Rojas *et al.*, 2022). Las hojas de guayabo *P. guajava* Cv Hidrozac cuentan con registro No. GUA-002-160709 en el catálogo de variedades vegetales del Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas "SNICS".



Figura 10. Especie vegetal de guayabo *Psidium guajava* Cv. Hidrozac utilizado en el desarrollo de la investigación.

Procesamiento para la obtención del extracto acuoso fenólico de hojas de *P. guajava*

Las hojas de guayabo fueron deshidratadas a la sombra por 7 días y se pulverizaron en molino marca Hamilton Beach, el polvo fue tamizado hasta obtener tamaño de partícula que pase por malla No. 60 (0.3331 pulgadas de apertura). Para la extracción de los compuestos fenólicos, se utilizaron 10 g de polvo de hojas de guayabo disueltos en 100 mL de agua destilada, la mezcla fue sometida a extracción de compuestos por ultrasonido con el Ultrasonificador VCX 500 por 10 min a temperatura de 25 °C y un porcentaje de amplitud de onda de 35, Fig.11 (Abid *et al.*, 2014). El extracto fue filtrado primero con filtro poro abierto y luego con filtro poro cerrado, diluido en agua destilada, protegido de la luz y a temperatura ambiente antes del proceso de liofilización, posteriormente fue sometido a proceso de liofilización en el equipo LABCONCO, Kansas City, MO, EE. UU, en el Centro de Innovación y Desarrollo Agroalimentario C.V CIDAM para su posterior utilización Fig.12.



Figura 11. Mezcla de polvo de *P. guajava* Cv Hidrozac y agua destilada en ultrasonificador VCX 500, para extracción de compuestos bioactivos.



Figura 12. Extracto fenólico *P. guajava* Cv Hidrozac ultrasonificado mediante ultrasonificador VCX 500 y filtrado, diluido en agua destilada.

Etapla II. Caracterización química y determinación de compuestos fenólicos

Preparación de las muestras

Los extractos fueron sometidos a centrifugación a 3,087 g durante 10 minutos, posteriormente filtrados al vacío utilizando papel de filtro Whatman con un tamaño de poro inferior a 2.5 μm . Las muestras obtenidas se almacenaron en tubos Falcon oscuros para su posterior análisis, incluyendo la determinación de ácidos fenólicos, flavonoides y la evaluación de actividades antioxidantes mediante los ensayos de captura de radicales DPPH• y ABTS•+.

Determinación de polifenoles totales

Los ácidos fenólicos se determinaron mediante el método de Folin-Ciocalteu, siguiendo el procedimiento descrito por Makkar *et al.*, (1993), con adaptaciones menores propuestas por Treviño *et al.*, (2017). El protocolo consistió en mezclar 250 μL del extracto con 250 μL de reactivo Folin-Ciocalteu (2 N) y 250 μL de Na_2CO_3 al 20%. Posteriormente, la mezcla se agitó y se incubó a 40°C durante 30 min. Tras la incubación, se añadieron 2 mL de agua destilada, y la solución se agitó nuevamente. La absorbancia de las muestras se midió a 750 nm empleando un espectrofotómetro (VELAB®, USA). Para la cuantificación, se utilizó ácido gálico como patrón, expresando los resultados en equivalentes de ácido gálico (mg EAG).

Determinación de flavonoides totales

La determinación de flavonoides totales se realizó según el método descrito por Liu *et al.*, (2002). Para ello, se mezclaron 150 μL de cada muestra con 150 μL de NaNO_2 al 5%. Posteriormente, se añadieron 150 μL de AlCl_3 al 10% y 1 mL de NaOH 0.1 M, agitando la mezcla para homogenizarla. La absorbancia se midió a 510 nm utilizando un espectrofotómetro (VELAB®, USA). Para la cuantificación, se empleó quercetina como estándar, expresando los resultados como equivalentes de quercetina (mg EQ).

Caracterización cromatográfica en extracto liofilizado de hojas de guayabo *P. guajava* L. y zarzamora *R. fruticosus* L.

La cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (GC-MS), equipo mostrado en la Fig.13, es una técnica analítica de gran precisión, ampliamente utilizada para la identificación y cuantificación de compuestos volátiles y semivolátiles en matrices complejas. Combina dos metodologías complementarias: la cromatografía de gases (GC), que separa los componentes de una muestra según su volatilidad y afinidad con la fase estacionaria de una columna capilar, utilizando un gas inerte como fase móvil; y la espectrometría de masas (MS), que analiza los compuestos separados por la GC al fragmentarlos en iones característicos según su relación masa-carga (m/z). Estos fragmentos generan un espectro único que actúa como una "huella digital" para la identificación precisa de las moléculas. Esta técnica es especialmente útil en la caracterización de metabolitos secundarios, compuestos fenólicos, terpenos y otros compuestos bioactivos en matrices alimentarias, ambientales y biológicas. Su alta sensibilidad y especificidad permiten detectar incluso trazas de compuestos,

consolidándose como una herramienta fundamental en investigaciones de alimentos funcionales, control de calidad y análisis de compuestos volátiles (González *et al.*, 2007).



Figura 13. Cromatógrafo de Gases (GC-MS) Agilent.

Los compuestos fenólicos, debido a su polaridad y baja volatilidad, fueron analizados mediante GC-MS tras un proceso de derivatización para convertirlos en derivados trimetilsililados (TMS), mejorando su volatilidad y estabilidad térmica. Se pesaron 5 mg de cada tratamiento (T1, T2, T3, T4, T5), conservados a 4 °C, y se colocaron en tubos Eppendorf nuevos. Posteriormente, se añadieron 200 µL de piridina anhidra con 1.5 mg/mL del catalizador 4-Dimetilaminopiridina (DMAP) y 200 µL de BSTFA (10% TMCS). La mezcla se homogeneizó en un vortex y se calentó a 70 °C durante 2 h para garantizar la reacción completa de derivatización. Una vez transcurrido el tiempo, las muestras se enfriaron a 4 °C durante 15 minutos, se diluyeron con 400 µL de acetato de etilo y se centrifugaron a 5000 rpm por 5 minutos. El sobrenadante se extrajo y filtró a través de un filtro PTFE (13 mm, 0.2 µm) y se transfirió a viales ámbar de 2 mL para el análisis Fig. 14. El análisis se realizó en un equipo GC-MS Agilent, equipado con una columna HP-5MSUI (30 m × 0.25 mm × 0.25 µm) y utilizando helio de alta pureza (99.999%) como gas portador. Las condiciones del equipo fueron: presión de 193 kPa, caudal de 2.5 mL/min y perfil de temperatura que inició a 65 °C por 0.1 min, con incrementos de 10 °C/min hasta 320 °C (0 min), seguido de 7.5 °C/min hasta 350 °C (3.5 min) y, finalmente, 20 °C/min hasta 380 °C (8 min). El tiempo total de ejecución fue de 42.6 minutos, y los compuestos se identificaron mediante la base de datos NIST y se cuantificaron con base en el área relativa de los picos (Ibragic, 2021).



Figura 14. Viales colocados en el GC-MS Agilent para su lectura.

La identificación de compuestos mayoritarios se realizó en cinco tratamientos, para el T1 se utilizó el liofilizado de *R. fruticosus*, en el T2 se utilizó el extracto liofilizado de *P. guajava*, el T3 fueron las nanocápsulas en concentración material de pared/extracto 2:1 (maltodextrina/*P. guajava*), T4 nanocápsulas en concentración material de pared/extracto 3:1 (maltodextrina/*P. guajava*), y el T5 fueron las nanocápsulas en concentración material de pared/extracto 4:1 (maltodextrina/*P. guajava*).

Etapa III. Análisis de la capacidad antioxidante

Ensayo antioxidante DPPH•

La capacidad de captación del radical DPPH• se evaluó utilizando el método descrito por Randhir y Shetty (2007), con modificaciones de Treviño *et al.* (2017). Para ello, se mezclaron 50 µL de cada muestra con 2.95 mL de una solución de DPPH• a 60 mM preparada en metanol, obteniendo un volumen final de 3 mL. La mezcla fue homogeneizada durante 10 segundos y posteriormente incubada en la oscuridad durante 30 min. La absorbancia se midió a 517 nm utilizando un espectrofotómetro VELAB®. Los resultados se expresaron en equivalentes de ácido gálico (mg EAG), calculados a partir de una curva de calibración obtenida con el mismo estándar, o como porcentaje de inhibición del radical DPPH•, calculado mediante la fórmula:

$$\% \text{ inhibición} = \frac{A_c - A_m}{A_c} * 100$$

Donde A_c es la absorbancia de la referencia y A_m la absorbancia de la muestra.

Ensayo antioxidante ABTS•+

El ensayo ABTS•+ es particularmente interesante en extractos de plantas porque la absorción de longitud de onda a 734 nm elimina la interferencia de color Li *et al.* (2008). La capacidad de captación del radical ABTS•+ se evaluó siguiendo el método descrito por Re *et al.* (1999). Para ello, se preparó una solución madre mezclando ABTS•+ a 7 mM con persulfato de potasio a 2.45 mM en una proporción de 2:1 v/v. La solución se dejó reposar a temperatura ambiente durante 16 h para permitir la generación del radical ABTS•+. Posteriormente, se ajustó con etanol hasta alcanzar una absorbancia de 0.70 ± 0.02 a 734 nm. Cada ensayo consistió en mezclar 15 µL de la muestra con 1485 µL de la solución ABTS•+ preparada. Después de 15 min de incubación, se midió la absorbancia a 734 nm utilizando un espectrofotómetro (VELAB®). Los resultados se expresaron como equivalentes de ácido gálico (mg EAG), calculados a partir de una curva de calibración con el mismo estándar, o como porcentaje de inhibición del radical ABTS•+, determinado mediante la fórmula:

$$\% \text{ inhibición} = \frac{A_c - A_m}{A_c} * 100$$

Donde A_c es la absorbancia del patrón y A_m la absorbancia de la muestra.

Etapa IV. Análisis bromatológico *P. guajava* y *R. fruticosus*

El análisis bromatológico es una herramienta fundamental en la investigación alimentaria para determinar la composición química de los alimentos, mediante el mismo, se pueden identificar y cuantificar los principales componentes de las muestras. Con esto obtuvimos la información para evaluar el valor nutritivo, la calidad y la seguridad de las materias primas de nuestra bebida funcional permitiendo cuantificar el contenido de macronutrientes, garantizando que ésta sea segura para el consumo y cumpla con los estándares de calidad alimentaria, ajustando la concentración de compuestos bioactivos para maximizar los beneficios a la salud y proveer datos esenciales para el etiquetado nutricional y la promoción de la bebida como un producto saludable y funcional basado en (NORMA Oficial Mexicana NOM-051-SCFI/SSA1-2010, Especificaciones generales de etiquetado para alimentos y bebidas no alcohólicas preenvasados-Información comercial y sanitaria, s/f) Con este análisis ajustaremos la concentración de compuestos bioactivos para maximizar los beneficios a la salud y proveerán datos esenciales para el etiquetado nutricional y la promoción del producto como saludable y funcional.

Determinación de la humedad

Para la determinación de humedad según el método AACC (2000) método 934.01, se colocaron las cápsulas a peso constante en la estufa marca Felisa, le fueron añadidos 3 g de la muestra de *R. fruticosus* y *P. guajava* durante 4 h a 105°C en la estufa marca Felisa, las muestras se manejaron por triplicado, pasado este tiempo se transfirieron las cápsulas al desecador y después de atemperar por 30 minutos se pesó.

$$\% \text{ Humedad} = \left(\frac{P_m - P_s}{M} \right) \times 100$$

Ecuación 1: Porcentaje de humedad de la muestra.

P_m es el peso de la cápsula y la muestra húmeda en gramos, P_s es el peso de la cápsula y muestra seca en gramos y M es el peso de la muestra húmeda en gramos.

Determinación de nitrógeno proteico

La determinación de nitrógeno proteico se realizó mediante el sistema Kjeldahl VelpScientificasrl. Manual de Operación UDK 152 adaptado al Método Oficial AOAC, siendo este una forma indirecta de determinar la cantidad de proteínas. A la muestra de *R. fruticosus* y *P. guajava* con peso de 0.7 g respectivamente se sometió a digestión en un tubo digestor con 7 g de K₂SO₄, 0.8 g de CuSO₄·5H₂O, 10 mL de H₂SO₄ al 98 %, 1000 mL de NaOH al 20 %, posteriormente se realizó la destilación con 50 mL de H₂O desionizada, 50 mL de NaOH 30-35%, 25 mL de H₃BO₃ al 4 % y por último se tituló con HCL 0.20N, se utilizó la siguiente ecuación (2) y el resultado se multiplicó por 6.25.

$$\% N = \frac{(S - B) \times N \times 0.01401}{P} \times 100$$

Ecuación 2: Porcentaje de nitrógeno de la muestra

S son los mL de HCL resultantes de la titulación, B es el blanco, N es la normalidad del HCL y P es el peso de la muestra.

Determinación de lípidos

El extracto etéreo se realizó según las Normas Sanitarias de Alimentos. Tomo 1. O.M.S. 1967 para determinar lípidos, aceites, grasas o grasa cruda, 2 g de la muestra de *R. fruticosus* y *P. guajava* fueron colocados en papel filtro y transferidos al equipo de extracción Soxhlet Tauro, los matraces globo se colocaron 1 h a 105°C en la estufa Felisa, una vez atemperados y pesados se agregó éter a la mitad del matraz y se hizo circular el agua del equipo para iniciar el calentamiento con una velocidad de goteo controlada a 2 gotas por segundo, la extracción se hizo por 6 h. El éter fue recuperado en el rotavapor los matraces con la muestra fueron colocados en la estufa 1 h a 105°C, atemperados y pesados. Los cálculos se realizaron con la ecuación (3).

$$\% \text{ Extracto Etéreo} = \left(\frac{Pg - Ps}{M} \right) \times 100$$

Ecuación 3: Porcentaje de extracto etéreo de la muestra

Pg es el peso en gramos del matraz con grasa, Ps es el peso en gramos del matraz sin grasa y M es el peso de la muestra.

Para la determinación de cenizas según la Norma Técnica General de Métodos Físicos y Químicos para Análisis de Alimentos. Tomo 1. Se colocaron por triplicado los crisoles a peso constante, se le añadió 3 g de la muestra de *R. fruticosus* y *P. guajava* y se carbonizaron en parrilla y las muestras fueron colocadas en la mufla marca Felisa por 3 h a 550°C. Los cálculos se realizaron con la siguiente ecuación (4).

$$\% \text{ Cenizas} = \left(\frac{Pcc - Psc}{M} \right) \times 100$$

Ecuación 4: Porcentaje de cenizas de la muestra

Pcc es el peso del crisol con cenizas, Psc es el peso del crisol a peso constante y M es el peso de la muestra.

Determinación de carbohidratos

La determinación de carbohidratos se realizó a partir del porcentaje remanente de la cuantificación de los principales componentes del alimento con la siguiente fórmula.

$$\% \text{ Carbohidratos} = 100 - \text{Humedad} - \text{Proteínas} - \text{Lípidos} - \text{Cenizas}$$

Ecuación 5: Cálculo de porcentaje remanente para determinar carbohidratos de la muestra

Etapa V. Nanoencapsulación de extracto fenólico de hojas de *Psidium guajava*

Se seleccionó para la nanoencapsulación maltodextrina como material de pared. Se preparó solución acuosa de maltodextrina/extracto de *P. guajava* proporciones 2:1,3:1, 4:1 p/p., emulsificándose con el ultrasonificador VCX 500 de acuerdo con los parámetros reportados por el grupo de trabajo del Laboratorio de Investigación y Desarrollo de Alimentos de la UMSNH, ajustando los sólidos del extracto a 0.6%, cuantificación que concuerdan con las planteadas por Tranquilino (2021). Para la preparación

de la emulsión se tomó 10 g de extracto liofilizado de *P. guajava* y se diluyó en 100 mL de agua destilada, se sonicó y decantó.

Posteriormente se filtró con filtro Whatman en múltiples ocasiones hasta obtener un producto que pasara por papel filtro Whatman No. 5 ($<2.5\ \mu\text{m}$), determinándole humedad. Posteriormente fue medida la viscosidad en Viscosímetro Brookfield DV3T Rheometer para que estuviera dentro de los parámetros necesarios ($\sim 10\text{cps}$) para que la muestra pudiera ser aspergeada por el equipo Nano Spray Dryer B-90 (Büchi, Suiza). Los parámetros utilizados en el Nano Spray Dryer fueron: malla de $7\ \mu\text{m}$, temperatura de entrada a $105\ ^\circ\text{C}$, flujo de gas de $110 \pm 1\ \text{L/min}$, vacío de $33 \pm 1\ \text{mbar}$ y pulverización al 70%.

La morfología y el tamaño de las nanocápsulas obtenidas se analizaron mediante Microscopía Electrónica de Barrido (MEB) utilizando un microscopio JSM-7600F SEG-SEM (JEOL Ltd., Reino Unido). Antes del análisis, las muestras se secaron completamente y se fijaron sobre portaobjetos de aluminio utilizando una cinta de carbono conductora. Para mejorar la conductividad y evitar la acumulación de carga, se realizó una metalización de las muestras con una fina capa de oro-paladio mediante un recubridor de sputtering Q150T ES (Quorum Technologies, Reino Unido) en condiciones de vacío (aproximadamente $10^{-2}\ \text{mbar}$) durante 120 segundos. Las imágenes se obtuvieron a un voltaje de aceleración de 5 kV, con una distancia de trabajo de 8 mm, empleando el modo de electrones secundarios (SEI) para capturar la topografía de las partículas. Se realizaron observaciones a diferentes aumentos para evaluar la morfología, tamaño de partícula y posible agregación de las nanocápsulas (Goldstein et al., 2018).

Etapas VI. Elaboración de la bebida potencialmente funcional

La bebida final se preparó dispersando en agua 2.5 % de los sólidos de *R. fruticosus* liofilizado e incorporando las nanocápsulas conteniendo el extracto fenólico de hojas de *P. guajava* (0.1 g/100 mL). Se adicionó el edulcorante fruto del monje (monk fruit), ácido cítrico 0.02 %, y benzoato de sodio al 0.02% Fig.15. Los sólidos solubles expresados en °Brix se determinaron con un refractómetro. El color del jugo se midió con un colorímetro, registrando los parámetros: L* Luminosidad (escala de 0 a 100), donde describe el 0 como color negro y 100 al color blanco, a* coordenadas rojo/verde (+a indica rojo, -a indica verde), b* coordenadas amarillo/azul (+b indica amarillo, -b indica azul) C* Cromaticidad (describe la pureza del color observado): h°. Ángulo de matiz, las mezclas sometidas a la prueba tuvieron un contenido de 2.5, 3, 5 % de sólidos de *R. fruticosus* liofilizado con 300 mL de agua destilada, se mezclaron en parilla con agitación y pasando la mezcla por un colador para retirar las semillas y las cáscaras. Fue determinado el pH muestra de la bebida con el medidor de pH marca OHAUS.



Figura 15. Formulación de la bebida de zarzamora con nanocápsulas de guayaba, adicionada con edulcorante Monk fruit, ácido cítrico y benzoato de sodio.

Etapas VII. Análisis sensorial de la bebida potencialmente funcional

Se realizó una prueba de aceptabilidad mediante una escala hedónica donde se reclutaron a 64 jueces no entrenados, con edades comprendidas entre los 21 y 43 años, el sitio de la prueba fue la Facultad de Químico Farmacobiología de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo en Morelia, Michoacán. La muestra de la bebida funcional de zarzamora con nanocápsulas de compuestos fenólicos de extracto acuoso de *P. guajava* fue de 25 mL, se ofreció para la degustación a 8°C en vasos de plástico transparentes Fig.16.



Figura 16. Jueces sensoriales en prueba de aceptación de la bebida funcional.

A los panelistas se les pidió que contestaran el formulario de la Fig.17, donde se realizan preguntas demográficas y conductuales respecto a sus hábitos de consumo, prueba hedónica para una sola muestra y preguntas con carácter de estudio de mercado para la bebida potencialmente funcional.

Análisis sensorial de una bebida funcional.

¡Gracias por tu participación!

Estamos llevando a cabo el análisis sensorial de una bebida funcional elaborada con zarzamora y compuestos fenólicos. Este estudio forma parte de una investigación académica de la **Facultad de Químico Farmacobiología de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo**. Tu participación nos ayudará a evaluar la aceptación sensorial de este producto y a identificar áreas de mejora.

Datos demográficos: edad y sexo
Consumes bebidas saludables: nunca, ocasionalmente (1-2 veces al mes), regularmente (1-2 veces por semana), frecuentemente (más de 3 veces por semana).
Tome un sorbo de agua. Posteriormente pruebe la muestra y evalúe cada atributo utilizando la siguiente escala:

1. Me disgusta extremadamente
2. Me disgusta mucho
3. Me disgusta moderadamente
4. Me disgusta ligeramente
5. Ni gusta, ni disgusta
6. Me gusta ligeramente
7. Me gusta moderadamente
8. Me gusta mucho
9. Me gusta extremadamente

Sabor: ¿Qué tan agradable encuentra el sabor de la bebida?
Aroma: ¿Qué tan agradable percibe el aroma de la bebida?
Color: ¿Qué tan agradable encuentra al color de la bebida?
Textura en boca: ¿Qué tan agradable es la sensación en boca de la bebida?
Aceptación general: ¿Qué tan satisfecho/a está con la bebida en general?

Preguntas abiertas

¿Qué le gustó más de la bebida?
¿Qué aspectos mejorarías en la bebida?
¿Compraría esta bebida si estuviera disponible en el mercado?
En una escala del 1-5, ¿qué tan probable sería que recomendaras esta bebida a un familiar?
(1 nada probable - 5 extremadamente probable)

Figura 17. Formulario aplicado para el análisis sensorial de la bebida potencialmente funcional.

Modificado de Liria, 2007.

Análisis estadístico

Para la determinación de fenoles y flavonoides, así como para la evaluación de la actividad antioxidante, los análisis fueron realizados por triplicado. Los resultados experimentales fueron analizados mediante estadística descriptiva y expresados como media $\pm$ desviación estándar. Se verificó que los datos cumplieran con los supuestos de homogeneidad de varianza y aleatoriedad, y se aplicó la prueba de normalidad de Lilliefors ($p \leq 0.05$). Posteriormente, se realizó la prueba t de Student (t-test) ($p \leq 0.05$) para evaluar diferencias significativas entre los grupos.

Para analizar la relación entre los tratamientos y el contenido de fenoles, flavonoides y capacidad antioxidante, se utilizó la prueba de correlación de Spearman ($p \leq 0.05$). El procesamiento estadístico de los datos se llevó a cabo con los softwares PAST 4 (versión 4.7.0.0, 2023), JMP Statistical Discovery from SAS (versión 11.0.0, 32 bits) y GraphPad Prism (versión 8.0.1 [244], 2018).

En cuanto al análisis estadístico de la evaluación sensorial, se realizó un análisis de componentes principales (ACP) utilizando el software estadístico XLSTAT 2018.5 de Addinsoft.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tratamiento de muestras: Liofilización

La Fig.18 A) muestra polvo o partículas finamente deshidratadas, con un tamaño heterogéneo, coloración entre tonos rojizos y púrpuras oscuros, su textura es característica de productos liofilizados los cuáles retienen su estructura celular tras los procesos de sublimación, esta coloración indica una buena retención de los pigmentos naturales y el color uniforme también es señal de que el producto no sufrió oxidación o degradación excesiva de compuestos durante el proceso.

En la Fig.18 B) se muestra el liofilizado de extracto fenólico de hojas de guayaba realizado en el equipo LABCONCO, Kansas City, MO, EE. UU en el Centro de Innovación y Desarrollo Agroalimentario C.V-CIDAM, obteniendo un producto final en forma de polvo fino, homogéneo, con una tonalidad amarillo a marrón claro, sin presencia de grumos visibles.



Figura 18. Liofilizados de *R. fruticosus* (A) y *P. guajava* (B) donde se observa su estructura porosa y color característico, resultado del proceso de liofilización que permitió la conservación de sus compuestos bioactivos y la reducción del contenido de agua.

La Tabla 8 muestra el rendimiento expresado en porcentaje del procesamiento de la muestra de *R. fruticosus* Cv Erandy por cada 2500 g de fruto procesado en liofilizador LABCONCO, Kansas City, MO, EE. UU, así como el rendimiento en porcentaje del procesamiento de la muestra de *P. guajava* Cv Hidrozac por cada 2000 mL de extracto acuoso y ultrasonificado de hojas de guayabo procesado en liofilizador LABCONCO, Kansas City, MO, EE. UU.

Tabla 8. Rendimiento de las muestras liofilizadas de *Rubus fruticosus* Cv Erandy y *Psidium guajava* Cv Erandy

Muestra procesada	Método de extracción de compuestos/solvente	Método de conservación empleado	Cantidad de extracto procesado	Cantidad fruta fresca procesada	% Rendimiento en sólidos
<i>Rubus fruticosus</i> Cv Erandy	NA	Liofilización	NA	2500 g	12.60
<i>Psidium guajava</i> Cv Hidrozac	Ultrasonido/Agua	Liofilización	2000 mL	NA	16.34

NA=No aplica para la muestra

Determinación de fenoles totales, flavonoides

En la Tabla 9 se muestran los resultados de la determinación de fenoles totales y flavonoides totales para *P. guajava* y *R. fruticosus* liofilizados, la capacidad para inhibir el 50 % de los radicales ABTS•+ y DPPH•, posteriormente análisis a las nanocápsulas de *P. guajava* y finalmente a la bebida potencialmente funcional a base de zarzamora liofilizada y agregando las nanocápsulas de extracto de hojas de guayabo.

Tabla 9 Contenido de fenoles totales, flavonoides y capacidad antioxidante de *P. guajava* y *R. fruticosus*.

Extracto liofilizado	Fenoles totales (mgEAG/g)	Flavonoides totales (mgEQ/g)	ABTS•+ IC ₅₀ ug/mL	DPPH• IC ₅₀ ug/mL
<i>Psidium guajava</i> L.	138.91 ± 12.05	87.09 ± 4.13	3.56 ± 0.07	273.12 ± 6.12
<i>Rubus fruticosus</i>	328.34 ± 24.64	65.20 ± 9.37	1.03 ± 0.35	139.76 ± 5.98
Nanocápsulas	Fenoles totales (mgEAG/g)	Flavonoides totales (mgEQ/g)	ABTS•+ IC ₅₀ ug/mL	DPPH IC ₅₀ ug/mL
<i>Psidium guajava</i> L.	67.90 ± 5.34	54.86 ± 12.85	2.60 ± 0.32	786.35 ± 15.34
Bebida funcional	Fenoles totales (mgEAG/g)	Flavonoides totales (mgEQ/g)	ABTS•+ IC ₅₀ ug/mL	DPPH IC ₅₀ ug/mL
Liofilizado zarzamora + nanocápsulas	58.28 ± 23.08	21.21 ± 6.16	4.51 ± 1.23	420.56 ± 8.60

Los valores promedio ± SD expresados en miligramos de equivalentes de ácido gálico por gramo de extracto (mgEAG/g) para fenoles totales y miligramos de equivalentes de quercetina por gramo de extracto (mgEQ/g) para flavonoides.

En cuanto a los resultados de *P. guajava* para fenoles totales, estos son inferiores a los reportados por Camarena *et al.*, (2018), quienes obtuvieron un extracto de la misma variedad comercial (*P. guajava* Cv Hidrozac) mediante extracción acuosa, reportando valores de 256.76 ± 9.62 mg EAG/g y 187.01 ± 9.24 mg EAG/g para cosechas realizadas en 2016 y 2015, respectivamente. Esta discrepancia podría atribuirse a diferencias en los procesos de extracción y liofilización aplicados en este estudio, así como a las condiciones de cultivo y recolección. Por otro lado, Seo *et al.*, (2014) reportaron valores de fenoles totales de 140 mg EAG/g en hojas de guayaba mediante extracción en agua hirviendo durante 4 horas, siendo comparables a los obtenidos en este estudio (138.91 ± 12.05 mg EAG/g), aunque con diferentes variedades comerciales de *P. guajava*. Adicionalmente, Rita Majhi *et al.*, (2023) en Nepal, mediante extracción acuosa a 42°C por 4 horas con una proporción 1:10 (peso/volumen) similar a la utilizada en este trabajo, obtuvieron valores significativamente mayores de 248.9 ± 25.3 mg EAG/g, lo que sugiere que las condiciones de extracción y los factores geográficos podrían favorecer una mayor recuperación de fenoles totales en su estudio.

Para los resultados de los flavonoides totales, el contenido observado en este trabajo (87.09 ± 4.13 mg EQ/g) supera el rango reportado por Ferreira *et al.*, (2022) quienes evaluaron un extracto obtenido mediante secado por aspersión de un subproducto de Tucuma (*Astrocaryum vulgare* Mart.). Asimismo, los datos de capacidad antioxidante medida por ABTS son consistentes con los reportados por Camarena *et al.*, (2018), quienes informaron valores de 3.34 ± 0.02 y 4.10 ± 0.03 mM TEAC/mg, lo que refuerza el uso de las hojas de guayaba como una fuente antioxidante relevante.

Los valores obtenidos para evaluar la capacidad antioxidante mediante la inhibición del 50% del radical ABTS•+ (IC_{50}) muestran resultados prometedores en comparación con estudios previos. En este sentido, Dudonné *et al.*, (2009) quienes evaluaron la actividad antioxidante de 30 especies, reportaron un valor de 1.38 ± 0.46 $\mu\text{g/mL}$ para la capacidad antioxidante medida mediante una extracción acuosa de hojas de *Carica papaya*. Este valor es significativamente inferior al obtenido en nuestro estudio, donde se alcanzó un IC_{50} de 3.56 ± 0.07 $\mu\text{g/mL}$. En el caso de la inhibición del radical DPPH•, los valores reportados por Dudonné *et al.* fueron de 1.22 ± 1.02 $\mu\text{g/mL}$, mientras que en nuestro trabajo se obtuvieron valores mucho más altos, de 273.12 ± 6.12 $\mu\text{g/mL}$.

La discrepancia en los resultados podría atribuirse a diferencias en las metodologías de extracción, las condiciones experimentales o las características intrínsecas de las muestras analizadas. Mientras que el estudio de Dudonné *et al.* utilizó una extracción acuosa, nuestro enfoque incluyó extracción acuosa y uso de ultrasonido para optimización del contenido fenólico. Estas diferencias podrían haber influido en la disponibilidad y concentración de compuestos fenólicos responsables de la actividad antioxidante.

Los valores de fenoles totales y flavonoides observados en este estudio están en línea con investigaciones previas que emplean extracción acuosa, aunque las variaciones observadas refuerzan la importancia de los parámetros de extracción, las condiciones de cultivo y la diversidad genética en la obtención de compuestos bioactivos. Además, la capacidad antioxidante obtenida respalda el potencial funcional de los extractos de *P. guajava* en aplicaciones alimentarias y terapéuticas.

Los resultados obtenidos en las pruebas post hoc, Fig.19 para el contenido de fenoles totales permitieron conocer diferencias significativas en las etapas del procesamiento, el liofilizado mostró los valores más altos en términos de fenoles concordando con lo reportado por Cruzalegui *et al.*, (2021) quienes determinaron que había mayor contenido de fenoles en la pulpa de café liofilizada con respecto a la pulpa de café secado por estufa, considerando que la pulpa de café es una materia seca de alto contenido de polifenoles.

Este contenido de fenoles fue significativamente diferente en el liofilizado, al nanoencapsulado y a la bebida, encontrando una reducción significativa en los valores de fenoles totales para las nanocápsulas en comparación con el liofilizado. Este comportamiento es consistente con la literatura, donde la encapsulación puede implicar pérdidas parciales de compuestos bioactivos debido a la temperatura y presión aplicadas durante el proceso de aspersión.

La nanoencapsulación con maltodextrina permitió preservar una proporción relevante de los compuestos antioxidantes, lo cual es importante para su posterior liberación en el sistema digestivo. La bebida potencialmente funcional mostró los valores más bajos en todos los parámetros observados. Esto puede atribuirse a la dilución de los compuestos encapsulados en la matriz líquida, así como a posibles interacciones con otros componentes de la formulación, estas pruebas indicaron diferencias significativas entre la bebida funcional y las otras dos etapas previas, lo que resalta el impacto del procesamiento en la actividad bioactiva.

El contenido de flavonoides mostrado en la Fig.20 muestra una disminución progresiva de los mismos a medida que avanzan las etapas del procesamiento, confirmando que el procesamiento, como la encapsulación y la formulación de la bebida, afecta la cantidad de compuestos bioactivos retenidos y, posiblemente, su actividad funcional. El extracto liofilizado muestra la mayor cantidad de flavonoides coincidiendo con reportes previos por Cruzalegui *et al.*, (2021), debido a que este proceso es eficaz para conservar los compuestos bioactivos debido a las bajas temperaturas. La reducción en el contenido de la bebida podría estar relacionado con la dilución de los compuestos bioactivos en la matriz líquida, interacciones con otros componente de la bebida potencialmente funcional que podrían afectar la estabilidad de los compuestos encapsulados.

Estos resultados destacan cómo el procesamiento impacta significativamente la retención de flavonoides. Aunque el liofilizado preserva la mayor cantidad, las nanocápsulas ofrecen una solución intermedia para estabilizar estos compuestos. Sin embargo, la formulación de la bebida potencialmente funcional requiere ajustes adicionales para minimizar pérdidas y maximizar la funcionalidad del producto final.

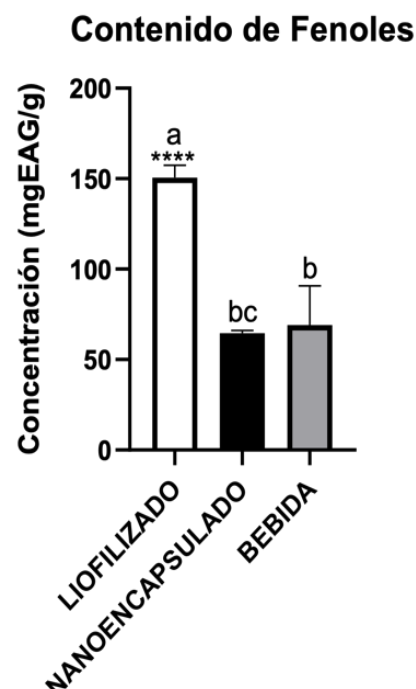


Figura 19. Contenido de fenoles de *P. guajava* liofilizado, nanoencapsulado de extracto *P. guajava* y bebida potencialmente funcional.

Las letras distintas encima de las columnas representan diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) (**** $p < 0.01$). ANOVA, Tuckey posthoc test.

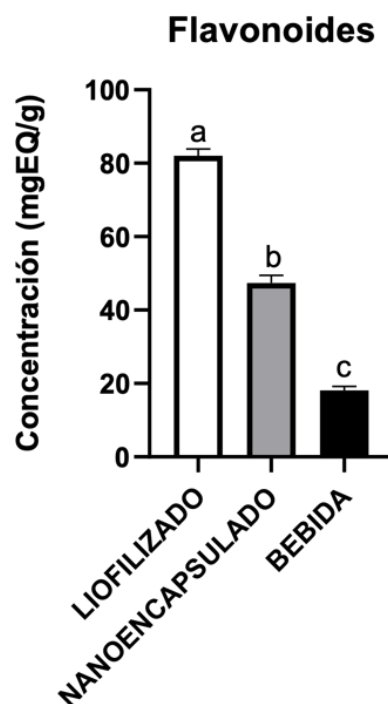


Figura 20. Contenido de flavonoides totales de *P. guajava* liofilizado, nanoencapsulado de extracto *P. guajava* y bebida potencialmente funcional.

Las letras distintas encima de las columnas representan diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) (**** $p < 0.01$). ANOVA, Tuckey posthoc test.

Los resultados obtenidos Fig.21 evidencian una notable presencia de fenoles y flavonoides en la zarzamora (*R. fruticosus*), destacando una diferencia significativa en cuánto a la cantidad de fenoles totales, lo cual respalda el interés creciente en esta fruta como fuente natural de compuestos bioactivos con propiedades funcionales y antioxidantes.

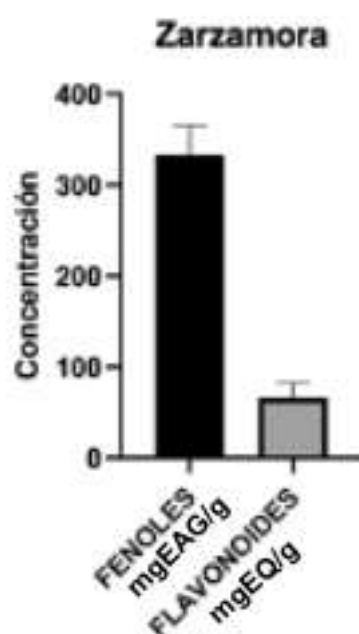


Figura 21. Contenido de fenoles (mgEAG/g) y flavonoides totales (mgEQ/g) en *R. fruticosus*.

Evaluación de la capacidad antioxidante

La Fig.22 muestra diferencias significativas para las tres muestras (lío-filizado *P. guajava*, nano-encapsulado de extracto fenólico *P. guajava* y bebida potencialmente funcional), reflejando el impacto de las etapas de procesamiento sobre la actividad antioxidante medida mediante el ensayo DPPH. El lío-filizado de *P. guajava* presentó el valor más bajo de IC_{50} , lo que indica una mayor eficiencia en la neutralización de radicales libres. Esto es consistente con la capacidad del lío-filizado para preservar compuestos bioactivos sensibles, como los polifenoles y flavonoides, responsables de la actividad antioxidante. El valor de IC_{50} para las nanocápsulas fue significativamente más alto que el del lío-filizado, indicando una menor capacidad antioxidante. Podría atribuirse a la pérdida parcial de compuestos bioactivos durante el secado por aspersión, debido a las condiciones de alta temperatura y presión o a la encapsulación con maltodextrina, que pudiera ralentizar la liberación inmediata de antioxidantes, ya que estos compuestos quedan protegidos en la matriz del material de pared. Sin embargo, el encapsulamiento tiene ventajas, como la protección de los antioxidantes frente a condiciones adversas durante el almacenamiento y su liberación controlada en sistemas alimentarios o biológicos.

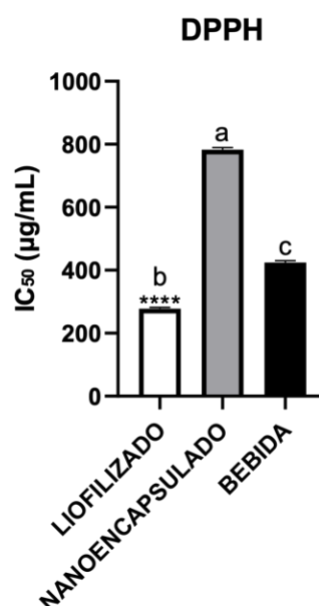


Figura 22. Capacidad antioxidante de *P. guajava* liofilizado, nanoencapsulado y bebida potencialmente funcional mediante el ensayo DPPH.

Las letras distintas encima de las columnas representan diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) (**** $p < 0.01$). ANOVA, Tuckey posthoc test. IC₅₀, concentración inhibitoria media.

La bebida potencialmente funcional presentó el valor de IC₅₀ más alto entre las muestras analizadas, lo que indica una menor actividad antioxidante. Influido posiblemente por la dilución de los compuestos bioactivos encapsulados en la matriz líquida de la bebida, posibles interacciones químicas entre los antioxidantes encapsulados y otros componentes de la bebida. La exposición de los compuestos bioactivos a condiciones menos favorables durante la formulación, como el pH y el almacenamiento. El ensayo DPPH destaca cómo las etapas de procesamiento impactan significativamente la actividad antioxidante de *P. guajava*. Aunque el liofilizado conserva la mayor capacidad antioxidante, las nanocápsulas ofrecen un enfoque viable para proteger y estabilizar compuestos antioxidantes durante el procesamiento. La formulación de la bebida potencialmente funcional requiere ajustes adicionales para mitigar las pérdidas y optimizar la liberación de antioxidantes en la matriz líquida.

El análisis de la capacidad antioxidante mediante el ensayo ABTS se representa en la Fig.23, donde pueden observarse diferencias estadísticamente significativas entre el extracto liofilizado de guayaba, el extracto nanoencapsulado y la bebida funcional, lo cual refleja el impacto del procesamiento y la combinación de ingredientes sobre la eficacia antioxidante. El extracto liofilizado de *P. guajava* L. presentó una capacidad antioxidante significativamente superior en comparación con el extracto nanoencapsulado. Esta diferencia puede atribuirse a la exposición directa de los compuestos bioactivos en el liofilizado, mientras que en el nanoencapsulado, los compuestos fenólicos se encuentran parcialmente protegidos por la matriz encapsulante, limitando su interacción inmediata con los radicales libres. Sin embargo, esta encapsulación tiene como ventaja la estabilidad y liberación controlada de los compuestos en condiciones biológicas específicas.

Por otro lado, la bebida funcional, que combina el extracto liofilizado de zarzamora con las nanocápsulas de guayaba, mostró una capacidad antioxidante significativamente mayor en comparación con las nanocápsulas por sí solas. Este incremento puede explicarse por un efecto sinérgico entre los compuestos fenólicos de ambas fuentes, particularmente las antocianinas de la zarzamora y los flavonoides de la guayaba, los cuales potencian su actividad antioxidante conjunta.

Estas diferencias significativas destacan la importancia de las técnicas de procesamiento y formulación en el desarrollo de productos funcionales. Además, refuerzan la idea de que la combinación de ingredientes bioactivos y tecnologías avanzadas como la nanotecnología puede optimizar el perfil antioxidante, lo que resulta prometedor para su aplicación en la prevención de enfermedades relacionadas con el estrés oxidativo.

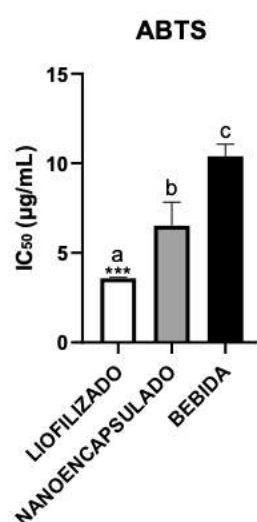


Figura 23. Capacidad antioxidante de *P. guajava* liofilizado, nanoencapsulado y bebida potencialmente funcional mediante ensayo ABTS.

Las letras distintas encima de las columnas representan diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) (**** $p < 0.01$). ANOVA, Tuckey posthoc test. IC₅₀, concentración inhibitoria media.

Análisis bromatológico *R. fruticosus* y *P. guajava*

Se realizó el análisis bromatológico de *R. fruticosus* y *P. guajava* según lo descrito en la metodología, la cuantificación de humedad, cenizas, proteínas y extracto etéreo se realizó siguiendo los métodos establecidos por la AACC (2000). Por otro lado, el contenido de hidratos de carbono se infiere por diferencia, restando la suma de los valores de proteína, extracto etéreo y cenizas al 100%. La Tabla 10 muestra los porcentajes del contenido nutrimental por cada 100 g de las muestras liofilizadas, mismos que serán utilizados en el desarrollo del etiquetado nutrimental de la bebida funcional.

Tabla 10. Análisis bromatológico base seca (b.s) de *R. fruticosus* y *P. guajava*, sometidas a extracción de compuestos y liofilización.

Componente	<i>Rubus fruticosus</i> (%)	<i>Psidium guajava</i> (%)
Humedad (%)	14.12 ± 0.85	8.89 ± 0.65
Proteínas (%)	10.99 ± 0.45	8.08 ± 0.30
Lípidos (%)	2.49 ± 0.12	7.87 ± 0.25
Carbohidratos (%)	47.77 ± 1.10	56.40 ± 1.20
Fibra dietética (%)	33.36 ± 1.45	20.00 ± 0.95
Cenizas (%)	5.39 ± 0.21	7.65 ± 0.28

Análisis por triplicado, presentando la media ± la desviación estándar

Los valores obtenidos en el presente estudio para *P. guajava* muestran tanto similitudes como diferencias al compararse con los datos reportados por Kumar *et al.*, (2021). El contenido de humedad encontrado (8.89%) es prácticamente idéntico al registrado por Kumar *et al.* (8.67%) para la misma especie, mediante el mismo método de análisis, lo que valida la consistencia de las técnicas empleadas en ambos estudios. Sin embargo, se observaron discrepancias en otros parámetros, como el contenido de carbohidratos totales, donde nuestro resultado (56.40±1.20) es inferior al reportado por Kumar *et al.* (60.85%). Esta diferencia podría deberse a variaciones en el estado de madurez de las hojas utilizadas, ya que factores como la edad de la planta y las condiciones ambientales del cultivo, incluida la altitud, pueden influir en la acumulación de carbohidratos. Adicionalmente, los valores obtenidos en este estudio para proteínas, fibra y grasas también superan los reportados por Kumar *et al.*, lo que podría estar relacionado con diferencias en las características genéticas del espécimen vegetal o en las prácticas agrícolas empleadas. Estas discrepancias resaltan la importancia de considerar factores ambientales y de manejo agrícola al evaluar la composición bromatológica. En este contexto, los hallazgos del presente estudio fortalecen el potencial de *P. guajava* como un ingrediente clave en el desarrollo de bebidas funcionales, aportando un perfil nutricional mejorado que contribuye a las propiedades funcionales y tecnológicas del producto final.

Nanoencapsulación de compuestos fenólicos de *P. guajava*

Se realizaron tres tratamientos para la encapsulación, para todos fue utilizado el mismo material de pared (maltodextrina) a diferentes concentraciones, en la Tabla 11 se describen los sólidos totales de la emulsión a procesar en el Nano Spray Dryer B-90, los datos muestran un mayor rendimiento de nanocápsulas cuánto mayor es el porcentaje de material de pared.

Tabla 11. Parámetros de nanoencapsulación del extracto de *P. guajava*

No. T	MP/E	T	Asp	V	% S.E.G	% ST	TF	R
1	2:1	110°C	70%	234 ml	0.80%	2.40%	49.8 ml/h	1.97 g
2	3:1	110°C	70%	128 ml	0.80%	3.20%	42 ml/h	3.1231g
3	4:1	110°C	70%	146 ml	0.80%	3.99%	51 ml/h	4.6094g

T= tratamiento, MP/E=formulación material de pared y extracto, T= temperatura, Asp=aspersión, V=volumen, %SEG= %sólidos del extracto de guayaba, % ST=%sólidos totales (extracto+material de pared), TF=tiempo de flujo, R=rendimiento.

En la Fig.24 se muestran las nanocápsulas obtenidas, con una apariencia en forma de polvo fino de coloración beige claro homogéneo, con tonos ligeramente amarillos, características propias de los pigmentos vegetales. La apariencia homogénea y la ausencia de agregados visibles sugieren que el proceso de secado permitió obtener un material bien distribuido, lo que es consistente con lo reportado en estudios sobre encapsulación de compuestos bioactivos (Díaz et al.,2023).



Figura 24. Obtención de nanocapsulas por Nano Spray Dryer B90.

Microscopía electrónica de barrido

La Fig.25 presenta las micrografías obtenidas mediante microscopía electrónica de barrido (MEB) a aumentos de 1000x, 2500x, 5000x y 10 000x, correspondientes a los tratamientos evaluados: **T1** (nanocápsulas de *P. guajava* con relación material de pared/extracto 2:1), **T2** (relación 3:1) y **T3**

(relación 4:1). Las diferencias observadas entre las nanocápsulas de cada tratamiento pueden estar influenciadas por diversos factores, incluyendo las condiciones térmicas elevadas ($>80\text{ }^{\circ}\text{C}$), la alta presión aplicada durante el proceso de síntesis, y la preparación necesaria para su lectura, como el recubrimiento con cobre para mejorar la conductividad eléctrica de las muestras. Estos parámetros pueden afectar la morfología, la distribución del tamaño y las propiedades estructurales de las nanocápsulas, las cuales son cruciales para su funcionalidad en aplicaciones finales.

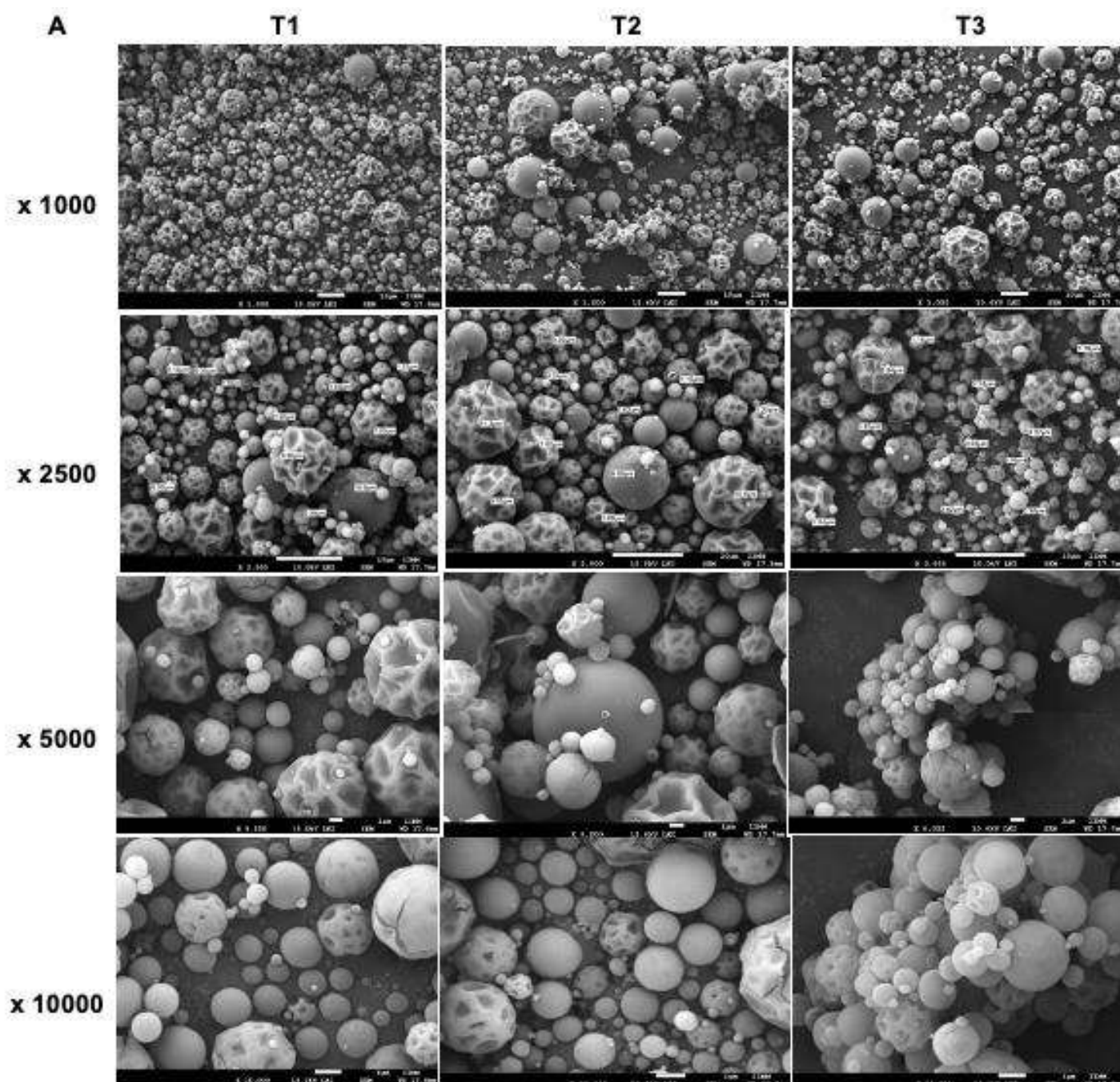


Figura 25. Microscopía electrónica de barrido.

T₁=tratamiento 1 nanocápsulas de *P. guajava*/maltodextrina proporción material de pared/extracto 2:1, T₂= tratamiento 2 nanocápsulas de *P. guajava*/maltodextrina proporción material de pared/extracto 3:1, T₃= tratamiento 3 nanocápsulas de *P. guajava*/maltodextrina proporción material de pared/extracto 4:1, A=ampliación del lente.

El análisis de las micrografías obtenidas mediante microscopía electrónica de barrido (SEM) para los tratamientos T₁, T₂ y T₃ revela diferencias significativas en la morfología y distribución de las

nanocápsulas. En T₁, se observan partículas predominantemente esféricas con superficies lisas y una distribución homogénea en tamaño, lo que sugiere un proceso de síntesis altamente controlado y eficiente. Por el contrario, T₂ presenta una mayor heterogeneidad en el tamaño de las partículas y ligeras irregularidades superficiales, indicando posibles variaciones en las condiciones de síntesis. T₃ exhibe partículas con formas irregulares, superficies rugosas y una tendencia marcada a la aglomeración, lo que podría comprometer la funcionalidad de las nanocápsulas en aplicaciones posteriores.

Estos hallazgos son consistentes con estudios previos en matrices alimentarias que han utilizado agentes encapsulantes como maltodextrina y alginato. Por ejemplo, en la encapsulación de *Lactobacillus gasseri* en perlas de alginato de sodio, se ha observado que la morfología esférica y la superficie lisa de las cápsulas favorecen la viabilidad y estabilidad del probiótico durante el almacenamiento y su paso por el tracto gastrointestinal según lo publicado por Cervantes-Mauricio (2010). Asimismo, en la microencapsulación de compuestos bioactivos utilizando maltodextrina, se ha reportado que una distribución homogénea del tamaño de partícula y superficies lisas son indicativos de una encapsulación eficiente, lo cual es crucial para la protección y liberación controlada de los compuestos activos Parra-Huertas (2010). Por lo tanto, la optimización de las condiciones de síntesis para lograr nanocápsulas con características morfológicas adecuadas es esencial para asegurar su funcionalidad en aplicaciones alimentarias.

Análisis cromatográfico GC-MS

Dado que las técnicas espectrofotométricas para la determinación de fenoles totales y flavonoides permiten una caracterización limitada de las muestras, estas se analizaron por cromatografía. Las Figs. 26,27,28,29,30 muestran las moléculas identificadas para cada una de las muestras procesadas. Las Tablas 12, 13, 14, 15, 16 detallan los compuestos, el porcentaje de retención y el % del área que ocupa la presencia del compuesto para los tratamientos probados.

Se determinaron (Fig.26, Tabla 12) 16 compuestos mayoritarios en el T1 liofilizado de *P. guajava*, ocupando el porcentaje de área del 59.69 % los cuales fueron agrupados en la familia de los azúcares, del 31.57% para los ácidos orgánicos, 1.45 % fenoles, 1.33 % aminas y un 1.15 % alcoholes.

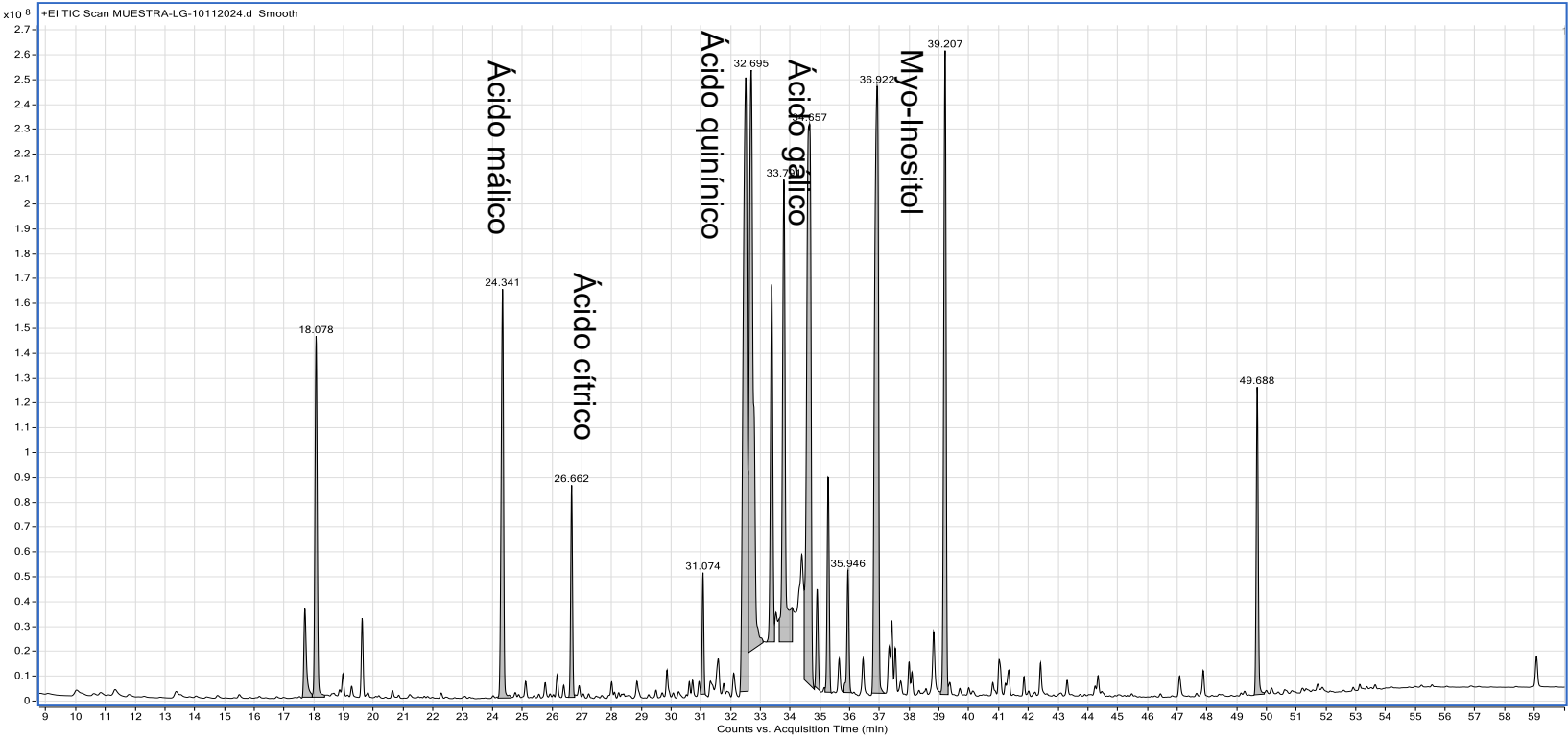


Figura 26. Cromatografía GC-MS mostrando compuestos mayoritarios del liofilizado de extracto de hojas de *P. guajava*.

Tabla 12. Compuestos mayoritarios identificados por GC-MS del extracto de *P. guajava*.

No.	Componente	T/R	CAS/NIST	Índice de retención No-Polar	Área	% Área
1	4-Pyridinamine, N,N-dimethyl-AH3:AH18	17.70	CAS#: 1122-58-3 NIST#: 231466	936	219560488.8	1.33
2	Silanol, trimethyl-, phosphate (3:1)	18.07	CAS#: 10497-05-9 NIST#: 334839	1285	788489838.7	4.79
3	Malic acid, 3TMS derivative	24.34	CAS#: 38166-11-9 NIST#: 332853	1390	931666608.9	5.66
4	Glyceric acid, 3TMS derivative	26.66	CAS#: 38191-87-6 NIST#: 414219	1199	363882157.4	2.21
5	Glycerol, 3TMS derivative	31.07	CAS#: 6787-10-6 NIST#: 414229	1108	190134431.4	1.15
6	D-(-)-Fructofuranose, pentakis(trimethylsilyl) ether (isomer 1)	32.51	CAS#: 380166 ID#: 43364	2029	2301370127	13.99
7	Citric acid, 4TMS derivative	32.69	CAS#: 14330-97-3 NIST#: 333874	1944	2197000576	13.36

8	D-Allofuranose, pentakis(trimethylsilyl) ether	33.38	NIST#: 380204 ID#: 194119	1991	784236428.7	4.76
9	Quinic acid (5TMS)	33.79	NIST#: 413965 ID#: 44105	2152	1281913070	7.79
10	β -D-Allopyranose, 5TMS derivative	34.65	NIST#: 380162 ID#: 186616 CAS#:	2037	2298430509	13.97
11	D-Altrose, 5TMS derivative	34.90	56114-56-8 NIST#: 24819	1970	183324400.8	1.11
12	Acrylic acid, 2,3-bis[(trimethylsilyl)oxy]-, trimethylsilyl ester	35.27	NIST#: 151178 ID#: 42742 CAS#: 2078-	1248	416535720.7	2.53
13	Gallic acid, 4TMS derivative	35.94	17-3 NIST#: 153381 CAS#: 2775-	2063	238559864	1.45
14	β -D-Glucopyranose, 5TMS derivative	36.92	90-8 NIST#: 380337 CAS#: 2582-	2037	2221144840	13.50
15	Myo-Inositol, 6TMS derivative	39.20	79-8 NIST#: 380339 CAS#:	2194	1439195941	8.75
16	Sucrose, 8TMS derivative	49.68	19159-25-2 NIST#: 380091	3552	586562708.8	3.56

En el caso del liofilizado de zarzamora T2 (Fig. 27, Tabla 13) fueron determinados 15 compuestos mayoritarios, donde el 85 % del área es ocupada por la familia de los azúcares, el 8.42 % por ácidos orgánicos, y las aminas el 0.82 %.

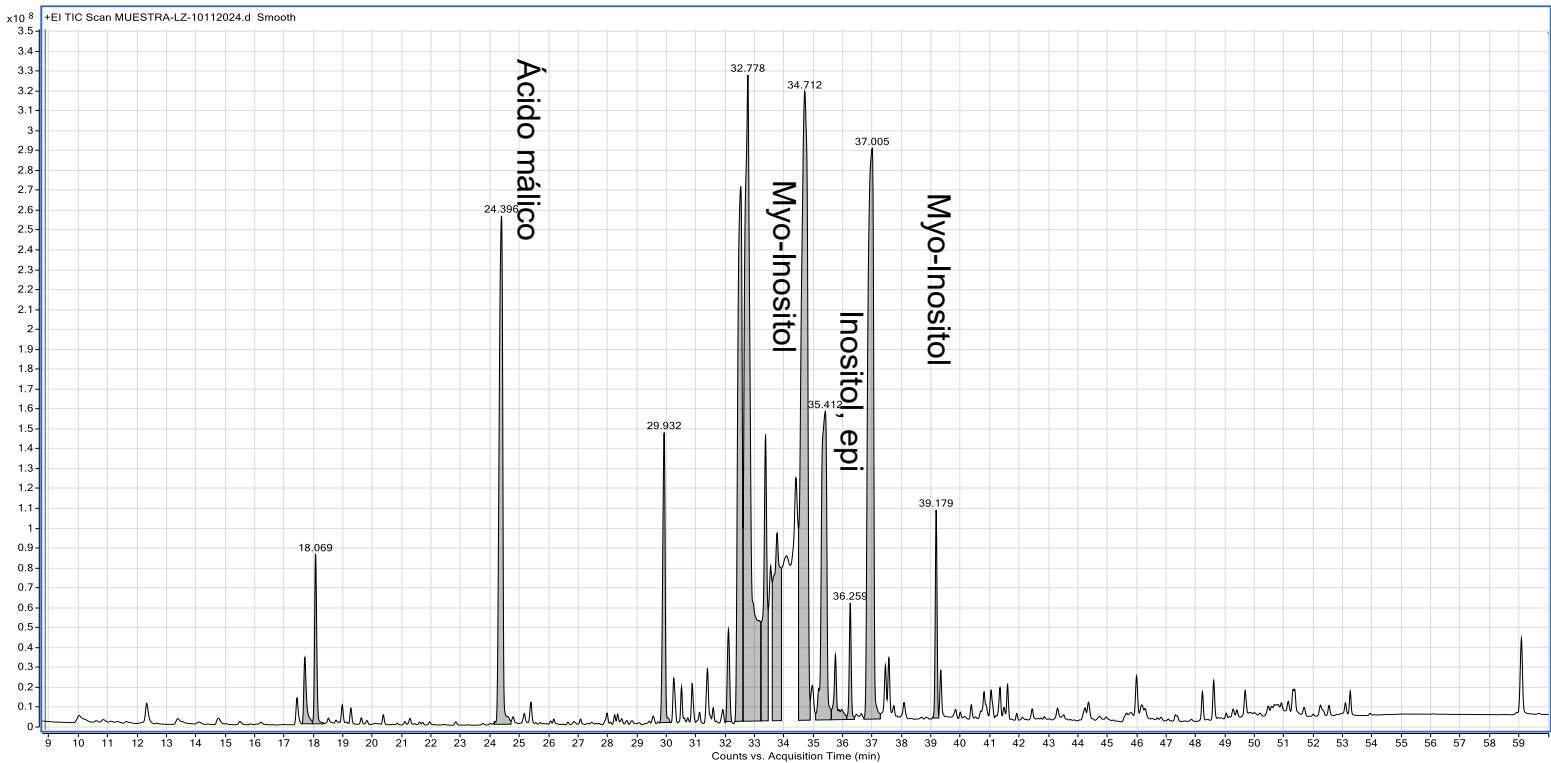


Figura 27. Cromatograma de picos mayoritarios del liofilizado de *R. fruticosus*

Tabla 13. Compuestos mayoritarios identificados por GC-MS de la muestra de liofilizado de *R. fruticosus*

No.	Componente	T/R	CAS/NIST	Índice de retención No-Polar	Área	% Área
1	4-Pyridinamine, N,N-dimethyl-	17.71	CAS#: 1122-58-3 NIST#: 231466	936	212704777.4	3.17
2	Silanol, trimethyl-, phosphate (3:1)	18.06	CAS#: 10497-05-9 NIST#: 334839	1285	437152109.7	6.52
3	Malic acid, 3TMS derivative	24.39	CAS#: 38166-11-9 NIST#: 332853	1390	2179969082	3.254
4	Isocitric acid lactone, 2MTSderivative	29.93	CAS#: 65143-62-6 NIST#: 352443	1698	859866381.6	1.28
5	Glucose, 5TMS derivative	32.11	CAS#: 56192-86-0 NIST#: 24822	1970	254945232	3.80
6	D-(-)-Fructofuranose, pentakis(trimethylsilyl) ether (isomer 1)	32.52	NIST#: 380166 ID#: 43364	2029	2738741474	4.08
7	D-Fructose, 5TMS derivative	32.77	CAS#: 19126-98-8 NIST#: 332829	1982	4914947731	7.33
8	D-Allofuranose, pentakis(trimethylsilyl) ether	33.37	NIST#: 380204 ID#: 194119	1991	1211422270	1.80
9	D-(-)-Fructofuranose, pentakis(trimethylsilyl) ether (isomer 2)	33.77	NIST#: 380167 ID#: 43365	2029	1490442008	2.22
10	β -D-Allopyranose, 5TMS derivative	34.71	NIST#: 380162 ID#: 186616	2037	4792729175	7.15
11	Myo-Inositol, 6TMS derivative	35.41	CAS#: 2582-79-8 NIST#: 380339	2194	1962419555	2.92
12	Ethyl α -D-glucopyranoside, 4TMS derivative	35.75	NIST#: 365900 ID#: 186589	2027	259007856.4	3.86
13	Inositol-Epi, 6TMS derivative	36.25	CAS#: 29267-01-4 NIST#: 18519	2194	273388471.7	4.08
14	β -D-Glucopyranose, 5TMS derivative	37.00	CAS#: 2775-90-8 NIST#: 380337	2037	3844500960	5.73
15	Myo Inositol, 6TMS derivative	39.17	CAS#: 2582-79-8 NIST#: 380339	2194	447974225.5	6.68

Para el tratamiento 3 (Fig.28, Tabla 14) compuesto por las nano-cápsulas de *P. guajava* con maltodextrina como material de pared, en una proporción 2:1 material de pared/extracto, se encontraron conservados los mismos compuestos que en el liofilizado de la misma variedad y apareció el compuesto fenólico ácido gálico en el mismo tiempo de retención, esto comprueba que el nanoencapsulado protege a los compuestos de interés, en gran medida. Se identificaron 16 compuestos mayoritarios, de los

cuales el 61.87 % pertenece a la familia de los azúcares y carbohidratos, el 9.99 % a los ácidos orgánicos, los alcoholes y polialcoholes representados por el Inositol y Myo Inositol ocupan el 15.43% del área y las aminas el 1.34 %.

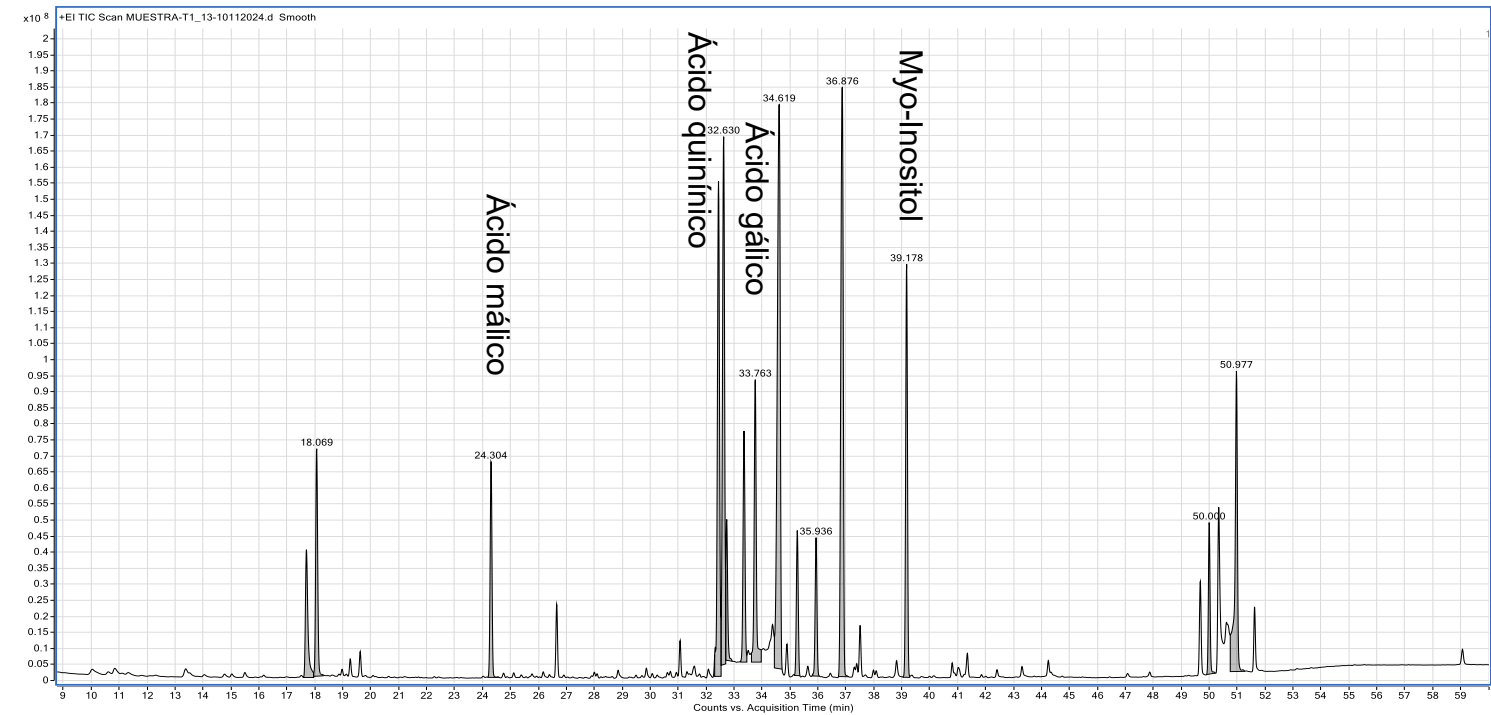


Figura 28. Cromatograma de picos mayoritarios del T1 de nano-cápsulas de *P. guajava*, proporción 2:1

Tabla 14. Detalle de los compuestos mayoritarios identificados mediante GC-MS de la muestra nanocapsulas de *P. guajava*, proporción 2:1 maltodextrina/extracto

No.	Componente	T/R	CAS/NIST	Índice de retención No-Polar	Área	% Área
1	4-Pyridinamine, N,N-dimethyl-	17.70	CAS#: 1122-58-3 NIST#: 231466	936	253687232.1	3.24
2	Silanol, trimethyl-, phosphate (3:1)	18.06	CAS#: 10497-05-9 NIST#: 334839	1285	356474204.5	4.55
3	Malic acid, 3TMS derivative	24.30	CAS#: 38166-11-9 NIST#: 332853	1390	310719161.4	3.97
4	D-(-)-Fructofuranose, pentakis(trimethylsilyl) ether (isomer 1)	32.44	NIST#: 380166 ID#: 43364	2029	843795552.8	10.78
5	D-Fructose, 5TMS derivative	32.63	CAS#: 19126-98-8 NIST#: 332829	1982	868384984.9	11.09
6	D-(-)-Fructopyranose, 5TMS derivative (isomer 1)	32.74	NIST#: 380168 ID#: 43231	2049	182935014.8	2.33

7	D-(+)-Talofuranose, pentakis(trimethylsilyl) ether (isomer 2)	33.35	NIST#: 380172 ID#: 194116	1991	346853772.4	4.43
8	Quinic acid (5TMS)	33.76	NIST#: 413965 ID#: 44105	2152	467910563.1	5.97
9	L-(-)-Sorbitol, 5TMS derivative	34.61	NIST#: 380163 ID#: 42562	1982	1304977868	16.67
10	Myo-Inositol, 6TMS derivative	35.26	CAS#: 2582- 79-8 NIST#: 380339	2194	206716088.1	2.64
11	Gallic acid, 4TMS derivative	35.93	CAS#: 2078- 17-3 NIST#: 153381	2063	194600398.5	2.48
12	β -D-Glucopyranose, 5TMS derivative	36.87	CAS#: 2775- 90-8 NIST#: 380337	2037	1116403517	14.26
13	Myo-Inositol, 6TMS derivative	39.17	CAS#: 2582- 79-8 NIST#: 380339	2194	580179660.3	7.41
14	Maltose, 8TMS derivative , isomer 1	50	NIST#: 380081 ID#: 186606	3560	197778530.6	2.52
15	D-(+)-Cellobiose, (isomer 2), 8TMS derivative	50.97	NIST#: 380080 ID#: 186605	3560	593926545.7	7.58

En el caso del tratamiento T4 (Fig.29, Tabla 15) el cual contiene una proporción 3:1 material de pared/extracto se identificaron 13 compuestos mayoritarios, con una cierta similitud al tratamiento anterior (T3), con un 10.52 % ácidos orgánicos, no observándose en este tratamiento el ácido gálico pudiendo estar relacionado con que a mayor cantidad de maltodextrina el compuesto pudo haberse unido o absorbido por el polisacárido y dificultar la observación, la proporción de azúcares fue de 63.80 %, alcoholes y polialcoholes 10.63 % y aminas y derivados 3.69 %.

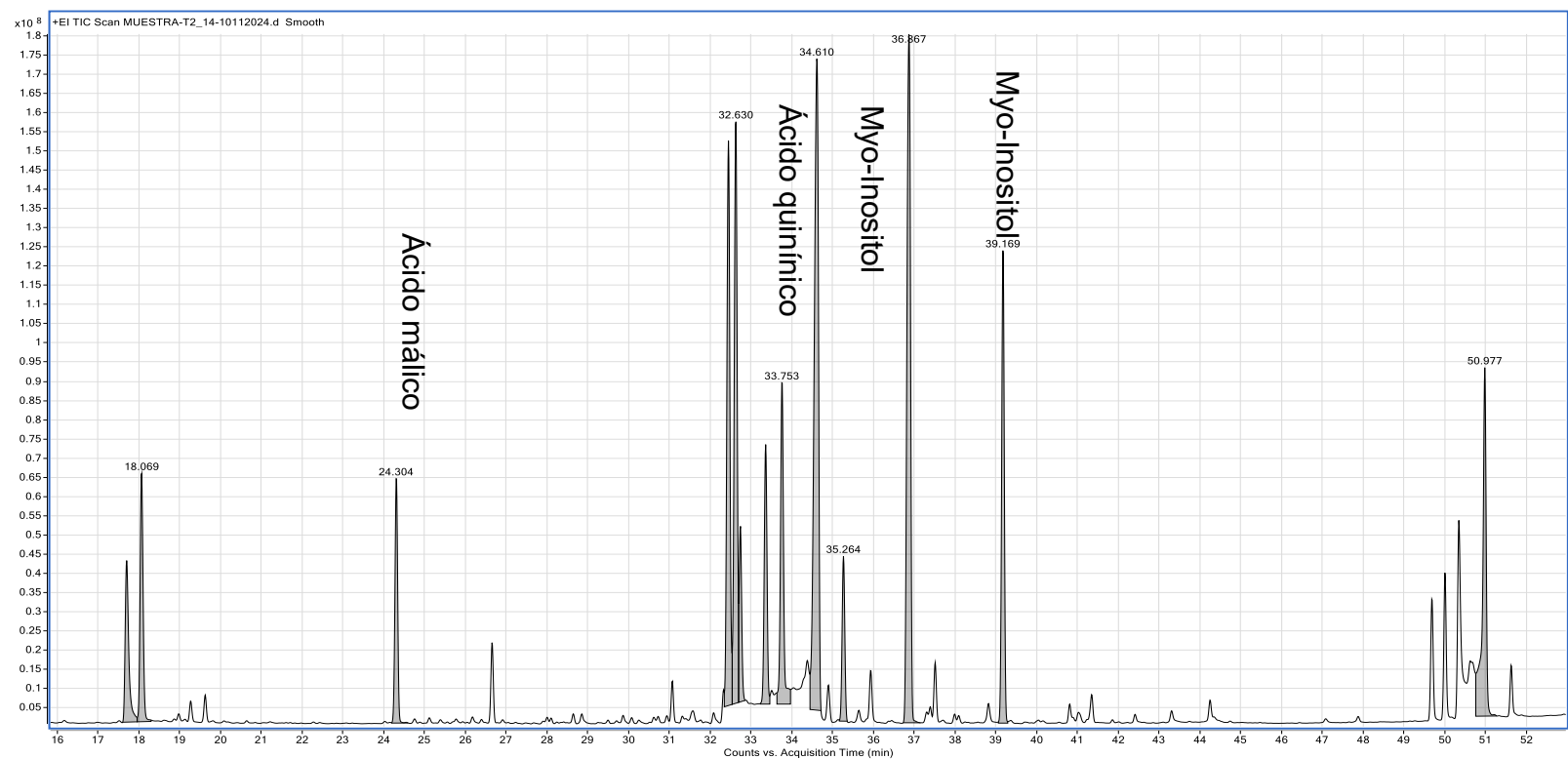


Figura 29. Cromatograma de picos mayoritarios del T2 de nano-cápsulas de *P. guajava*, proporción 3:1 maltodextrina/extracto *P. guajava*

Tabla 15. Detalle de los compuestos mayoritarios identificados mediante GC-MS de la muestra nanocapsulas de *P. guajava*, proporción 3:1 maltodextrina/extracto

No.	Componente	T/R	CAS/NIST	Índice de retención No-Polar	Área	% Área
1	4-Pyridinamine, N,N-dimethyl-	17.70	CAS#: 1122-58-3 NIST#: 231466	936	260439301	3.68
2	Silanol, trimethyl-, phosphate (3:1)	18.06	CAS#: 10497-05-9 NIST#: 334839	1285	326620861	4.62
3	Malic acid, 3TMS derivative	24.30	CAS#: 38166-11-9 NIST#: 332853	1390	295979674	4.19
4	D-(-)-Fructofuranose, pentakis(trimethylsilyl) ether (isomer 1)	32.44	NIST#: 380166 ID#: 43364	2029	765671999	10.84
5	D-Fructose, 5TMS derivative	32.63	CAS#: 19126-98-8 NIST#: 332829	1982	771540253	10.92
6	D-(-)-Fructopyranose, 5TMS derivative (isomer 1)	32.74	NIST#: 380168 ID#: 43231	2049	196472445	2.78

7	D-(+)-Talofuranose, pentakis(trimethylsilyl) ether (isomer 2)	33.35	NIST#: 380172 ID#: 194116	1991	322430774	4.56
8	Quinic acid (5TMS)	33.75	NIST#: 413965 ID#: 44105	2152	446760762	6.32
9	β -D-Allopyranose, 5TMS derivative	34.61	NIST#: 380162 ID#: 186616	2037	1.25E+09	17.70
10	Myo-Inositol, 6TMS derivative	35.26	CAS#: 2582-79-8 NIST#: 380339	2194	195437111	2.76
11	β -D-Glucopyranose, 5TMS derivative	36.86	CAS#: 2775-90-8 NIST#: 380337	2037	1.099E+09	15.56
12	Myo-Inositol, 6TMS derivative	39.16	CAS#: 2582-79-8 NIST#: 380339	2194	554836813	7.85
13	D-(+)-Cellobiose, (isomer 2), 8TMS derivative	50.97	NIST#: 380080 ID#: 186605	3560	574427743	8.13

Para el tratamiento 5 (Fig.30, Tabla 16) la familia de azúcares y carbohidratos representa el 66.11% del área total, lo que es consistente con el aumento del material de pared en este tratamiento. Aunque los carbohidratos no son propiamente antioxidantes, pueden ayudar a potenciar la actividad antioxidante dando estabilidad a compuestos antioxidantes (Faridi Esfanjani & Jafari, 2016). La presencia mayoritaria de compuestos como β -D-Allopyranose (18.87%) y β -D-Glucopyranose (16.42%) refuerza esta tendencia. Estos compuestos pueden derivar en parte de la maltodextrina utilizada como material de pared. Los ácidos orgánicos con un 9.29% del área total, los ácidos málico y quínico contribuyen de manera importante a las propiedades funcionales y antioxidantes de las nanocápsulas. Aunque su proporción es menor en comparación con los carbohidratos, siguen siendo relevantes para el perfil químico del producto, los alcoholes y polialcoholes como el Myo-Inositol representó el 7.18%, las aminas y siliconas aparecen como contribuciones menores pero significativas (4.63% y 4.76%, respectivamente). Su presencia puede estar relacionada con el proceso analítico o posibles contaminantes de la matriz.

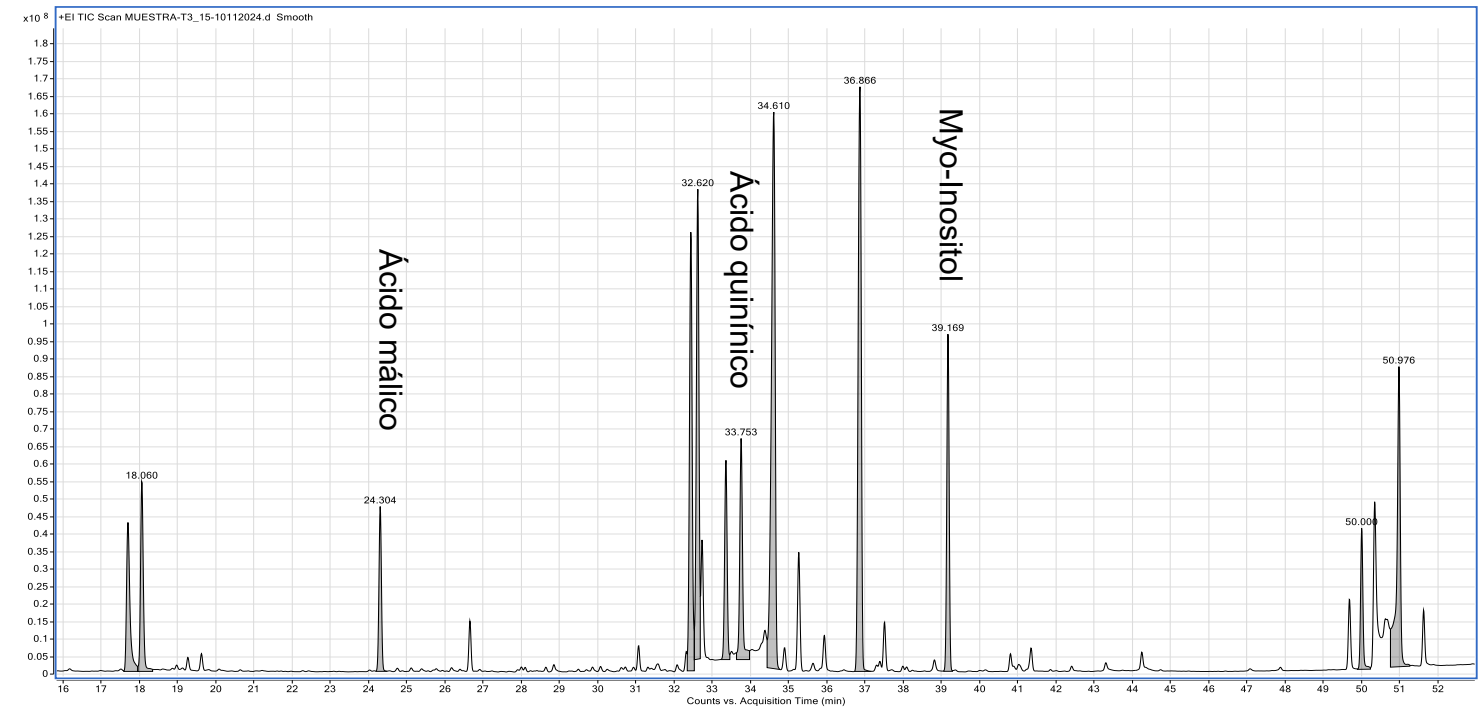


Figura 30. Cromatograma de picos mayoritarios del T3 de nanocapsulas de *P. guajava*, proporción 4:1 maltodextrina/extracto *P. guajava*

Tabla 16. Compuestos mayoritarios identificados mediante GC-MS de la muestra nanocapsulas de *P. guajava*, proporción 4:1 maltodextrina/extracto

No.	Componente	T/R	CAS/NIST	Índice de retención No-Polar	Área	% Área
1	4-Pyridinamine, N,N-dimethyl-	17.70	CAS#: 1122-58-3 NIST#: 231466	936	268173772.8	4.62
2	Silanol, trimethyl-, phosphate (3:1)	18.06	CAS#: 10497-05-9 NIST#: 334839	1285	275934451.1	4.76
3	Malic acid, 3TMS derivative	24.30	CAS#: 38166-11-9 NIST#: 332853	1390	211632217.3	3.65
4	D-(-)-Fructofuranose, pentakis(trimethylsilyl) ether (isomer 1)	32.436	NIST#: 380166 ID#: 43364	2029	622449446.1	10.74
5	D-Fructose, 5TMS derivative	32.62	CAS#: 19126-98-8 NIST#: 332829	1982	640498117.5	11.05
6	D-(+)-Talofuranose, pentakis(trimethylsilyl) ether (isomer 2)	33.35	NIST#: 380172 ID#: 194116	1991	263019061.5	4.53
7	Quinic acid (5TMS)	33.75	NIST#: 413965 ID#: 44105	2152	326827961.3	5.64
8	β-D-Allopyranose, 5TMS derivative	34.61	NIST#: 380162 ID#: 186616	2037	1093097785	18.86
9	β-D-Glucopyranose, 5TMS derivative	36.86	CAS#: 2775-90-8 NIST#: 380337	2037	951221507.7	16.41

10	Myo-Inositol, 6TMS derivative	39.16	CAS#: 2582-79-8 NIST#: 380339	2194	416129137	7.18
11	Maltose, 8TMS derivative, isomer 1	50	NIST#: 380081 ID#: 186606	3560	175003032.5	3.02
12	D-(+)-Cellobiose, (isomer 2), 8TMS derivative	50.97	NIST#: 380080 ID#: 186605	3560	550002288.4	9.49

Elaboración de la bebida funcional de *R. fruticosus*

En la Tabla 17 se muestran los resultados obtenidos de la medición del pH para las distintas formulaciones de la bebida potencialmente funcional con el objetivo de determinar si se modificaba significativamente la concentración de pH, los resultados del estadístico descriptivo nos demostraron que los cambios no son significativos.

Tabla 17. Resultados de la medición del pH a diferentes concentraciones de sólidos de liofilizado de *R. fruticosus*.

% sólidos <i>R. fruticosus</i> liofilizado	pH de la muestra Media $\pm$ SD
2.50%	3.35 $\pm$ 0.02
3%	3.34 $\pm$ 0.01
5%	3.32 $\pm$ 0.01

Se muestra la media $\pm$ la desviación estándar.

El análisis colorimétrico de la mezcla de zarzamora con nano-cápsulas de *P. guajava* permitió evaluar los cambios en las propiedades visuales y funcionales de la formulación, considerando la influencia de las nanocápsulas como agentes encapsulantes. Nuestro estudio pretendió analizar cómo las propiedades ópticas, como el color y la intensidad, se ven afectadas por la interacción entre los pigmentos naturales de la zarzamora y las nanocápsulas de *P. guajava*. Dichos cambios son indicadores importantes de la estabilidad de los compuestos bioactivos y de la aceptabilidad del producto final en términos sensoriales.

Se realizaron pruebas colorimétricas a mezclas de diferentes concentraciones de sólidos liofilizados de *R. fruticosus* (2.5%, 3% y 5%) disueltos en 300 mL de agua destilada para evaluar las propiedades ópticas y cromáticas de las soluciones. Los parámetros medidos incluyeron la luminosidad (L^*), los valores cromáticos (a^* y b^*), la saturación (C^*), y el tono (h°). Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 18, donde se observan tendencias específicas relacionadas con el incremento de la concentración de sólidos.

Tabla 18. Resultados de los parámetros colorimétricos realizadas a los ensayos preliminares de *R. fruticosus* a diferentes concentraciones

Muestras	Luminosidad L*	Valor cromático a*	Valor cromático b*	Saturación C*	Tono h°
2.5% sólidos	3.77 ±0.18	10.45 ±0.80	2.88 ±0.33	10.09 ±0.54	15.17 ±0.69
3% sólidos	3.24 ±0.11	9.07 ±0.25	2.58 ±0.08	9.03 ±0.16	15.55 ±0.74
5% sólidos	3.55 ±0.15	8.51 ±0.38	2.08 ±0.08	9.35 ±1.03	13.76 ±0.55

Un estudio relevante es el de Santacruz *et al.*, (2012), quienes utilizaron la colorimetría triestímulo para evaluar la estabilidad del color de extractos enriquecidos en antocianinas de frutas tropicales colombianas, incluyendo la mora pequeña (*Rubus megalococcus*). Encontraron que el color de los extractos variaba con el pH y que era más estable en condiciones ácidas. El extracto de uva de árbol (*Myrciaria cauliflora*) mostró ser el más estable debido a menores variaciones en el croma.

Otro estudio de interés es el de Osorio *et al.*, (2010), quienes caracterizaron químicamente el color de diferentes variedades de guayaba (*Psidium guajava* L.) en Colombia. Analizaron los pigmentos presentes en las variedades Regional Roja, Regional Blanca y Palmira ICA-1 en distintos estados de madurez, utilizando técnicas de espectroradiometría y análisis de imagen para obtener los parámetros CIELAB. Este tipo de análisis es comparable al realizado en las muestras de zarzamora liofilizada, proporcionando un contexto valioso que permite comparar cómo las propiedades colorimétricas de diferentes frutas ricas en compuestos bioactivos varían según factores como la concentración de sólidos, el pH y el estado de madurez.

Las pruebas colorimétricas contribuyeron a evaluar la interacción entre los diferentes ingredientes utilizados en la formulación. Por ejemplo, los cambios en la intensidad y tonalidad del color observados durante el proceso de mezcla de los extractos de zarzamora y las nanocápsulas de guayaba sugieren la presencia de interacciones entre compuestos fenólicos, que pueden influir en la estabilidad y funcionalidad del producto final. Estos resultados son consistentes con estudios previos que reportan cómo los compuestos fenólicos, particularmente las antocianinas y los flavonoides, son sensibles a factores ambientales como el pH y la luz, afectando tanto el color como la estabilidad del producto (Faridi Esfanjani y Jafari, 2016).

El color también desempeña un papel crucial en la aceptación sensorial del producto. En este sentido, las pruebas colorimétricas permitieron monitorear y ajustar la intensidad del color para garantizar que reflejara la presencia de ingredientes naturales y funcionales, como las antocianinas de la zarzamora. Un color intenso y uniforme no solo aumenta la percepción de calidad, sino que también fortalece la relación entre el color y los beneficios funcionales esperados, influyendo positivamente en la intención de compra del consumidor (Fernández Herrera, 2020).

Por último, las pruebas colorimétricas resultaron útiles para el control de calidad y la estabilidad de la bebida funcional a lo largo del tiempo. La estabilidad del color es indicativa de la preservación de los compuestos bioactivos, lo cual es fundamental para garantizar la funcionalidad del producto durante su almacenamiento. De esta manera, el análisis colorimétrico se consolida como una herramienta clave para el diseño y desarrollo de alimentos funcionales, al permitir integrar parámetros funcionales, sensoriales y de estabilidad en una formulación que cumple con las expectativas del mercado y los estándares de calidad.

Análisis sensorial: Análisis de componentes principales

La evaluación sensorial es una herramienta fundamental en el desarrollo de los alimentos funcionales, ya que permite comprender cómo los consumidores perciben las propiedades organolépticas de un producto y su aceptación general. En esta etapa, se llevó a cabo un análisis sensorial de la bebida potencialmente funcional elaborada a base de liofilizado de *R.fruticosus* adicionada con extracto fenólico de hojas de *P.guajava* nanoencapsulado, con el objetivo de evaluar atributos clave como sabor, aroma, color, textura en boca y aceptación general.

Dado que los datos sensoriales pueden ser altamente dimensionales y estar influenciados por múltiples factores interrelacionados, se aplicó un Análisis de Componentes Principales (ACP) como técnica estadística para identificar patrones de percepción entre los jueces, reducir la dimensionalidad de los datos y determinar cuáles atributos tienen mayor influencia en la aceptación del producto. A continuación, se presentan los resultados del ACP, incluyendo la interpretación de los valores propio, vectores propios, cargas factoriales, correlación entre las variables y los factores, biplots y contribuciones de las variables y jueces, cosenos cuadrados de las variables y observaciones con el fin de obtener una visión integral sobre los principales factores que afectan la percepción sensorial de la bebida potencialmente funcional.

Se aplicó el formulario (Fig.17) y los datos sociodemográficos fueron los siguientes: la muestra constó de 64 jueces no entrenados con edades entre 21 y 43 años. El 68.8 % fueron del sexo femenino y el 31.3 % del sexo masculino. A la pregunta de si se consumían bebidas saludables, el 42.2 % dijeron que ocasionalmente (1-2 veces al mes, para el 31.3 % su respuesta fue regularmente (1-2 veces por semana), el 15.6 % dijo que frecuentemente (más de 3 veces por semana) consumen este tipo de bebidas y solamente el 10.9 % expresó que nunca consume este tipo de bebidas, cabe resaltar que previamente se les explicó que la muestra a evaluar se consideraba una bebida saludable.

Después de probar la bebida potencialmente funcional a la pregunta de si comprarían la bebida si estuviera disponible en el mercado el 89.1 % respondieron que sí, mientras que un 10.9 % dijeron que definitivamente no la comprarían. Un 23.4 % de los panelistas reclutados afirmaron que recomendarían de manera extremadamente probable la bebida a un familiar al cual podría brindarle un beneficio,

mientras que un 31.3 % y un 40.6 % se colocaron en la media de la escala, cabe destacar que solamente el 1.6% afirmó no recomendarla.

Mediante estadística descriptiva se determinó la calificación global y los principales atributos sensoriales. La bebida potencialmente funcional obtuvo una aceptación general de (6.84 ± 1.38) como se muestra en la Tabla 19, lo que sugiere una percepción favorable entre los evaluadores. Sin embargo, la evaluación sensorial reveló diferencias en la percepción de atributos específicos. Las diferencias entre los atributos sensoriales fueron las siguientes; el color fue el atributo mejor calificado con una media de (7.53 ± 1.49) , lo que pudiera indicar que los evaluadores consideraron que la apariencia de la bebida era atractiva, la textura en boca también recibió una alta puntuación (7.25 ± 1.38) , lo que sugiere que la sensación de la bebida fue bien aceptada. En cuanto al sabor con cifras de (6.55 ± 1.39) y la aceptación general (6.84 ± 1.38) fueron evaluados de manera positiva, pero con menor puntuación en comparación con el color y la textura. El atributo de aroma recibió la calificación más baja (5.72 ± 1.47) , lo cual indica que este atributo podría ser un aspecto a mejorar.

Tabla 19. Descriptivos de los principales atributos sensoriales

Variable	Observaciones	Obs. con datos perdidos	Obs. sin datos perdidos	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típica
Sabor: ¿Qué tan agradable encuentra el sabor de la bebida?	64	0	64	3.000	9.000	6.547	1.391
Aroma: ¿Qué tan agradable percibe el aroma de la bebida?	64	0	64	2.000	9.000	5.719	1.474
Color: ¿Qué tan agradable encuentra al color de la bebida?	64	0	64	2.000	9.000	7.531	1.490
Textura en boca: ¿Qué tan agradable es la sensación en boca de la bebida?	64	0	64	4.000	9.000	7.250	1.380
Aceptación general: ¿Qué tan satisfecho/a está con la bebida en general?	64	0	64	3.000	9.000	6.844	1.383

En la Tabla 20 se describen los valores propios, la varianza explicada y la variabilidad acumulada con el objetivo de describir la importancia de cada componente principal en la representación de la variabilidad de los datos originales. Estos datos permiten determinar cuántos componentes se deben retener para capturar la mayor parte de la información sin perder detalles relevantes.

Para la interpretación en el contexto sensorial los datos sugieren que F1 (Sabor) es el componente dominante, lo que significa que un solo eje puede describir gran parte de la variabilidad en la evaluación sensorial. F2 (Aroma) aporta información adicional que contribuye a la diferenciación de las muestras, aunque en menor medida. F3 (Color) aunque también contribuye no es significativo para ser tomado en cuenta, los valores de F1 y F2 se tomarán como los más importantes. Por su parte los componentes

F4 (Textura) y F5 (Aceptabilidad general) explican poca variabilidad (menos del 10% cada uno), por lo que su contribución es menos relevante para interpretar los datos.

Si los atributos sensoriales (sabor, aroma, textura, color y aceptación general) están altamente correlacionados entre sí, es lógico que F1 absorba la mayor parte de la variabilidad, ya que estos atributos podrían estar representando una misma dimensión de preferencia o calidad sensorial percibida.

Tabla 20. Valores Propios, varianza explicada y variabilidad acumulada en el ACP

	F1	F2	F3	F4	F5
Valor propio	3.080	0.731	0.632	0.313	0.244
Variabilidad (%)	61.605	14.620	12.637	6.255	4.882
% acumulado	61.605	76.225	88.863	95.118	100.000

En la Fig. 31 se muestra un gráfico de sedimentación donde los componentes se graficaron en correspondencia al valor propio y el porcentaje de variabilidad acumulada donde se observa que el primer componente principal (F1) explica el 61.6% de la variabilidad total, seguido por el segundo componente (F2) con un 14.6%, lo que da una variabilidad acumulada de 76.2%. Esto indica que estos dos primeros componentes contienen la mayor parte de la información del sistema, mientras que los demás componentes (F3, F4 y F5) explican menos del 10% cada uno y tienen valores propios menores a 1; y también inferiores a F2 quién a pesar de ser menor a 1, es el segundo dato más importante a ser tomado en cuenta, por lo que la contribución de F3, F4 y F5 a la estructura de los datos es limitada.

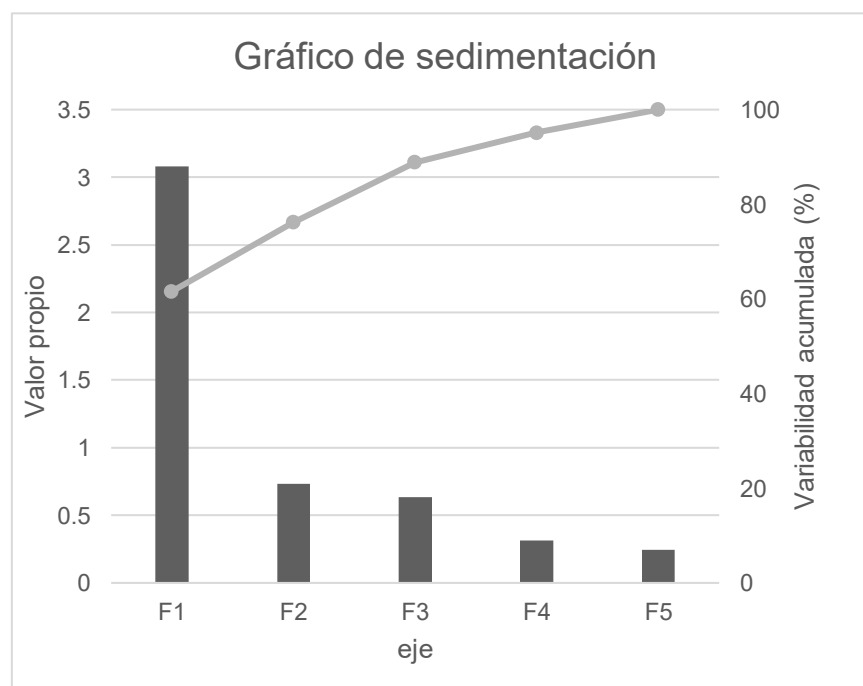


Figura 31. Gráfico de sedimentación de los atributos sensoriales, respecto al valor propio y el porcentaje de la variabilidad acumulada.

Según la regla de Kaiser, solo los componentes con valores propios mayores a 1 deberían ser retenidos, lo que confirma que F1 es el que cumple con ello, sin embargo F2 sería el segundo en relevancia

aunque su resultado es inferior a 1 es pero superior a F3, F4 y F5. Estos resultados indican que la evaluación sensorial puede resumirse en dos dimensiones principales, lo que simplifica la interpretación y permite visualizar la relación entre los atributos sensoriales y la aceptación general en un biplot de ACP.

En la Tabla 21 se puede observar cómo en correspondencia con el (ACP) que mostró que el primer componente principal (F1) explica la mayor parte de la variabilidad y a su vez está principalmente influenciado por los atributos sabor, textura, color y aceptación general. Sugiriendo que estos atributos están fuertemente relacionados y podrían representar una dimensión general de la calidad sensorial percibida de la bebida. Mientras que el segundo componente principal (F2) está dominado por aroma, indicando que este atributo varía de manera independiente en comparación con los otros. Esto podría sugerir que la percepción del aroma no está necesariamente alineada con los otros factores sensoriales. El tercer componente principal (F3) tiene una fuerte contribución del color (0.810), lo que sugiere que este atributo puede representar una dimensión separada dentro de la evaluación sensorial. Los componentes F4 (0.746) y F5 (-0.507) tienen menor contribución y explican poca variabilidad, por lo que no aportan información relevante para el análisis sensorial.

Tabla 21. Vectores propios del ACP

	F1	F2	F3	F4	F5
Sabor: ¿Qué tan agradable encuentra el sabor de la bebida?	0.480	-0.137	-0.492	0.089	0.708
Aroma: ¿Qué tan agradable percibe el aroma de la bebida?	0.339	0.939	-0.012	-0.027	-0.054
Color: ¿Qué tan agradable encuentra al color de la bebida?	0.415	-0.131	0.810	-0.264	0.291
Textura en boca: ¿Qué tan agradable es la sensación en boca de la bebida?	0.496	-0.179	0.101	0.746	-0.394
Aceptación general: ¿Qué tan satisfecho/a está con la bebida en general?	0.486	-0.226	-0.301	-0.604	-0.507

En la Tabla 22 se muestra el análisis de cargas factoriales del ACP revelando que el primer componente (F1) representa la dimensión dominante en la percepción sensorial, con una fuerte asociación con textura (0.871), aceptación general (0.854), sabor (0.842) y color (0.728), no teniendo una asociación importante con el aroma (0.596). Esto sugiere que estos atributos están estrechamente relacionados y contribuyen de manera significativa a la percepción global de la calidad del producto. El segundo componente (F2) está altamente correlacionado con el aroma (0.803), lo que indica que este atributo se percibe de manera independiente respecto a los demás. Quizás evidenciando las diferencias en la sensibilidad olfativa de los jueces o a la importancia relativa del aroma en la experiencia sensorial de la bebida.

El tercer componente (F3) destaca por la influencia del color (0.644), lo que sugiere que la percepción visual de la bebida no está completamente alineada con los demás atributos sensoriales. Esto podría indicar que el color, aunque importante, es evaluado de manera separada en la aceptación del producto

y finalmente, los componentes F4 y F5 tienen cargas factoriales bajas en todas las variables, lo que indica que no aportan información significativa y confirman la validez de interpretar los datos principalmente a través de los dos primeros componentes principales (F1 y F2).

Tabla 22. Cargas factoriales de los componentes principales de la evaluación sensorial

	F1	F2	F3	F4	F5
Sabor: ¿Qué tan agradable encuentra el sabor de la bebida?	0.842	-0.117	-0.391	0.050	0.350
Aroma: ¿Qué tan agradable percibe el aroma de la bebida?	0.596	0.803	-0.009	-0.015	-0.026
Color: ¿Qué tan agradable encuentra al color de la bebida?	0.728	-0.112	0.644	-0.148	0.144
Textura en boca: ¿Qué tan agradable es la sensación en boca de la bebida?	0.871	-0.153	0.081	0.417	-0.195
Aceptación general: ¿Qué tan satisfecho/a está con la bebida en general?	0.854	-0.193	-0.239	-0.338	-0.250

El análisis de correlaciones entre las variables sensoriales y los factores del ACP mostrado en la Tabla 23 indica que el primer componente (F1) explica la mayor parte de la variabilidad en los datos, agrupando los atributos sabor, textura, color y aceptación general, con correlaciones superiores a 0.70. Esto sugiere que estos atributos están altamente relacionados y podrían representar una dimensión general de calidad sensorial percibida. El segundo componente (F2) está fuertemente asociado con el aroma (0.803), lo que sugiere que la percepción olfativa de la bebida se comporta de manera independiente de los otros atributos sensoriales. Esto podría indicar que las diferencias en la formulación afectan el aroma de manera distinta a otros aspectos sensoriales, o que los jueces tienen una variabilidad más alta en la percepción del aroma en comparación con otros atributos.

El tercer componente (F3) está influenciado por el color (0.644), lo que indica que este atributo sensorial tiene un impacto diferenciado y no está completamente alineado con la aceptación general. Esto podría reflejar que la percepción visual de la bebida es importante, pero no es el principal determinante en la evaluación global del producto.

Finalmente, los factores F4 y F5 no presentan correlaciones fuertes con ninguna variable, lo que sugiere que no aportan información relevante y pueden ser descartados en la interpretación de los datos sensoriales.

Tabla 23. Correlaciones entre las variables y los factores

	F1	F2	F3	F4	F5
Sabor: ¿Qué tan agradable encuentra el sabor de la bebida?	0.842	-0.117	-0.391	0.050	0.350
Aroma: ¿Qué tan agradable percibe el aroma de la bebida?	0.596	0.803	-0.009	-0.015	0.026

Color: ¿Qué tan agradable encuentra al color de la bebida?	0.728	-0.112	0.644	-0.148	0.144
Textura en boca: ¿Qué tan agradable es la sensación en boca de la bebida?	0.871	-0.153	0.081	0.417	-0.195
Aceptación general: ¿Qué tan satisfecho/a está con la bebida en general?	0.854	-0.193	-0.239	-0.338	-0.250

La representación gráfica de las variables sensoriales en el ACP representadas en la Fig.32 muestra que los atributos evaluados tales como: sabor, textura en boca, color y aceptación general están altamente correlacionados y contribuyen principalmente al primer componente (F1), que explica el 61.61% de la variabilidad en los datos representados en el cuadrante inferior derecho. Esto sugiere que estos atributos conforman una dimensión conjunta de calidad sensorial global, donde la percepción de un atributo afecta directamente la percepción de los demás.

En contraste, el segundo componente (F2) explica solo el 14.62% de la variabilidad y está principalmente asociado con la variable aroma. Indicando que el aroma es un atributo evaluado de manera independiente y no sigue el mismo patrón de correlación que el sabor, la textura y la aceptación general. La separación del aroma en la Fig.32 confirma que algunos jueces pueden haber evaluado positivamente la bebida en términos de sabor y textura, pero no necesariamente en aroma. Esto podría sugerir la necesidad de optimizar la percepción olfativa de la bebida sin afectar otros atributos sensoriales, validando que el ACP es una herramienta efectiva para analizar la percepción sensorial y ayuda a identificar qué atributos están más relacionados entre sí y cuáles deben mejorarse de manera independiente.

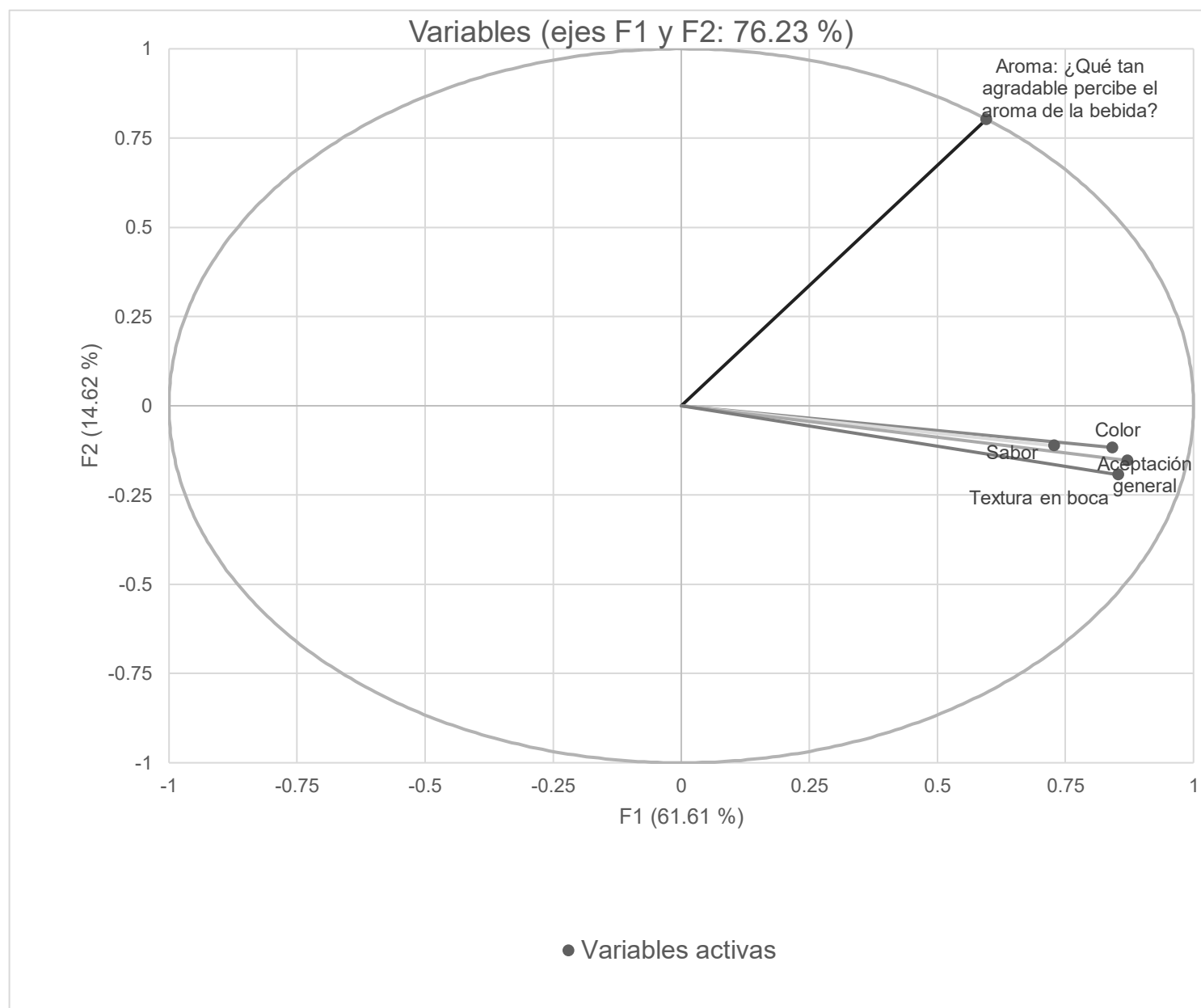


Figura 32. Variables sensoriales representadas en los ejes F1 y F2 mostrando el 76.23 % de la variabilidad de los datos.

Como lo muestra la Tabla 24 el análisis de contribuciones de las variables en el ACP muestra que el primer componente principal (F1) representa la calidad sensorial global de la bebida, con una fuerte contribución de textura (24.615%), aceptación general (23.654%), sabor (22.997%) y color (17.211%). Sugiriendo que estos atributos sensoriales están altamente interrelacionados en la percepción de los jueces.

El segundo componente principal (F2) está dominado casi exclusivamente por el aroma (88.103%), lo que confirma que este atributo es percibido de manera separada del resto de los atributos sensoriales. Este hallazgo podría indicar que las diferencias en el aroma de la bebida pueden no estar asociadas directamente con la aceptación global del producto, sino que dependen de una dimensión sensorial independiente.

El tercer componente principal (F3) está principalmente influenciado por el color (65.66%) y en menor medida por el sabor (24.25%), lo que sugiere que la percepción visual de la bebida podría influir en la expectativa del sabor. Esto sugiere que el color es un factor determinante en la percepción sensorial, aunque su impacto en la aceptación general es menor que el de la textura o el sabor.

En el cuarto componente principal (F4), la textura en boca (55.63%) es el factor más relevante, lo que sugiere que la percepción táctil de la bebida juega un papel clave en la evaluación sensorial y la aceptación del producto. La aceptación general también tiene una contribución importante en este factor (36.53%), lo que confirma que la textura es un atributo clave en la experiencia del consumidor. Finalmente, el quinto componente principal (F5) está altamente influenciado por el sabor (50.1%) y la aceptación general (25.66%), lo que sugiere que estos atributos pueden tener más de una dimensión en la percepción sensorial de los jueces.

Tabla 24. Contribuciones de las variables (%)

	F1	F2	F3	F4	F5
Sabor: ¿Qué tan agradable encuentra el sabor de la bebida?	22.997	1.865	24.250	0.790	50.098
Aroma: ¿Qué tan agradable percibe el aroma de la bebida?	11.523	88.103	0.013	0.073	0.287
Color: ¿Qué tan agradable encuentra al color de la bebida?	17.211	1.717	65.660	6.970	8.441
Textura en boca: ¿Qué tan agradable es la sensación en boca de la bebida?	24.615	3.208	1.026	55.637	15.515
Aceptación general: ¿Qué tan satisfecho/a está con la bebida en general?	23.654	5.107	9.051	36.530	25.659

El análisis de los cosenos cuadrados (COS^2) en el ACP mostrado en la Tabla 25 muestra que el primer componente principal (F1) representa la dimensión dominante en la percepción sensorial de la bebida, con una alta representación de sabor (0.708), textura (0.758) y aceptación general (0.729). Esto confirma que estos atributos están fuertemente interrelacionados y constituyen los principales determinantes en la evaluación de la calidad sensorial del producto.

El segundo componente principal (F2) está dominado por el aroma (0.64), lo que indica que este atributo es percibido de manera independiente de los demás factores sensoriales. Esto sugiere que la variabilidad en la percepción del aroma no está directamente relacionada con la aceptación general del producto, sino que forma parte de una dimensión sensorial separada.

El tercer componente principal (F3) está asociado con el color (0.415), lo que sugiere que la percepción visual de la bebida es una dimensión distinta dentro de la evaluación sensorial. Esto es consistente con la idea de que la apariencia de un producto puede influir en las expectativas del consumidor, pero no necesariamente en la percepción general de su calidad. El cuarto componente principal (F4) tiene una contribución secundaria de la textura en boca (0.174), lo que indica que este atributo tiene una dimensión adicional en su percepción más allá de la que captura F1.

Finalmente, el quinto componente principal (F5) no muestra una representación fuerte de ninguna variable sensorial, lo que sugiere que no aporta información relevante para la interpretación del análisis sensorial.

Tabla 25. Análisis de cosenos cuadrados de las variables sensoriales

	F1	F2	F3	F4	F5
Sabor: ¿Qué tan agradable encuentra el sabor de la bebida?	0.708	0.014	0.153	0.002	0.122
Aroma: ¿Qué tan agradable percibe el aroma de la bebida?	0.355	0.644	0.000	0.000	0.001
Color: ¿Qué tan agradable encuentra al color de la bebida?	0.530	0.013	0.415	0.022	0.021
Textura en boca: ¿Qué tan agradable es la sensación en boca de la bebida?	0.758	0.023	0.006	0.174	0.038
Aceptación general: ¿Qué tan satisfecho/a está con la bebida en general?	0.729	0.037	0.057	0.114	0.063

Los valores en negrita corresponden para cada variable al factor para el cual el coseno cuadrado es el mayor

La Tabla 26 visualiza el análisis de puntuaciones factoriales del ACP muestra que los jueces presentan diferencias en su percepción sensorial del producto, lo que sugiere la existencia de patrones en la evaluación. El primer componente (F1) representa la percepción global de la calidad sensorial, con jueces que tienen puntuaciones altas (J1, J7, J41, J53) evaluando positivamente el producto, mientras que otros (J3, J8, J40, J64) tuvieron una percepción sensorial menos favorable. Esto indica que existe una diferenciación clara entre los jueces en términos de su aceptación general del producto.

El segundo componente (F2) está fuertemente asociado con la percepción del aroma, con jueces como J54 y J64 que muestran una mayor sensibilidad a este atributo, mientras que jueces como J5 y J6 parecen menos influenciados por este factor. Esto confirma que el aroma es una dimensión independiente en la evaluación sensorial del producto. El tercer componente (F3) captura la influencia del color en la percepción sensorial, con jueces como J8 y J24 que parecen haber dado mayor importancia a la apariencia visual del producto, mientras que otros como J39 y J60 no consideran el color como un factor determinante.

El cuarto componente (F4) muestra la variabilidad en la textura en boca, con jueces como J27 y J34 priorizando este atributo en su evaluación, en contraste con jueces como J16 y J45 que parecen haber

tenido percepciones menos favorables en este aspecto. Por último, el quinto componente (F5) podría estar capturando variabilidad residual o factores inesperados en la evaluación sensorial, con jueces como J27 y J56 mostrando puntuaciones atípicas, lo que sugiere que su percepción difiere en aspectos no explicados por los factores principales.

Tabla 26. Puntuaciones factoriales de los jueces.

	F1	F2	F3	F4	F5
J1	3.425	1.148	-0.440	-0.162	0.127
J2	-1.243	-0.089	0.433	0.244	-0.488
J3	-3.660	0.754	0.596	-0.900	-0.478
J4	0.614	-0.019	1.019	0.037	-0.276
J5	-0.204	-1.138	1.254	0.515	0.167
J6	-0.130	-1.214	0.487	0.253	-0.399
J7	2.830	0.638	-0.506	-0.688	0.451
J8	-3.461	0.808	1.774	-0.311	1.166
J9	-2.936	0.493	0.744	0.190	-1.054
J10	-0.608	-0.343	0.762	-0.375	-0.661
J11	-1.975	0.238	0.148	-0.340	0.969
J12	0.973	0.568	-1.092	-0.481	0.239
J13	1.861	-1.165	-0.737	0.531	0.446
J14	2.143	0.869	0.501	0.169	-0.493
J15	0.319	0.101	0.040	-0.265	0.328
J16	0.796	-0.870	-0.391	-1.127	-0.373
J17	1.166	-0.967	-0.023	0.403	-0.579
J18	-0.664	0.453	0.068	0.290	-0.012
J19	0.789	-0.804	-0.528	-0.622	0.509
J20	-0.970	-0.112	0.844	0.571	0.591
J21	-0.474	-0.363	-1.048	0.111	-0.028
J22	0.449	-0.671	0.122	0.299	0.077
J23	-0.071	-1.258	-0.711	-0.490	-0.164
J24	0.846	0.622	1.011	0.019	-0.312
J25	-0.643	-1.767	-0.053	0.450	-0.559
J26	1.978	0.217	-0.396	0.430	-0.140
J27	0.328	0.235	0.489	2.211	1.374
J28	1.911	0.228	0.509	0.187	-0.456
J29	-1.304	-2.268	0.786	-0.319	-0.551
J30	0.087	-0.541	0.048	-0.246	0.365
J31	-2.883	0.514	-0.591	-0.048	0.064
J32	-0.194	-0.452	-0.500	-0.068	0.169
J33	0.812	-0.802	0.196	0.843	-0.210
J34	1.391	-0.260	-0.169	0.889	0.266
J35	1.418	1.131	0.353	-0.921	0.082
J36	-0.567	-1.007	1.180	-0.030	0.454
J37	-1.085	0.628	1.193	0.488	0.041
J38	-1.968	0.172	0.285	-0.845	0.087
J39	-1.028	-0.252	-2.006	-0.037	-1.303
J40	-4.436	-1.113	-2.642	0.063	0.385
J41	3.077	1.247	-0.083	-0.226	-0.386
J42	0.020	-0.530	0.953	-0.489	0.049
J43	-1.605	0.041	0.359	-0.301	-0.200
J44	2.490	0.770	0.144	0.233	0.020
J45	-0.406	0.363	-0.108	-1.354	0.904
J46	0.039	0.190	-0.508	-0.086	0.132
J47	-0.376	0.299	0.754	-0.394	-0.697
J48	0.913	0.612	0.106	0.261	0.004

J49	0.551	0.743	0.032	-0.283	0.292
J50	0.789	-0.804	-0.528	-0.622	0.509
J51	0.169	-0.583	-0.426	0.477	-0.119
J52	-1.176	-0.100	-0.472	0.487	-0.172
J53	3.193	0.507	-0.432	-0.143	0.164
J54	-2.419	1.798	-0.607	-0.085	-0.010
J55	0.102	-0.572	0.479	0.234	-0.436
J56	-1.612	0.107	0.222	0.204	0.682
J57	0.731	1.363	1.360	-0.064	-0.862
J58	0.169	-0.583	-0.426	0.477	-0.119
J59	1.432	-1.024	0.094	-0.256	0.418
J60	2.631	0.684	-1.528	0.214	-0.229
J61	2.258	0.129	0.152	0.251	0.057
J62	-0.556	-0.321	-0.574	-0.612	0.456
J63	0.271	0.831	-0.516	-0.105	0.095
J64	-4.318	2.492	-1.456	1.268	-0.374

La Fig.33 refleja la distribución de las observaciones en el ACP evidenciando que los jueces pueden agruparse en diferentes segmentos en función de su percepción sensorial del producto. El primer componente (F1) representa la percepción general de la calidad sensorial, con jueces como J53, J61, J44 y J57 mostrando una alta aceptación del producto, mientras que jueces como J40, J64 y J29 tuvieron una evaluación menos favorable. Esto sugiere que existen diferencias marcadas en la percepción de la bebida, donde algunos jueces la consideraron sensorialmente atractiva, mientras que otros encontraron deficiencias en sabor, textura o apariencia.

El segundo componente (F2) está relacionado con la percepción del aroma, con jueces como J57, J49 y J35 destacando este atributo, mientras que otros como J40 y J64 le otorgaron una valoración más baja. Esto indica que el aroma es un atributo que varía significativamente entre los jueces y que puede no estar alineado con la percepción global del producto. En términos de segmentación de jueces tenemos que un grupo de jueces (57% de los jueces 37 de 64) evaluó positivamente todos los atributos sensoriales, lo que indica una alta aceptación del producto. Mientras que algunos jueces destacaron atributos específicos como el aroma, pero no la calidad general y otros jueces evaluaron negativamente la bebida en todos los aspectos sensoriales, lo que sugiere que su percepción del producto es diferente al promedio. Estos hallazgos pueden ser útiles para identificar diferencias en la percepción sensorial y guiar mejoras en la formulación del producto, enfocado en optimizar atributos específicos para aumentar la aceptación general.

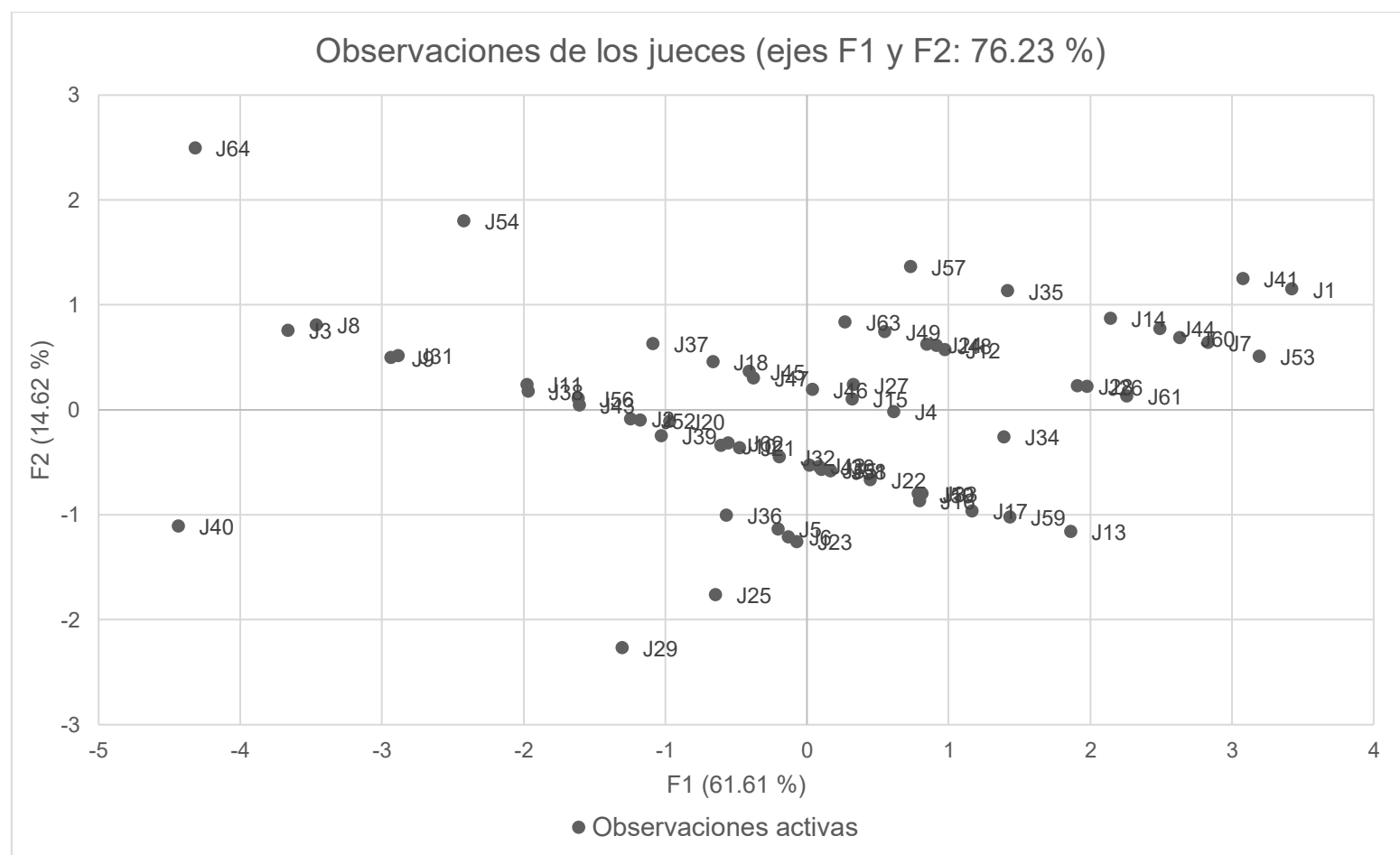


Figura 33. Distribución de las observaciones de los jueces respecto a los dos componentes principales ejes F1 y F2 representando el 76.23 % de la variabilidad de los datos.

La Fig.34 muestra el biplot del ACP mostrando la relación entre las variables sensoriales y los jueces en el espacio de los dos primeros componentes principales (F1 y F2). El primer componente (F1) representa la percepción global de la calidad sensorial, con una fuerte correlación entre los atributos sabor, textura, color y aceptación general. Los jueces en el extremo derecho del eje F1 (J53, J61, J35, J57) evaluaron positivamente la bebida en estos atributos, mientras que los jueces en el extremo izquierdo (J40, J64, J29, J8, J3) tuvieron una percepción menos favorable.

El segundo componente (F2) está principalmente asociado con la percepción del aroma, lo que indica que este atributo se percibe de manera independiente de los demás factores sensoriales. Jueces como J57, J49 y J35 dieron puntuaciones altas al aroma, mientras que jueces como J40 y J64 tuvieron una percepción menos positiva de este atributo. La distribución de los jueces en el biplot permite identificar diferentes segmentos de percepción sensorial; un grupo de jueces (J53, J61, J35, J57) evaluó positivamente todos los atributos sensoriales, indicando una alta aceptación del producto, otro grupo (J34, J36, J46, J23) percibió positivamente el sabor y la textura, pero no el aroma. Algunos jueces (J8, J3, J64, J54) consideraron que el aroma era positivo, pero el sabor y la textura deficientes. Un grupo crítico de jueces (J40, J64, J29, J25) tuvo una evaluación negativa en todos los atributos.

Estos resultados sugieren que la optimización de la formulación del producto podría enfocarse en mejorar el balance entre aroma y sabor/textura, ya que la variabilidad en la percepción del aroma parece ser independiente de la calidad sensorial global.

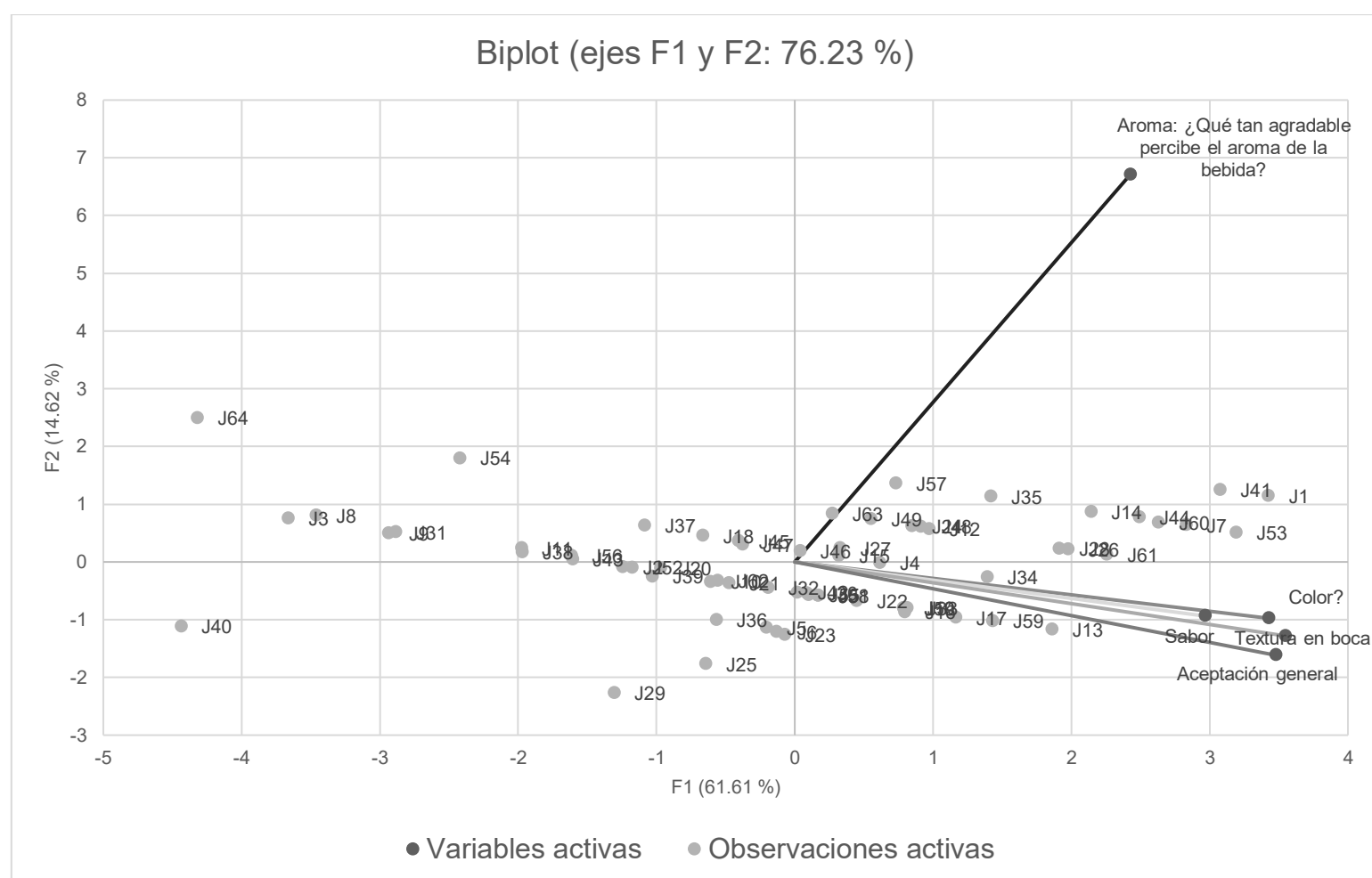


Figura 34. Biplot de las variables sensoriales y la percepción de los jueces (ejes F1 y F2: 76.23 %)

El análisis de las contribuciones de las observaciones en el ACP (Tabla 27) hace referencia a las observaciones de los jueces por cada componente principal, muestra que ciertos jueces tienen una influencia desproporcionada en la construcción de los componentes principales, lo que sugiere diferencias individuales en la percepción sensorial de la bebida. En el primer componente (F1), los jueces J40 y J64 tienen las mayores contribuciones, lo que indica que sus evaluaciones fueron determinantes en la construcción de la dimensión global de calidad sensorial. Este hallazgo sugiere que estos jueces pueden haber sido más sensibles a la percepción combinada de atributos como sabor, textura y aceptación general.

El segundo componente (F2) está dominado por J64 y J29, lo que confirma que el aroma es un atributo percibido de manera diferenciada por ciertos jueces. Esta variabilidad en la percepción olfativa podría estar influenciada por diferencias en la sensibilidad individual al aroma de la bebida. En el tercer componente (F3), los jueces J40 y J39 tienen una contribución significativa, lo que indica que la percepción del color es un factor clave en su evaluación. Esto sugiere que la apariencia de la bebida puede haber influido en la expectativa del producto para estos jueces en mayor medida que para otros.

El cuarto componente (F4) está altamente influenciado por J27, con una contribución del 24.421%, lo que indica que este juez tuvo una percepción de la textura en boca que se diferencia significativamente del resto. J64 también tiene una contribución importante en este componente, lo que sugiere que la variabilidad en la percepción táctil del producto puede ser significativa entre ciertos jueces.

Finalmente, el quinto componente (F5) está influenciado por J27, J8 y J39, lo que indica que estos jueces pueden haber tenido evaluaciones atípicas o haber considerado aspectos sensoriales que no fueron bien explicados por los primeros factores. Esto sugiere la posibilidad de factores subjetivos adicionales en la percepción de la bebida, resultados que concuerdan con este tipo de evaluaciones sensoriales hedónicas, en donde participan jueces sensoriales no entrenados (Rivas, 2014).

Tabla 27. Contribuciones de las observaciones (%) realizadas por los jueces

	F1	F2	F3	F4	F5
J1	5.949	2.819	0.479	0.131	0.103
J2	0.784	0.017	0.464	0.298	1.525
J3	6.796	1.216	0.879	4.045	1.464
J4	0.192	0.001	2.568	0.007	0.486
J5	0.021	2.768	3.890	1.323	0.178
J6	0.009	3.151	0.586	0.319	1.018
J7	4.063	0.869	0.633	2.365	1.304
J8	6.075	1.394	7.783	0.484	8.705
J9	4.372	0.519	1.370	0.180	7.104
J10	0.188	0.251	1.435	0.703	2.795
J11	1.978	0.121	0.054	0.579	6.016
J12	0.480	0.689	2.948	1.155	0.366
J13	1.757	2.901	1.343	1.411	1.275
J14	2.329	1.616	0.620	0.142	1.555
J15	0.052	0.022	0.004	0.350	0.690
J16	0.321	1.618	0.377	6.350	0.893
J17	0.690	1.999	0.001	0.810	2.149
J18	0.223	0.439	0.012	0.420	0.001
J19	0.316	1.383	0.690	1.935	1.657
J20	0.477	0.027	1.760	1.626	2.233
J21	0.114	0.282	2.715	0.061	0.005
J22	0.102	0.964	0.037	0.445	0.038
J23	0.003	3.385	1.251	1.198	0.172
J24	0.363	0.828	2.528	0.002	0.624
J25	0.210	6.675	0.007	1.010	1.998
J26	1.984	0.101	0.388	0.924	0.125
J27	0.054	0.118	0.592	24.421	12.081
J28	1.852	0.111	0.640	0.175	1.332
J29	0.863	10.992	1.526	0.510	1.943
J30	0.004	0.625	0.006	0.303	0.853
J31	4.218	0.565	0.865	0.011	0.026
J32	0.019	0.437	0.618	0.023	0.182
J33	0.334	1.376	0.095	3.553	0.283
J34	0.982	0.144	0.070	3.950	0.453
J35	1.020	2.734	0.308	4.237	0.043
J36	0.163	2.169	3.444	0.005	1.322
J37	0.597	0.844	3.517	1.188	0.011
J38	1.964	0.063	0.201	3.570	0.049
J39	0.536	0.136	9.954	0.007	10.868
J40	9.983	2.648	17.266	0.020	0.947
J41	4.803	3.326	0.017	0.256	0.953
J42	0.000	0.601	2.246	1.195	0.015
J43	1.308	0.004	0.319	0.452	0.257
J44	3.146	1.269	0.051	0.271	0.003
J45	0.083	0.281	0.029	9.162	5.228
J46	0.001	0.077	0.638	0.037	0.111
J47	0.072	0.191	1.406	0.774	3.113
J48	0.423	0.800	0.028	0.342	0.000
J49	0.154	1.179	0.003	0.401	0.545
J50	0.316	1.383	0.690	1.935	1.657
J51	0.014	0.726	0.449	1.137	0.091
J52	0.702	0.021	0.550	1.185	0.188
J53	5.170	0.549	0.462	0.103	0.172
J54	2.969	6.907	0.912	0.036	0.001
J55	0.005	0.701	0.567	0.274	1.214

J56	1.319	0.025	0.121	0.209	2.975
J57	0.271	3.970	4.574	0.021	4.755
J58	0.014	0.726	0.449	1.137	0.091
J59	1.040	2.240	0.022	0.328	1.116
J60	3.512	1.000	5.775	0.228	0.336
J61	2.587	0.035	0.057	0.316	0.021
J62	0.157	0.221	0.814	1.874	1.332
J63	0.037	1.477	0.658	0.055	0.058
J64	9.456	13.273	5.240	8.029	0.893

El Anexo A muestra el análisis del Índice de Homogeneidad de los Ejes (IHE) en el ACP, reportando que el primer componente principal (F1) tiene el mayor valor (0.313), lo que indica que es el eje más homogéneo y representa mejor la estructura de los datos sensoriales. Este resultado es consistente con el hecho de que F1 explica la mayor parte de la varianza en los datos y agrupa atributos clave como sabor, textura y aceptación general.

El segundo componente (F2) tiene un IHE de 0.281, lo que sugiere que también tiene una buena representación de los datos originales, en particular capturando la variabilidad del aroma como un factor independiente en la evaluación sensorial.

Los componentes F3, F4 y F5 tienen índices más bajos (0.234, 0.219 y 0.250, respectivamente), lo que indica que su capacidad para representar la estructura de los datos es menor. Esto sugiere que, aunque estos factores pueden ser útiles para describir algunas dimensiones específicas (como el color o la textura en boca), no capturan la variabilidad estructural de los datos con la misma eficacia que F1 y F2.

En general, estos resultados indican que los primeros dos componentes principales (F1 y F2) son los más relevantes para describir la percepción sensorial de la bebida, mientras que los factores adicionales tienen una menor contribución a la estructura general de los datos.

La Fig.35 grafica el Índice de Homogeneidad de los Ejes (IHE) confirmando que los dos primeros componentes principales (F1 y F2) son los más representativos en la evaluación sensorial del producto. El primer componente principal (F1) tiene el mayor valor (0.313), lo que indica que es el eje más homogéneo como se mencionó anteriormente y capta la mayor parte de la variabilidad en los datos. Este resultado es consistente con el hecho de que F1 agrupa atributos clave como sabor, textura y aceptación general, lo que sugiere que estos atributos están altamente correlacionados y pueden interpretarse dentro de una misma dimensión de calidad sensorial global.

El segundo componente principal (F2) también tiene un IHE alto (0.281), lo que sugiere que representa una dimensión bien definida en los datos, particularmente relacionada con la percepción del aroma. Esto es consistente con el análisis de cargas factoriales y las contribuciones de las variables, donde se observó que el aroma tenía una representación independiente de los demás atributos sensoriales.

Los componentes F3, F4 y F5 tienen valores más bajos de IHE (~0.234, 0.219 y 0.250, respectivamente), lo que indica que su capacidad de representar la estructura de los datos es menor. Esto sugiere que, aunque estos factores pueden aportar información complementaria (por ejemplo, la percepción del color en F3 o la textura en boca en F4), no son tan relevantes como F1 y F2 en la caracterización sensorial del producto.

En general, estos resultados indican que los primeros dos componentes principales (F1 y F2) son suficientes para describir la mayoría de la variabilidad en la percepción sensorial de la bebida, respaldando la decisión de focalizar la interpretación en estos dos factores y descartar los componentes con menor homogeneidad.

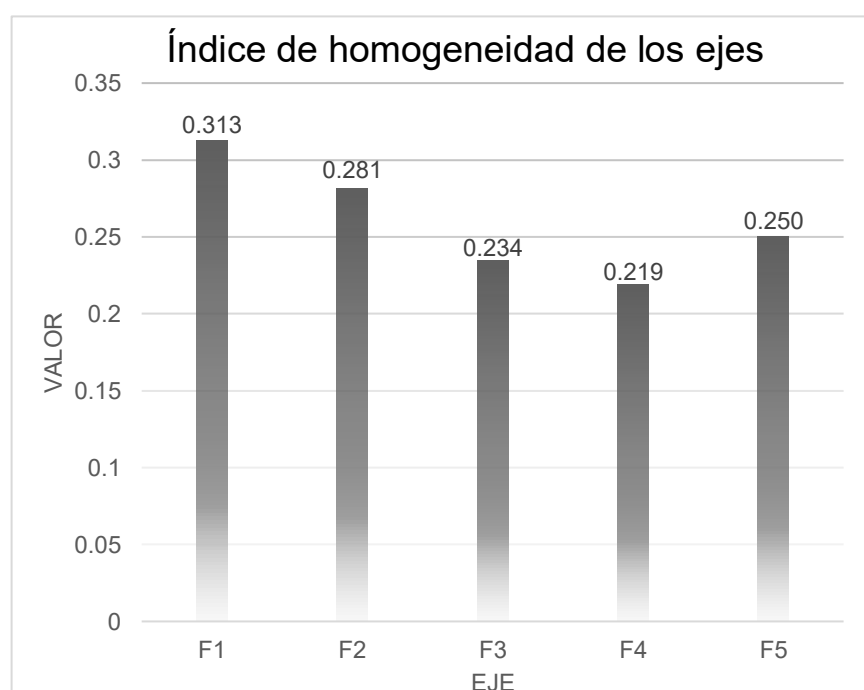


Figura 35. Gráfica del Índice de Homogeneidad de los Ejes de los componentes principales de la evaluación sensorial.

El análisis de los cosenos cuadrados (COS^2) de las observaciones en el ACP del Anexo B revela que la mayoría de los jueces están bien representados en el primer componente principal (F1), lo que indica que este eje explica la mayor parte de la variabilidad en la evaluación sensorial. Jueces como J31 (0.931), J53 (0.954) y J61 (0.980) presentan valores muy altos en F1, lo que sugiere que sus evaluaciones fueron altamente consistentes con la variabilidad capturada por este factor.

Estos hallazgos sugieren que la optimización del producto debe enfocarse en equilibrar el aroma con la percepción global del sabor y la textura, garantizando una mejor alineación con las expectativas sensoriales de los consumidores. El ACP ha demostrado ser una herramienta eficaz para interpretar la evaluación sensorial, proporcionando información clave para la reformulación y mejora del producto.

CONCLUSIONES

La presente investigación demostró que la nano-encapsulación del extracto fenólico de hojas de *Psidium guajava* L. utilizando maltodextrina como material de pared es una estrategia efectiva para preservar la estabilidad de los compuestos bioactivos conservando sus propiedades antioxidantes.

La capacidad antioxidante de la bebida funcional elaborada con *Rubus fruticosus* L. y extracto fenólico nanoencapsulado de *Psidium guajava*, confirmaron una actividad antioxidante elevada mediante los ensayos de DPPH y ABTS. Esto indica que la formulación desarrollada podría contribuir a contrarrestar el estrés oxidativo, un factor clave en la prevención de enfermedades metabólicas como obesidad, diabetes tipo II y dislipidemias.

Además, la combinación de zarzamora y extracto fenólico de guayaba evidenció un efecto sinérgico, dando lugar a una bebida con características sensoriales aceptables y propiedades funcionales optimizadas. Se logró un equilibrio adecuado entre sabor, color, textura, aceptabilidad general por el posible consumidor y la capacidad antioxidante, lo que resalta la importancia de utilizar múltiples fuentes de compuestos fenólicos para maximizar sus beneficios terapéuticos.

Desde una perspectiva de salud pública, esta bebida pudiera representar una alternativa natural y accesible para la prevención y manejo de enfermedades metabólicas prevalentes en México. Asimismo, el uso de ingredientes locales como la zarzamora y el guayabo no solo favorece la economía regional, sino que también promueve un enfoque sostenible en la producción de alimentos funcionales.

Se propuso una formulación con potencial de comercialización, basada en metodologías que incluyeron técnicas como la liofilización, el secado por aspersión y el ultrasonido para la extracción de compuestos fenólicos. Estas estrategias fueron seleccionadas considerando su aplicación en procesos industriales, lo que podría facilitar la viabilidad del producto en el mercado de bebidas funcionales.

PERSPECTIVAS FUTURAS

El análisis de las áreas de oportunidad para mejora, aún con los resultados prometedores que se presentan en este trabajo, es de suma importancia, ya que apoyan la mejora y fortalecimiento del desarrollo y la aplicación de la nanoencapsulación en la formulación de bebidas funcionales.

Particularmente se sugiere proseguir con nuevas investigaciones que incluyan: a) la exploración de nuevos materiales para la encapsulación; b) la realización de evaluaciones biológicas más completas; c) el uso de modelos celulares o animales para determinar con mayor precisión el impacto de la administración oral de la bebida funcional como antioxidante; d) el uso de la bebida funcional en humanos y su influencia en el desarrollo de la obesidad y otras patologías asociadas como diabetes mellitus y dislipidemias.

La eficiencia del encapsulamiento podría mejorar mediante ajustes en variables como temperatura, flujo de aire y concentración de sólidos en la formulación, optimizando la retención de compuestos fenólicos y la estabilidad del producto. Igualmente, se sugiere realizar otras caracterizaciones más avanzadas por HPLC para determinar la composición de compuestos fenólicos en las muestras tras la nanoencapsulación. De igual manera en el futuro debe estudiarse la estabilidad y caracterización sensorial de la bebida funcional.

Para garantizar la viabilidad comercial, es fundamental realizar estudios de estabilidad a largo plazo bajo diferentes condiciones de almacenamiento.

El desarrollo de esta bebida potencialmente funcional representa un avance significativo en la aplicación de nano-tecnología en alimentos, demostrando que la combinación de ingredientes naturales con estrategias de encapsulación puede potenciar sus beneficios funcionales. Con las mejoras y validaciones adicionales propuestas, este producto podría tener un impacto positivo tanto en la salud pública como en la industria alimentaria, consolidándose como una alternativa innovadora en el sector de bebidas funcionales.

REFERENCIAS

- Abid, M., Jabbar, S., Wu, T., Hashim, M. M., Hu, B., Lei, S., & Zeng, X. (2014). Sonication enhances polyphenolic compounds, sugars, carotenoids and mineral elements of apple juice. *Ultrasonics Sonochemistry*, 21(1), 93–97. doi:10.1016/j.ultsonch.2013.06.
- American Diabetes Association. (2015). 2. Classification and Diagnosis of Diabetes. *Diabetes Care*, 38(Supplement_1), S8-S16. <https://doi.org/10.2337/dc15-S005>.
- Ampudia-Blasco, F. J. (s/f). La insulina: cien años salvando vidas. <https://www.revistadiabetes.org/wp-content/uploads/Art.-4-OK-1.pdf>
- AOAC International. (2005). *Official Methods of Analysis of AOAC International* (18th ed.). Gaithersburg, MD: AOAC International.
- Aranda-Rivera, A.K.; Cruz-Gregorio, A.; Arancibia-Hernández, Y.L.; Hernández-Cruz, E.Y.; Pedraza-Chaverri, J. RONS and Oxidative Stress: An Overview of Basic Concepts. *Oxygen* **2022**, 2, 437–478. <https://doi.org/10.3390/oxygen2040030>.
- Araujo-Díaz, S.B. C. Leyva-Porras, P. Aguirre-Bañuelos, C. Álvarez-Salas, Z. Saavedra-Leos (2017). Evaluation of the physical properties and conservation of the antioxidants content, employing inulin and maltodextrin in the spray drying of blueberry juice, *Carbohydrate Polymers*, Volume 167, 2017, Pages 317-325, ISSN 0144-8617,
- Barquera, S., Hernandez-Barrera, L., Tolentino, M. L., Espinosa, J., Ng, S. W., Rivera, J. A., & Popkin, B. M. (2008). Energy Intake from Beverages Is Increasing among Mexican Adolescents and Adults. *The Journal of Nutrition*, 138(12), 2454-2461. <https://doi.org/10.3945/jn.108.092163>
- Basto-Abreu A, López-Olmedo N, Rojas-Martínez R, Aguilar-Salinas CA, Moreno-Banda GL, Carnalla M, Rivera JA, Romero-Martínez M, Barquera S, Barrientos-Gutiérrez T. Prevalencia de prediabetes y diabetes en México: Ensanut 2022. *Salud Publica Mex*. 2023;65(supl 1):S163-S168. <https://doi.org/10.21149/14832>
- Bhushan, B., & Li, X. (2003). Nanomechanical characterisation of solid surfaces and thin films. *International Materials Reviews*, 48(3), 125–164. <https://doi.org/10.1179/095066003225010227>
- Bravo, L. Polyphenols: Chemistry, dietary sources, metabolism, and nutritional significance. *Nutr. Rev.* **1998**, 56, 317–333.
- Campos-Nonato, I., Galván-Valencia, Ó., Hernández-Barrera, L., Oviedo-Solís, C., & Barquera, S. (2023). Prevalencia de obesidad y factores de riesgo asociados en adultos mexicanos: Resultados de la Ensanut 2022. *Salud Pública de México*, 65, s238–s247. <https://doi.org/10.21149/14809>
- Carrión, C. P. (2009). *Prevención y tratamiento de dislipidemias*. Instituto Nacional de Salud Pública. https://www.insp.mx/images/stories/INSP/Docs/cts/cts_ago.pdf

- Cervantes Mauricio J. M.(2010). “Estandarización del proceso de encapsulación de *Lactobacillus gasseri* en partículas de alginato de sodio recubiertas con nanopartículas de Eudragit S-100”. Tesis. UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO. <https://ring.uaq.mx/bitstream/123456789/8624/1/RI007571.pdf>
- Chen, H.-Y., & Yen, G.-C. (2007). Antioxidant activity and free radical-scavenging capacity of extracts from guava (*Psidium guajava* L.) leaves. *Food Chemistry*, 101(2), 686-694. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.02.047>
- Choi, E., Baek, S., Baek, K., & Kim, H. K. (2021). *Psidium guajava* L. leaf extract inhibits adipocyte differentiation and improves insulin sensitivity in 3T3-L1 cells. *Nutrition research and practice*, 15(5), 568–578. <https://doi.org/10.4162/nrp.2021.15.5.568>
- Crozier, A., Del Rio, D., & Clifford, M. N. (2010). Bioavailability of dietary flavonoids and phenolic compounds. *Molecular aspects of medicine*, 31(6), 446–467. <https://doi.org/10.1016/j.mam.2010.09.007>
- Cruzalegui, R., Güivin, O., Fernández-Jeri, A., Cruz, R. (2021) Caracterización de compuestos fenólicos y actividad antioxidante de pulpa de café (*Coffea arabica* L.) deshidratada de tres fincas cafeteras de la región Amazonas (Perú). *Información Tecnológica* Vol. 32(5), 157-166 (2021) <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642021000500157>
- Cuevas-Rodríguez, E. O., Yousef, G. G., García-Saucedo, P. A., López-Medina, J., Paredes-López, O., & Lila, M. A. (2010). Characterization of Anthocyanins and Proanthocyanidins in Wild and Domesticated Mexican Blackberries (*Rubus* spp.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(12), 7458–7464. doi:10.1021/jf101485r
- Dalvi, P.S.; Chalmers, J.A.; Luo, V.; Han, D.Y.; Wellhauser, L.; Liu, Y.; Tran, D.Q.; Castel, J.; Luquet, S.; Wheeler, M.B.; et al. Highfat induces acute and chronic inflammation in the hypothalamus: Effect of high-fat diet, palmitate and TNF- α on appetite-regulating NPY neurons. *Int. J. Obes.* **2017**, 41, 149–158.
- Departamento de Botánica, Instituto de Biología (IBUNAM), *Rubus fruticosus* Sm., ejemplar de: Herbario Nacional de México (MEXU), Plantas Vasculares. En *Portal de Datos Abiertos UNAM* (en línea), México, Universidad Nacional Autónoma de México. Disponible en: <http://datosabiertos.unam.mx/IBUNAM:MEXU:1153621>
- Díaz-de-Cerio, E., Verardo, V., Gómez-Caravaca, A. M., Fernández-Gutiérrez, A., & Segura-Carretero, A. (2017). Health Effects of *Psidium guajava* L. Leaves: An Overview of the Last Decade. *International Journal of Molecular Sciences*, 18(4), 897. <https://doi.org/10.3390/ijms18040897>
- Díaz-Montes, Elsa & Ceron, Genaro & Vargas-León, Enaim. (2023). Encapsulación de compuestos bioactivos: una revisión sistemática. *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI*. 10. 17-28. 10.29057/icbi.v10i20.9575.
- Díaz-Pérez, JC, Zavala, JA, & García, RE (2016). Evaluación agronómica de cultivares de zarzamora (*Rubus fruticosus* L.) en el estado de Michoacán, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*.

- Dudonné, S., Vitrac, X., Coutière, P., Woillez, M., & Mérillon, J.-M. (2009). Comparative Study of Antioxidant Properties and Total Phenolic Content of 30 Plant Extracts of Industrial Interest Using DPPH, ABTS, FRAP, SOD, and ORAC Assays. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(5), 1768–1774. doi:10.1021/jf803011r
- ElSayed, N. A., Aleppo, G., Aroda, V. R., Bannuru, R. R., Brown, F. M., Bruemmer, D., Collins, B. S., Gaglia, J. L., Hilliard, M. E., Isaacs, D., Johnson, E. L., Kahan, S., Khunti, K., Leon, J., Lyons, S. K., Perry, M. L., Prahalad, P., Pratley, R. E., Seley, J. J., ... American Diabetes Association. (2023). 2. Classification and Diagnosis of Diabetes: *Standards of Care in Diabetes—2023*. *Diabetes Care*, 46(Supplement_1), S19–S40. <https://doi.org/10.2337/dc23-S002>
- Esquivel P, G; Gudiño C, E; Rojas M, J. P y Ramírez M, C. A. (2016). Evaluación de fertilizantes foliares orgánicos e inorgánicos en Zarzamora (*Rubus* sp) cv. “Tupy”. *Ciencia Nicolaita*. 67: 25-30.
- Estudio fitoquímico de la guayaba (*Psidium guajava* L.) con potencial actividad antioxidante con el objetivo de desarrollar una formulación fitocosmética. *Rev. Bras. Farmacogn.* 2008, 18, 387–393.
- Etaio I, Pérez FJ, Albisu M, Salmerón J, Ojeda M, Gastón E. Guía para la evaluación sensorial de la calidad de los vinos tintos de Rioja Alavesa. Vinos jóvenes y vinos con crianza en barrica. Colección LUR N° 10. Gobierno Vasco, Departamento de Agricultura, Pesca y Alimentación, Universidad del País Vasco, Asociación de Bodegas Vascas Alavesa, LASEHU, Vitoria-Gasteiz, 2007.
- Faridi Esfanjani, A., & Jafari, S. M. (2016). Biopolymer nano-particles and natural nano-carriers for nano-encapsulation of phenolic compounds. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 146, 532–543. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2016.06.053>
- Faridi Esfanjani, A., & Jafari, S. M. (2016). Improvement of food bioactive stability, delivery efficiency and functionality by encapsulation techniques. *Food Hydrocolloids*, 53, 146–162. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.05.024>
- Fernández Herrera, F. (2020). *Formulación de una bebida funcional a base de Beta vulgaris L. y Equisetum arvense L. para su evaluación de la capacidad antioxidante y polifenoles totales*. Repositorio UNJFSC.
- Fernando Carrasco, N., José Eduardo Galgani, F., & Marcela Reyes, J. (2013). Síndrome de resistencia a la insulina. Estudio y manejo. *Revista Médica Clínica Las Condes*. [https://doi.org/10.1016/S0716-8640\(13\)70230-X](https://doi.org/10.1016/S0716-8640(13)70230-X)
- Ferreira, L. M. d. M. C., Pereira, R. R., Carvalho-Guimarães, F. B. d., Remígio, M. S. d. N., Barbosa, W. L. R., Ribeiro-Costa, R. M., & Silva-Júnior, J. O. C. (2022). Microencapsulation by Spray Drying and Antioxidant Activity of Phenolic Compounds from Tucuma Coproduct (*Astrocaryum vulgare* Mart.) Almonds. *Polymers*, 14(14), 2905. <https://doi.org/10.3390/polym14142905>
- García-Alonso, M., De Pascual-Teresa, S., Santos-Buelga, C., C. Rivas-Gonzalo, J.(2004). *Evaluation of the antioxidant properties of fruits*. *Food Chemistry*, 84(1), 13–18. doi:10.1016/s0308-8146(03)00160-2

- García-Dávila, M., Gutiérrez-Soto, G., Estrada-Díaz, SA, González-Martínez, BE, Rodríguez-Bies, E., & Rangel-Colmenero, BR (2017). Protección antioxidante de zarzamora para disminuir daño muscular en atletas de élite. *Revista de Psicología del Deporte*, 26 (2), 157-163.
- García-Pérez, M. E., Chanda, A., Valdés, C., Bakri, M. K. B., McDonald, A. G., Terrell, E., & Garcia-Perez, M. (2025). Lignocellulosic materials. In *Thermochemical Conversion of Lignocellulosic Materials* (pp. 125-175). Elsevier.
- Go, Y.-M.; Chandler, J.D.; Jones, D.P. The cysteine proteome. *Free Radic. Biol. Med.* **2015**, 84, 227–245.
- Goldstein, J. I., Newbury, D. E., Michael, J. R., Ritchie, N. W. M., Scott, J. H. J., & Joy, D. C. (2018). *Scanning Electron Microscopy and X-ray Microanalysis*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4939-6676-9>
- González Canavaciolo, V. L., Sierra Pérez, R. D., Marrero Delange, D., Milián Hernández, V., & Campañá Castellanos, H. (2007). Identificación por Cromatografía de Gases - Espectrometría de Masas y determinación cuantitativa por Cromatografía de Gases de los productos de degradación térmica de las tabletas de policosanol (20 mg) revestidas. *Revista CENIC. Ciencias Químicas*, 38(1), 203-206.
- González Cárdenas, I.A (2010). Caracterización química del color de diferentes variedades de guayaba (*psidium guajava* L.) Colombiana. Universidad Nacional de Colombia Facultad de Ciencias Departamento de Química Bogotá d.c., 2010
- González-Jiménez, Sandra L., Castillo-González, Ana Ma., García-Mateos, Ma. del Rosario, Valdez-Aguilar, Luis A., Ybarra-Moncada, Carmen, & Avitia-García, Edilberto. (2020). Respuesta de zarzamora (*Rubus* spp.) cv. Tupy a la salinidad. *Revista fitotecnia mexicana*, 43(3), 299-306. Epub 14 de agosto de 2023. <https://doi.org/10.35196/rfm.2020.3.299>
- Görlach, A.; Dimova, E.Y.; Petry, A.; Martínez-Ruiz, A.; Hernansanz-Agustín, P.; Rolo, A.P.; Palmeira, C.M.; Kietzmann, T. Reactive oxygen species, nutrition, hypoxia and diseases: Problems solved? *Redox Biol.* **2015**, 6, 372–385.
- Graham, J., Hackett, C. A., Smith, K., Woodhead, M., MacKenzie, K., Tierney, I., Cooke, D., Bayer, M., & Jennings, N. (2011). Towards an understanding of the nature of resistance to *Phytophthora* root rot in red raspberry. *TAG. Theoretical and applied genetics. Theoretische und angewandte Genetik*, 123(4), 585–601. <https://doi.org/10.1007/s00122-011-1609-5>
- Gutiérrez-Grijalva, E. G.-G. P., Ambriz-Pérez, D. L., Leyva-López, N., Castillo-López, R. I., & Heredia, J. B. (2015). Biodisponibilidad de compuestos fenólicos dietéticos: Revisión. *Revista Española de Nutrición Humana y Dietética*, 20(2), 140–147. <https://doi.org/10.14306/renhyd.20.2.184>
- Gutiérrez, R. M. P., Mitchell, S., & Solis, R. V. (2008). *Psidium guajava*: A review of its traditional uses, phytochemistry and pharmacology. *Journal of Ethnopharmacology*, 117(1), 1-27. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2008.01.025>

- Hancock, J. (2008). *Temperate fruit crop breeding: Germplasm to genomics* (p. 455). <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6907-9>
- Hessel, V., Escribà-Gelonch, M., Schmidt, S., Tran, N. N., Davey, K., Al-Ani, L. A., Muhd Julkapli, N., Abdul Wahab, Y., Khalil, I., Woo, M. W., & Gras, S. (2023). Nanofood Process Technology: Insights on How Sustainability Informs Process Design. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 11(31), 11437-11458. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.3c01223>
- Hyeran Jang. (2017). High-Fat Diets for Diet-Induced Obesity (DIO) Models. *Research Diets*. https://researchdiets.com/system/refinery/resources/W1siZiIsIjIwMTkvMTEvMjIvMjIh0emRubzVjOF9SRElfb2Jlc2I0eV93ZWl3LnBkZiJdXQ/RDI_obesity_web3.pdf
- Ibragic, S., Barbini, S., Oberlerchner, J. T., Potthast, A., Rosenau, T., & Böhmendorfer, S. (2021). Antioxidant properties and qualitative analysis of phenolic constituents in Ephedra spp. by HPTLC together with injection port derivatization GC–MS. *Journal of Chromatography B*, 1180, 122877. doi:10.1016/j.jchromb.2021.122877
- Inocente-Camones, M. A., Guija-Poma, E., Zarzosa-Norabuena, E., Loja Herrera, B., & Ponce-Pardo, J. E. (2015). Efecto hipoglicemiante de los extractos acuoso y etanólico de Psidium guajava L. (Guayaba) en ratas diabéticas inducidas por aloxano. *Horizonte Médico (Lima)*, 15(2), 41–48. <https://doi.org/10.24265/horizmed.2015.v15n2.07>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (México). Anuario estadístico y geográfico por entidad federativa 2017 / Instituto Nacional de Estadística y Geografía.-- México : INEGI, c2017. https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/aegef_2017/702825097929.pdf
- International Classification of Diseases, 10th Revision (ICD-10): Organización Mundial de la Salud. Disponible en: <https://www.who.int/classifications/icd/icdonlineversions/en/>
- Jafari, S. M. (2017). An overview of nanoencapsulation techniques and their classification. *Nanoencapsulation Technologies for the Food and Nutraceutical Industries*, 1–34. doi:10.1016/b978-0-12-809436-5.00001-x
- Kamath, J., Rahul, N., Kumar, A.K., Lakshmi, M. (2014). Psidium guajava L: A review. *International Journal of Green Pharmacy*, 9-12.
- Katarzyna Rygiel. (2018). Hypertriglyceridemia—Common Causes, Prevention and treatment Strategies—PMC. *Current Cardiology Reviews*, 14, 67–76.
- Khosravi Zanjani, M. A., Ehsani, M. R., Ghiassi Tarzi, B., & Sharifan, A. (2018). Promoting Probiotics Survival by Microencapsualtion with Hylon Starch and Genipin Cross-linked Coatings in Simulated Gastro-intestinal Condition and Heat Treatment. *Iranian journal of pharmaceutical research: IJPR*, 17(2), 753–766.
- Kumar, M.; Tomar, M.; Amarowicz, R.; Saurabh, V.; Nair, M.S.; Maheshwari, C.; Sasi, M.; Prajapati, U.; Hasan, M.; Singh, S.; et al. Guava (*Psidium guajava* L.) Leaves: Nutritional Composition, Phytochemical Profile, and Health-Promoting Bioactivities. *Foods* **2021**, 10, 752. <https://doi.org/10.3390/foods10040752>

Laboratorio de plantas vasculares. Ciencias, UNAM.
https://plantasvasculares.fcien.unam.mx/ArbolesArbustosFCiencias/Angiospermas/psidium_guajava.html

Lahoz, C., & Mostaza, J. M. (2009). Colesterol ligado a lipoproteínas de alta densidad: de factor de riesgo a diana terapéutica. *Medicina Clínica*, 133(6), 229–234. doi:10.1016/j.medcli.2008.10.

Lazcano-Ponce, E. (2020). La Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2018-19 en México, indicador de inequidad en salud y de incremento progresivo de exposiciones no saludables: *Salud Pública de México*, 62(6, Nov-Dic), Article 6, Nov-Dic. <https://doi.org/10.21149/12196>.

Legeay S, Rodier M, Fillon L, Faure S, Clere N (2015) Epigallocatechin gallate: a review of its beneficial properties to prevent metabolic syndrome. *Nutrients* 7:5443–5468

Li, H.-B., Wong, C.-C., Cheng, K.-W., & Chen, F. (2008). Antioxidant properties in vitro and total phenolic contents in methanol extracts from medicinal plants. *LWT - Food Science and Technology*, 41(3), 385–390. doi:10.1016/j.lwt.2007.03.011

Liria Domínguez, M.R (2007). Guía para la Evaluación Sensorial de Alimentos. <https://www.coursehero.com/es/file/217205947/Guia-para-la-Evaluacion-Sensorial-de-Alipdf/>

Liu, C. L., Wang, J. M., Chu, C. Y., Cheng, M. T., Tseng, T. H. (2002). In vivo protective effect of protocatechuic acid on tert-butyl hydroperoxide-induced rat hepatotoxicity. *Food and Chemical Toxicology*, 40(5), 635-641.

Majhi, R., Maharjan, R., Shrestha, M. *et al.* Efecto de la altitud y el solvente en extractos de hojas de *Psidium guajava* Linn.: análisis fitoquímico, antioxidante, citotoxicidad y actividad antimicrobiana contra microbios que deterioran los alimentos. *BMC Chemistry* **17**, 36 (2023). <https://doi.org/10.1186/s13065-023-00948-9>

Makkar, H. P. S., & Becker, K. (1996). Nutritional value and antinutritional components of whole and ethanol extracted Moringa oleifera leaves. *Animal Feed Science and Technology*, 63(1-4), 211-228.

Makkar, H. P., Blümmel, M., Borowy, N. K., Becker, K. (1993). Gravimetric determination of tannins and their correlations with chemical and protein precipitation methods. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 61(2), 161-165.

Martín, M. D., & Iriando-DeHond, A. (2018). Efecto de los compuestos fenólicos en el metabolismo de los carbohidratos. *Rev Esp Nutr Comunitaria*. https://www.renc.es/imagenes/auxiliar/files/RENC_2018_1_5._MD_del_Cas tillo._Compuestos_fenolicos.pdf

Martínez Camacho, J. E., Gutiérrez Antonio, C., & Torres Pacheco, I. (2022). La zarzamora: Un delicado tesoro del campo mexicano. *Revista Digital Universitaria*, 23(4). <https://doi.org/10.22201/cuaieed.16076079e.2022.23.4.3>

- Martínez-Flores, H. E., Tranquilino-Rodríguez, E., Rodiles-López, J. O., & Martínez-Avila, G. C. G. (2020). Nanoencapsulation and identification of phenolic compounds by UPLC-Q/TOF-MS2 of an antioxidant extract from *Opuntia atropes*. *Functional Foods in Health and Disease*, 10(12), 505.
- Martirosyan D.M, Christopher S. The benefits of terpenoids as functional foods for the management of type 2 diabetes mellitus. *Bioactive Compounds in Health and Disease* 2024; 7(7): 345-348. DOI: <https://www.doi.org/10.31989/bchd.v7i7.1426>
- Martirosyan, D. M., & Singh, J. (2015). A new definition of functional food by FFC: what makes
- Martirosyan, D., Lampert, T., & Ekblad, M. (2022). Classification and regulation of functional food proposed by the Functional Food Center. *Functional Food Science*, 2(2), 25. <https://doi.org/10.31989/ffs.v2i2.890>
- McDonald A, Bartley L, García Pérez ME, Chejne F, García Pérez M. Chemistry of lignocellulosic materials. Chapter 4. In *Thermochemical Conversion of lignocellulosic materials: theory, design, and applications for the Future*. (2023). Elsevier. 1st Edition. ISBN: 0323955525.
- Mediavilla Bravo J.J (2001). Complicaciones de la diabetes mellitus. Diagnóstico y tratamiento. *SEMERGEN*: 2001; 27: 132-145 <https://www.elsevier.es/index.php?p=revista&pRevista=pdf-simple&pii=S1138359301739317&r=40>
- Muratalla, L.A., M.L. Muñoz, M.A.G. Reyes. 1999. Establecimiento y manejo del cultivo de la zarzamora (*Rubus* spp). En curso de capacitación para productores de zarzamora y frambuesa de la Delegación Cuajimalpa de Morelos, D.F. México. Pp. 19-39.
- National Cholesterol Education Program. (2002). *Third report of the National Cholesterol Education Program (NCEP) expert panel on detection, evaluation, and treatment of high blood cholesterol in adults (Adult Treatment Panel III) final report*. National Heart, Lung, and Blood Institute. <https://www.nhlbi.nih.gov/files/docs/guidelines/atp3xsum.pdf>
- Nayeem N, Asdaq SMB, Heba S, Ahel-Alfay S (2016). Gallic acid: a promising lead molecule for drug development. *J Appl Pharm* 8(2):1–4.
- NORMA Oficial Mexicana NOM-015-SSA2-2010, Para la prevención, tratamiento y control de la diabetes mellitus.
- NORMA Oficial Mexicana NOM-051-SCFI/SSA1-2010, Especificaciones generales de etiquetado para alimentos y bebidas no alcohólicas preenvasados-Información comercial y sanitaria, s. f.)
- Ojeda, G. A., Arias Gorman, A. M., & Sgroppo, S. C. (2019). La nanotecnología y su aplicación en alimentos. *Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria en Nanociencias y Nanotecnología*, 12(23), 1. <https://doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2019.23.67747>
- Okoh, S. O., Oyewole, A. O., Ishola, R. O., Odusote, A. D., Okoh, O. O., Igwe, C. C., & Elemo, G. N. (2015). Antioxidant and Free Radical Scavenging Capacity of Crude and Refined Oil

Extracted From *Azadirachta indica* A. Juss. *International Journal of Biology*, 7(2), p78.
<https://doi.org/10.5539/ijb.v7n2p78>

Organización Mundial de Salud. (2021, junio). *Obesidad y sobrepeso*.
<https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight>.

Organización Mundial de Salud. (2023, abril). *Diabetes*. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/diabetes>.

P. N. Ezhilarasi & P. Karthik. (2012). Nanoencapsulation Techniques for Food Bioactive Components: A Review. *Food Bioprocess Technol.* <https://doi.org/DOI 10.1007/s11947-012-0944-0>

Paredes, A. J., Asencio, C. M., Manuel, L. J., Allemandi, D. A., & Palma, S. D. (2016). Nanoencapsulation in the food industry: Manufacture, applications and characterization. *Journal of Food Bioengineering and Nanoprocessing*.

Parra Huertas, R. A. (2010). REVISIÓN: MICROENCAPSULACIÓN DE ALIMENTOS. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 63(2), 5669-5684. Retrieved January 03, 2025, from http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0304-28472010000200020&lng=en&tlng=es.

Pereira GA, Chaves DSdA, Silva TMe, Motta REdA, Silva ABRd, Patricio TCdC, Fernandes AJB, Coelho SdMdO, Ożarowski M, Cid YP, et al. Actividad antimicrobiana del extracto acuoso de *Psidium guajava* contra cepas bacterianas sensibles y resistentes. *Microorganismos*. 2023; 11(7):1784. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11071784>

Pérez-Pérez, G. A., Fabela-Gallegos, M. J., Vázquez-Barrios, M. E., Rivera-Pastrana, D. M., Palma-Tirado, L., Mercado-Silva, E., y Escalona, V. (2016, junio). Effect of the transport vibration on the generation of the color reversion in blackberry fruit. En VIII *International Postharvest Symposium: Enhancing Supply Chain and Consumer Benefits-Ethical and Technological Issues*, Murcia, España. <https://cutt.ly/SJL6KVn>.

Pineda-Lozano, J. E., López-Espinoza, A., Virgen-Carrillo, C. A., Martínez-Moreno, A. G., & Valdés-Miramontes, E. H. (2021). Compuestos fenólicos y su efecto en las dislipidemias en seres humanos: Una revisión sistemática. *Revista chilena de nutrición*, 48(2), 276–285. <https://doi.org/10.4067/S0717-75182021000200276>

Rabassa M; Trespalacios P; Urpi-Sarda M; Llorach R; Tulipani S; Zamora-Ros R; Garcia-Aloy, M; Andres-Lacueva C. (2011). Polifenoles como antioxidantes. En: González-Aguilar GA, Ayala Zavala JF, Álvarez-Parrilla E, de la Rosa L (editores). *Antioxidantes en alimentos y salud*. México: Trillas. 2011.

Ramírez-Navas, Juan (2007). Liofilización de alimentos. *Revista ReCiTeIA*. 6. 1-39.

Randhir, R., Shetty, K. (2007). Mung beans processed by solid-state bioconversion improves phenolic content and functionality relevant for diabetes and ulcer management. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 8(2), 197-204.

- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free radical biology and medicine*, 26(9-10), 1231-1237.
- Rivas, G. (2014). *Evaluación sensorial hedónica de pescado*. Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera (IFAPA). Recuperado de <https://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/ifapa/servifapa/registro-servifapa/754a3b47-a9f5-4e30-be89-0f7e0494a9b8/download>.
- Rodríguez-Burelo, M. del R., Avalos-García, M. I., & López-Ramón, C. (2014). Consumo de bebidas de alto contenido calórico en México: Un reto para la salud pública. *Salud en Tabasco*, 20(1), 28-33.
- Rossi, M., Miraldi, E., Lorenzini, L., & Ferri, S. (2016). *Antioxidant mechanisms and the role of oxidative stress in health and disease*. *Journal of Nutrition and Health Sciences*, 3(4), 1-9. <https://doi.org/10.12345/jnhs.2016>
- Ruksiriwanich W, Khantham C, Muangsanguan A, Phimolsiripol Y, Barba FJ, Sringarm K, Rachtanapun P, Jantanasakulwong K, Jantrawut P, Chittasupho C, et al. (2022). Extracto de hojas de guayaba (*Psidium guajava* L.) como sustancias bioactivas para actividades antiandrogénicas y antioxidantes. *Plantas*. 11(24):3514. <https://doi.org/10.3390/plants11243514>
- Sampath Kumar, NS; Sarbon, NM; Rana, SS; Chintagunta, AD; Prathibha, S.; Ingilala, SK; Jeevan Kumar, SP; Sai Anvesh, B.; Dirisala, VR. (2021). Extracción de compuestos bioactivos de hojas de *Psidium guajava* y su utilización en la preparación de gelatinas. *AMB Express*, 11, 36.
- Secretaría de Salud. Emite la Secretaría de Salud emergencia epidemiológica por diabetes mellitus y obesidad. México: SS [citado enero 22, 2024]. Disponible en: <https://www.gob.mx/salud/prensa/emite-la-secretaria-de-salud-emergencia-epidemiologica-por-diabetes-mellitus-y-obesidad>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2023). *Avances de siembras y cosechas*. https://nube.siap.gob.mx/avance_agricola/
- Shamah-Levy T, Romero-Martínez M, Barrientos-Gutiérrez T, Cuevas-Nasu L, Bautista-Arredondo S, Colchero MA, Gaona-Pineda EB, Lazcano-Ponce E, Martínez-Barnetche J, Alpuche-Arana C, Rivera-Dommarco J. Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2021 sobre Covid-19. Resultados nacionales. Cuernavaca, México: Instituto Nacional de Salud Pública, 2022.
- Sharma A, Gupta H. (2010). Quercetin a flavanoid. *Chron Young Sci* 1:10–15
- Sies, H.; Jones, D.P. Reactive oxygen species (ROS) as pleiotropic physiological signalling agents. *Nat. Rev. Mol. Cell Biol.* **2020**, 21, 363–383.
- 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.

Sistema de Información Arancelaria Vía Internet (SIAVI). (2021). <http://www.economia-snci.gob.mx/>.

Smirnoff, N., & Cumbes, Q. J. (1989). Hydroxyl radical scavenging activity of compatible solutes. *Phytochemistry*, 28(4), 1057–1060. [https://doi.org/10.1016/0031-9422\(89\)80182-7](https://doi.org/10.1016/0031-9422(89)80182-7)

Sophiea, m. k., Zaccardi, f., Cheng, y. j., Vamos, e. p., Holman, n., & Gregg, e. w. (2024). Trends in all-cause and cause-specific mortality by bmi levels in England, 2004–2019: a population-based primary care records study. *The Lancet Regional Health - Europe*, 44, 100986. <https://doi.org/10.1016/j.lanepe.2024.100986>

Sosnik, A., & Seremeta, K. P. (2015). Advantages and challenges of the spray-drying technology for the production of pure drug particles and drug-loaded polymeric carriers. *Advances in Colloid and Interface Science*, 223, 40–54. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2015.05.003>

Taga, M. S., Miller, E. E., & Pratt, D. E. (1984). Chia seeds as a source of natural lipid antioxidants. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 61(5), 928–931. <https://doi.org/10.1007/BF02542169>

Tangvarasittichai S. Oxidative stress, insulin resistance, dyslipidemia and type 2 diabetes mellitus. *World J Diabetes* 2015; 6(3): 456-480 Available from: URL: <http://www.wjgnet.com/1948-9358/full/v6/i3/456.htm> DOI: <http://dx.doi.org/10.4239/wjd.v6.i3.456>

TECH®, R. T. F. (2024, enero 6). *Bebidas no alcohólicas: Sabores sofisticados y nuevas tendencias para 2024*. THE FOOD TECH - Medio de noticias líder en la Industria de Alimentos y Bebidas. <https://thefoodtech.com/tendencias-de-consumo/bebidas-no-alcoholicas-sabores-sofisticados-y-nuevas-tendencias-para-2024/>

Teleszko, M., & Wojdyło, A. (2015). Comparison of phenolic compounds and antioxidant potential between selected edible fruits and their leaves. *Journal of Functional Foods*, 14, 736–746. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.02.041>

Tena-Rojas K.F., Martínez-Flores H.E., Garnica-Romo M. G., Figueroa-Cárdenas J. D., Meléndez Herrera E., Salgado-Garciglia R. (2022). Influence of factors and interactions in ultrasound-assisted extraction and conventional maceration on aqueous extract of Psidium guajava leaves. *Bioactive Compounds in Health and Disease* 2022; 5(10): 183-201. DOI: <https://www.doi.org/10.31989/bchd.v5i10.969>.

Thaler, J. P., Yi, C.-X., Schur, E. A., Guyenet, S. J., Hwang, B. H., Dietrich, M. O., Zhao, X., Sarruf, D. A., Izgur, V., Maravilla, K. R., Nguyen, H. T., Fischer, J. D., Matsen, M. E., Wisse, B. E., Morton, G. J., Horvath, T. L., Baskin, D. G., Tschöp, M. H., & Schwartz, M. W. (2012). Obesity is associated with hypothalamic injury in rodents and humans. *Journal of Clinical Investigation*, 122(1), 153-162. <https://doi.org/10.1172/JCI59660>.

The Food Tech. (2022). El interés se centra en la textura. **The Food Tech**. Recuperado de <https://thefoodtech.com/tendencias-de-consumo/el-interes-se-centra-en-la-textura/>

Tousif, M. I., Nazir, M., Saleem, M., Tauseef, S., Shafiq, N., Hassan, L., Hussian, H., Montesano, D., Naviglio, D., Zengin, G., & Ahmad, I. (2022). Psidium guajava L. An Incalculable but

- Underexplored Food Crop: Its Phytochemistry, Ethnopharmacology, and Industrial Applications. *Molecules*, 27(20), 7016 <https://doi.org/10.3390/molecules27207016>
- Treviño, G. D. M., Sánchez, A. E. J., Gontes, P. I. C., Wong, P. R., Rojas, R., Martínez, A. G. C. G. (2017). Antioxidant profile of different types of herbal infusions and teas commercially available in Mexico. *American Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences*, 31(1), 67-77.
- Unidad Académica de Arquitectura de Paisaje, Facultad de Arquitectura (FARQ), Psidium guajava L., ejemplar de: Herbario de Plantas Ornamentales Carlos Contreras Pagés (HEFA). En Portal de Datos Abiertos UNAM (en línea), México, Universidad Nacional Autónoma de México. Disponible en: <http://datosabiertos.unam.mx/FARQ:HEFA:03093>
- V. Neveu, J. Perez-Jiménez, F. Vos, V. Crespy, L. du Chaffaut, L. Mennen, C. Knox, R. Eisner, J. Cruz, D. Wishart, A. Scalbert, Phenol-Explorer: una base de datos completa en línea sobre el contenido de polifenoles en los alimentos, **base de datos**, volumen 2010, 2010, bap024, <https://doi.org/10.1093/database/bap024>
- Valencia Avilés E. Efecto de la adición de aceite vegetal y nanocápsulas de un extracto polifenólico de corteza de Quercus crassifolia a un yogurt medidos en hámsteres dislipidémicos [Internet] [Ph.D Thesis]. [Michoacán, Mexico]: Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Disponible en: http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/handle/DGB_UMICH/3713
- Vinayagam, R., & Xu, B. (2015). Antidiabetic properties of dietary flavonoids: A cellular mechanism review. *Nutrition & Metabolism*, 12(1), 60. <https://doi.org/10.1186/s12986-015-0057-7>
- Witting de Penna E. Evaluación Sensorial, Una metodología actual para la tecnología de alimentos. Biblioteca digital de la Universidad de Chile, 2001. http://mazinger.sisib.uchile.cl/repositorio/lb/ciencias_quimicas_y_farmaceuticas/wittinge01/index.html.
- Wolfe, K., Wu, X., & Liu, R. H. (2003). Antioxidant activity of apple peels. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(3), 609-614.
- Yam Tzec, J. A., Villaseñor Perea, C. A., Romantchik Kriuchkova, E., Soto Escobar, M., & Peña Peralta, M. Á. (2010). Una revisión sobre la importancia del fruto de Guayaba (Psidium guajava L.) y sus principales características en la postcosecha. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 19(4), 74-82.
- Zeb, A. (2020). Concept, mechanism, and applications of phenolic antioxidants in foods. *Journal of Food Biochemistry*, 44(9), e13394. DOI: 10.1111/jfbc.13394
- Zuñiga Hurtado, C., Alvarez Cedeño, G., Aguirre Espinosa, A., & Pozo Arcentales, M. (2020). Utilidad del índice aterogénico en la predicción de enfermedades coronarias. *RECIMUNDO*, 4(1(Esp)), 78-89. doi:10.26820/recimundo/4. (1).esp.marzo.2020.78-89

Anexo A. Índice de homogeneidad de los ejes

	Valor
F1	0.313
F2	0.281
F3	0.234
F4	0.219
F5	0.250

Anexo B. Cosenos cuadrados de las observaciones.

El segundo componente principal (F2) está dominado por jueces como J6 (0.756), J22 (0.591) y J29 (0.654), lo que confirma que el aroma se percibe como una dimensión separada en la evaluación sensorial, sugiriendo que algunos jueces fueron más sensibles a este atributo que otros.

La percepción del color es más relevante en el tercer componente (F3), donde jueces como J4 (0.695), J42 (0.634) y J46 (0.805) tienen los valores más altos. Esto indica que la variabilidad en la percepción visual del producto es significativa en ciertos jueces, lo que refuerza la importancia de la apariencia en la aceptación sensorial.

El cuarto componente (F4) está asociado con la percepción táctil del producto, con jueces como J27 (0.681) y J45 (0.620) mostrando valores altos en este factor. Esto sugiere que la textura en boca es un atributo diferenciado en la evaluación sensorial, aunque con menor impacto general que F1 o F2.

Finalmente, el quinto componente (F5) captura variabilidad residual o respuestas atípicas en jueces como J39 (0.248), J47 (0.338) y J15 (0.370), indicando que estos jueces pueden haber evaluado la bebida de manera diferente al resto, lo que podría estar relacionado con factores subjetivos individuales o preferencias personales.

Cosenos cuadrados de las observaciones

	F1	F2	F3	F4	F5
J1	0.883	0.099	0.015	0.002	0.001
J2	0.758	0.004	0.092	0.029	0.117
J3	0.872	0.037	0.023	0.053	0.015
J4	0.253	0.000	0.695	0.001	0.051
J5	0.013	0.404	0.491	0.083	0.009
J6	0.009	0.756	0.121	0.033	0.082
J7	0.857	0.043	0.027	0.051	0.022
J8	0.695	0.038	0.183	0.006	0.079
J9	0.816	0.023	0.052	0.003	0.105
J10	0.225	0.071	0.353	0.085	0.265
J11	0.775	0.011	0.004	0.023	0.187
J12	0.344	0.117	0.434	0.084	0.021
J13	0.593	0.232	0.093	0.048	0.034
J14	0.782	0.129	0.043	0.005	0.041
J15	0.349	0.035	0.006	0.240	0.370
J16	0.215	0.256	0.052	0.430	0.047
J17	0.487	0.335	0.000	0.058	0.120
J18	0.599	0.280	0.006	0.114	0.000
J19	0.284	0.295	0.127	0.177	0.118
J20	0.402	0.005	0.304	0.139	0.149
J21	0.153	0.090	0.748	0.008	0.001
J22	0.265	0.591	0.020	0.117	0.008
J23	0.002	0.671	0.214	0.102	0.011
J24	0.322	0.174	0.460	0.000	0.044
J25	0.102	0.770	0.001	0.050	0.077
J26	0.905	0.011	0.036	0.043	0.005
J27	0.015	0.008	0.033	0.681	0.263
J28	0.868	0.012	0.062	0.008	0.050
J29	0.216	0.654	0.078	0.013	0.039
J30	0.015	0.589	0.005	0.122	0.269
J31	0.931	0.030	0.039	0.000	0.000
J32	0.071	0.389	0.476	0.009	0.054
J33	0.314	0.307	0.018	0.339	0.021
J34	0.669	0.023	0.010	0.273	0.024
J35	0.471	0.300	0.029	0.199	0.002
J36	0.109	0.346	0.474	0.000	0.070
J37	0.364	0.122	0.440	0.074	0.001
J38	0.823	0.006	0.017	0.152	0.002
J39	0.154	0.009	0.588	0.000	0.248
J40	0.702	0.044	0.249	0.000	0.005
J41	0.843	0.139	0.001	0.005	0.013
J42	0.000	0.196	0.634	0.167	0.002
J43	0.908	0.001	0.045	0.032	0.014
J44	0.903	0.086	0.003	0.008	0.000
J45	0.056	0.044	0.004	0.620	0.276
J46	0.005	0.112	0.805	0.023	0.054
J47	0.098	0.062	0.395	0.108	0.338
J48	0.648	0.291	0.009	0.053	0.000
J49	0.297	0.540	0.001	0.079	0.083
J50	0.284	0.295	0.127	0.177	0.118
J51	0.036	0.429	0.229	0.288	0.018
J52	0.735	0.005	0.118	0.126	0.016
J53	0.954	0.024	0.017	0.002	0.003

J54	0.619	0.342	0.039	0.001	0.000
J55	0.013	0.404	0.283	0.067	0.234
J56	0.821	0.004	0.016	0.013	0.147
J57	0.107	0.372	0.371	0.001	0.149
J58	0.036	0.429	0.229	0.288	0.018
J59	0.613	0.313	0.003	0.020	0.052
J60	0.705	0.048	0.238	0.005	0.005
J61	0.980	0.003	0.004	0.012	0.001
J62	0.233	0.078	0.249	0.283	0.157
J63	0.070	0.658	0.253	0.010	0.009
J64	0.649	0.216	0.074	0.056	0.005

Los valores en negrita corresponden para cada observación al factor para el cual el coseno cuadrado es el mayor

Anexo C. Reporte de herramienta antiplagio

 Página 1 of 126 - Portada

Identificador de la entrega (trnoid): 3117-433913596

Sussy Celia González Escalona

Caracterización sensorial y evaluación antioxidante de una bebida potencialmente funcional elaborada

 Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo

Detalles del documento

Identificador de la entrega trnoid::3117-433913596	104 Páginas
Fecha de entrega 25 feb 2025, 12:03 p.m. GMT-6	34,105 Palabras
Fecha de descarga 25 feb 2025, 12:13 p.m. GMT-6	200,386 Caracteres
Nombre de archivo Caracterización sensorial y evaluación antioxidante de una bebida potencialmente funcional ela....pdf	
Tamaño de archivo 3.8 MB	

 Página 1 of 126 - Portada

Identificador de la entrega (trnoid): 3117-433913596

Anexo D. Formato de declaración de originalidad y uso de Inteligencia Artificial.

Formato de Declaración de Originalidad y Uso de Inteligencia Artificial

Coordinación General de Estudios de Posgrado
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo



A quien corresponda,

Por este medio, quien abajo firma, bajo protesta de decir verdad, declara lo siguiente:

- Que presenta para revisión de originalidad el manuscrito cuyos detalles se especifican abajo.
- Que todas las fuentes consultadas para la elaboración del manuscrito están debidamente identificadas dentro del cuerpo del texto, e incluidas en la lista de referencias.
- Que, en caso de haber usado un sistema de inteligencia artificial, en cualquier etapa del desarrollo de su trabajo, lo ha especificado en la tabla que se encuentra en este documento.
- Que conoce la normativa de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, en particular los Incisos IX y XII del artículo 85, y los artículos 88 y 101 del Estatuto Universitario de la UMSNH, además del transitorio tercero del Reglamento General para los Estudios de Posgrado de la UMSNH.

Datos del manuscrito que se presenta a revisión		
Programa educativo	PROGRAMA INSTITUCIONAL DE MAESTRÍA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS	
Título del trabajo	CARACTERIZACIÓN SENSORIAL Y EVALUACIÓN ANTIOXIDANTE DE UNA BEBIDA POTENCIALMENTE FUNCIONAL ELABORADA CON <i>RUBUS FRUTICOSUS</i> L. Y EXTRACTO FENÓLICO NANOENCAPSULADO DE <i>PSIDIUM GUAJAVA</i> L.	
	Nombre	Correo electrónico
Autor/es	SUSSY CELIA GONZÁLEZ ESCALONA	1371664C@umich.mx
Director	HÉCTOR EDUARDO MARTÍNEZ FLORES	hector.martinez.flores@umich.mx
Codirector		
Coordinador del programa	MARTHA ELENA PEDRAZA SANTOS	mae.ciencias.biologicas@umich.mx

Uso de Inteligencia Artificial		
Rubro	Uso (sí/no)	Descripción
Asistencia en la redacción	NO	

Formato de Declaración de Originalidad y Uso de Inteligencia Artificial

Coordinación General de Estudios de Posgrado
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo



Uso de Inteligencia Artificial		
Rubro	Uso (sí/no)	Descripción
Traducción al español	SI	Se utilizó para la traducción de algunos artículos científicos.
Traducción a otra lengua	NO	
Revisión y corrección de estilo	NO	
Análisis de datos	NO	
Búsqueda y organización de información	SI	Se utilizó como apoyo para la estructura del documento.
Formateo de las referencias bibliográficas	SI	Se utilizó para ajustar las referencias en un mismo formato.
Generación de contenido multimedia	NO	
Otro		

Datos del solicitante	
Nombre y firma	Sussy Celia González Escalona 
Lugar y fecha	Morelia, Michoacán 19 febrero 2025 