UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA EN ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGÍA

CARRERA DE BIOTECNOLOGÍA

Tema: Evaluación de la actividad antioxidante de los compuestos extraídos de los residuos agroindustriales de guayaba (*Psidium guajava* L.) como fuente natural de compuestos bioactivos provenientes de una industria de helados del cantón Salcedo, provincia de Cotopaxi

Informe Final del Trabajo de Titulación, Opción Proyecto de Investigación, previo a la obtención del Título de Ingeniero Biotecnólogo, otorgado por la Universidad Técnica de Ambato, a través de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología.

Autor: Sandoval Velasco Roger Ismael

Tutor: Dr. Orestes Darío López Hernández

Ambato – Ecuador

Enero - 2026

APROBACIÓN DEL TUTOR

Dr. Orestes Darío López Hernández

CERTIFICA

Que el presente Informe Final del Trabajo de Titulación ha sido prolijamente revisado. Por lo tanto, autorizo la presentación de este Informe Final del Trabajo de Titulación. Opción Proyecto de Investigación, el mismo que responde las normas establecidas en el Reglamento de Títulos y Grados de la Facultad de Ciencias e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología.

Ambato, 12 de diciembre del 2025



Firmado electrónicamente por:
ORESTES DARIO LOPEZ HERNANDEZ
Validar únicamente con FirmaEC

_____

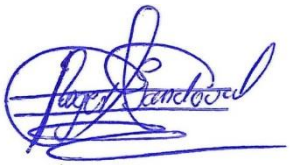
Dr. Orestes Darío López Hernández

1754784864

TUTOR

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Roger Ismael Sandoval Velasco, manifiesto que los resultados obtenidos en el presente Informe Final del Trabajo de Titulación, Opción Proyecto de Investigación, previo a la obtención del título de Ingeniero Biotecnólogo, son absolutamente originales, auténticos y personales; a excepción de las citas bibliográficas.



Roger Ismael Sandoval Velasco

0503181257

AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Informe Final del Trabajo de Titulación o parte de él, un documento disponible para su lectura consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi Informe Final del Trabajo de Titulación, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este, dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.



Roger Ismael Sandoval Velasco

0503181257

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los suscritos profesores calificadores, aprueban el presente Informe Final del Trabajo de Titulación, Opción Proyecto de Investigación, el mismo que ha sido elaborado de conformidad con las disposiciones emitidas por la Facultad de Ciencias e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología de la Universidad Técnica de Ambato.

Para constancia firman:

Firmado electrónicamente por:
LANDER VINICIO PEREZ ALDAS
Validar únicamente con FirmaEC

Presidente del Tribunal

Firmado electrónicamente por:
LILIANA PAULINA LALALEO CORDOVA
Validar únicamente con FirmaEC

Dra. Liliana Paulina Lalaleo Córdova

1803601853

Firmado electrónicamente por:
JOSE HOMERO VARGAS LOPEZ
Validar únicamente con FirmaEC

Dr. José Homero Vargas López

1801978048

Ambato, 07 de enero del 2025

DEDICATORIA

Dedico esta victoria a quién me creó, el alfa, el omega, el Rey de Reyes, a mi Dios, por darme amor, fortaleza y muchas bendiciones para afrontar los peligros y obstáculos de la vida y nunca dejar de perdonarme por las acciones malas y darme su mano para caminar una vez más, pero, sobre todo, porque Él me dio una segunda oportunidad de vida y me convirtió en uno de sus solados de su ejército celestial. A mi Jesús y María Santísima que me salvaron de muchos peligros y amenazas para verme feliz consolándome cuando estaba en situaciones muy difíciles y a punto de rendirme y por su dicha compartir su palabra a donde vaya a las nuevas creaciones con su ejemplo y amor. A mi príncipe San Migue que fue mi ángel de la guarda en donde me encontrase y defenderme en todo momento con su espada y su escudo

A mi padre y mi madre, Hernán Sandoval y Marcia Velasco, por ser el motor de mi vida, mis pilares y quiénes estuvieron alentándome con su gran esfuerzo, su forma de educarme y su forma de cuidarme. Palabras y sus bendiciones al salir y llegar de casa que me daban motivos para seguir adelante a pesar de los problemas que les he generado y un día decirles, papi y mami lo logré, yo gané la batalla, pero ustedes ganaron esta guerra y esta victoria es de ustedes

A mis queridas hermanas, Mary y Samy, que, con sus locuras, abrazos y cariño, me dieron la fuerza necesaria para nunca desmayar en el camino a pesar de las diferencias que hemos tenido. Sus voces, sus chistes y su amor hacia mí siempre ha sido fundamental y necesario para esta persona gruñona

A toda mi familia cercana y lejana, a mi abuelito y mi abuelita, mis tíos, mis tías, primos y primas que siempre veían forma de sacarme una sonrisa y apoyarme con sus buenos deseos. En especial, a mi abuelita, que está en el cielo, que me cuida todos los días y sé que estaría orgullosa de mi

A mis perritos que han pasado en mis manos durante toda una vida a quiénes veían cómo crecía, a quiénes les conversaba mi vida, mi historia, mis tonterías y mis locuras y quiénes consideré mis amigos de viaje

Y a mí, el chico callado, serio y solitario, que nunca pensó llegar tan lejos en la vida, a quien diría a su niño pequeño "nada ha sido fácil, pero lo he logrado"

AGRADECIMIENTO

A mis padres santos, Hernán y Marcia, un ejemplo a seguir. Gracias por su amor, por su cariño y por sus regañadas hacia a mí ya que me formaron y criaron con valores siempre con las palabras mágicas, por favor y gracias. No puedo expresar todo lo que siento y lo grandes que son para mí que daría mi vida por ellos y que pido siempre a Dios dales una vida larga y años a mis padres y no importa si recortas las mías, que no importa si el mundo viene en contra mío porque mientras ellos estén bien, lo demás lo soportaré.

A mis hermanas, a sus voces, a sus travesuras y a las veces que intentaban sacarme una sonrisa, aunque estuviéramos enojados por tonterías. A ellas que son mis dos mágicas princesas, que algún día se irán de casa, pero siempre estarán en mi mente y mi corazón, sin importar nuestras discusiones, peleas o broncas siempre estaré para ellas. Ambas me mostraron el verdadero significado de la canción "Hey, brother" y que no habría nada en este mundo que no podría hacer por ellas

Gracias a mis tías con sus locuras y reflexiones, a mis tíos por su firmeza y compromiso, a mis primos y primas por siempre molestarme con su cariño y amor. No será el más expresivo, pero les guardo en mis oraciones y deseo que siempre estén bien y salgan adelante con sus vidas

A Dr. Orestes López, mi tutor de tesis, a quién le debo mi total agradecimiento por guiarme en el camino de la tesis, por tenerme mucha paciencia en todo el proceso ya que le hecho muchas preguntas, por ser muy profesional conmigo y por ayudarme en cada paso, día y semanas que sí. La verdad es una persona como las que ya no existen

A las ingenieras de los laboratorios que, entre risa y broma, siempre me ayudaban y me aconsejaban para ser lo más eficiente posible con quienes he llegado a formar un lapso de trabajo respetuoso

A cada persona que se cruzó en mi camino y su influenza en mí que me hizo una mejor persona al siempre decirme lo que debo de mejorar. Pero más, a las pocas con las que llegamos a formar un verdadero lapso de amistad sincera y verdadera sin importar la diferencia de edad

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO

APROBACIÓN DEL TUTOR ii

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN iii

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO v

DEDICATORIA vi

AGRADECIMIENTO vii

ÍNDICE DE TABLAS xi

INDICE DE FIGURAS xii

INDICE DE ANEXOS xiv

RESUMEN EJECUTIVO xv

ABSTRACT 1

CAPÍTULO I.- MARCO TEÓRICO 2

1.1. Antecedentes investigativos 2

1.1.1. Justificación 2

1.1.2. Problemática ambiental de residuos agroindustriales por generación de residuos en industrias alimentarias 2

1.1.3. Residuos frutales en la industria de helados como fuente de componente funcionales 2

1.1.4. Características principales de la guayaba *(Psidium guajava* L*)* 4

1.1.5. Caracterización de compuestos de la semilla de guayaba *(Psidium guajava* L*)* 6

1.1.6. Compuesto bioactivos presentes 7

1.1.7. Aplicaciones industriales de compuestos polifenólicos 9

1.1.8. Beneficios del consumo de compuestos polifenólicos 11

1.1.9. Aplicaciones industriales de compuestos polifenólicos 12

1.1.10. Métodos de extracción de compuestos polifenólicos 12

1.1.11. Determinación de polifenoles por el método de Folin-Ciocalteu 14

1.1.12. Microencapsulación 15

1.1.13. Técnicas de microencapsulación 16

1.1.14. Capacidad antioxidante 19

1.1.15. Aplicaciones industriales de compuestos antioxidantes 20

1.1.16. Eficiencia de microencapsulación 21
1.1.17. Métodos de evaluación de la actividad antioxidante 21
1.2. Objetivos 22
1.2.1. Objetivo general 22
1.2.2. Objetivos específicos 22
1.3. Hipótesis 23
1.3.1. Hipótesis nula 23
1.3.2. Hipótesis alternativa 23
1.4. Variables 23
1.4.1. Variables independientes 23
1.4.2. Variables dependientes 23
CAPÍTULO II.- METODOLOGÍA 24
2.1. Materiales 24
2.1.1. Material vegetal 24
2.1.2. Reactivos 24
2.1.3. Materiales de laboratorio 24
2.1.4. Equipos 25
2.2. Metodología 25
2.2.1. Obtención de extractos de guayaba provenientes de residuos agroindustriales mediante técnicas de extracción para un tratamiento y acondicionamiento adecuado 25
2.2.1.1. Obtención y transporte de la materia prima 25
2.2.1.2. Separación y selección del material útil 26
2.2.1.3. Proceso de secado y pesaje de la materia prima 26
2.2.1.4. Molinado del material vegetal seco 27
2.2.1.5. Pesaje de muestras 27
2.2.2. Determinación de la cantidad polifenólica presente en los extractos resultantes mediante espectrofotometría UV-VIS para la identificación de la mezcla extractiva más eficiente 27
2.2.2.1. Selección de disolvente químico óptimo para la extracción de compuestos polifenólicos 27
2.2.2.2. Elaboración de curva de calibración con ácido gálico 30
2.2.2.3. Cuantificación del contenido polifenólico mediante la técnica de Folin Ciocalteu 31

2.2.2.4. Método experimental 32 para la extracción de compuestos antioxidantes..... 31
2.2.3. Implementación de un proceso de microencapsulación en extractos optimizados mediante secado por aspersión para la evaluación de su encapsulación y actividad antioxidante 33
2.2.3.1. Evaporación del disolvente 33
2.2.3.2. Microencapsulación y secado por aspersión 33
2.2.3.3. Determinación cualitativa de la eficiencia de microencapsulación por espectroscopia infrarroja..... 33
2.2.3.4. Determinación cuantitativa de la eficiencia de microencapsulación 34
2.2.3.5. Evaluación de actividad antioxidante del polvo microencapsulado por método de DPPH *in vitrio* 35
CAPÍTULO III.- RESULTADO Y DISCUSIÓN 37
3.1. Análisis y discusión de resultados..... 37
3.1.1. Evaluación del material húmedo y seco..... 37
3.1.2. Mezclas extractivas empleadas 37
3.1.3. Diseño experimental 32 para extracción de compuestos polifenólicos..... 39
3.1.4. Eficiencia cuantitativa de la microencapsulación 44
3.1.5. Inhibición de DPPH 45
3.1.6. Espectro infrarrojo comparativo de microencapsulado, no microencapsulado y mezcla de polímeros 46
3.2. Verificación de hipótesis 49
4. CAPÍTULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....49
4.1. Conclusiones 49
4.2. Recomendaciones..... 50
5. Materiales de referencia.....50
5.1. Referencias bibliográficas 50
6. Anexos.....60

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Demanda histórica. 3
Tabla 2. Cifras proyectadas al 2023 del ciclo de la vida del producto. 3
Tabla 3. Taxonomía de Guayaba (*Psidium guajava* L). 4
Tabla 4. Composición química de Guayaba (*Psidium guajava* L). 7
Tabla 5. Compuestos bioactivos encontrados en la guayaba (*Psidium guajava* L). 8
Tabla 6. Condiciones y corridas de diseño experimental propuesta. 32
Tabla 7 Estados de residuos antes y después de secado. 37
Tabla 8. Diseño Experimental para mejor tratamiento de extracción. 40
Tabla 9. Resultados de eficiencia de microencapsulación. 44
Tabla 10. Resultados del porcentaje de inhibición. 45

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Capas de guayaba (Psidium guajava L). 5
Figura 2. Posibles modos de coordinación de compuestos fenólicos con iones metálicos (M). . 10
Figura 3. Técnicas de extracción de compuestos polifenólicos. 13
Figura 4. Características de material de recubrimiento en microencapsulación. 16
Figura 5. Técnicas de microencapsulación. 18
Figura 6. Diagrama de Pareto de cuantificación de compuestos polifenólicos en distintos tratamientos. 38
Figura 7. Diagrama de Pareto de efectos relacionados. 42
Figura 8. Gráfica de superficie. 43
Figura 9. Espectro comparativo. 46

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Cálculo de concentración de extracto. 29
Ecuación 2. Corrección de contenido fenólico. 29
Ecuación 3. Cálculo del contenido total por gramo de muestra seca. 29
Ecuación 4. Fórmula de desviación estándar. 30
Ecuación 5. Porcentaje de eficiencia de microencapsulación. 35
Ecuación 6. Fórmula de % inhibición de DPPH. 36
Ecuación 7. Fórmula de porcentaje de liberación. 36

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Recolección de residuos agroindustriales. 60
Anexo 2. Estado inicial de semillas de guayaba. 61
Anexo 3. Curva de calibración de ácido gálico. 61
Anexo 4. Curva de calibración de Trolox. 62
Anexo 5. Ecuación de porcentaje de inhibición de DPPH. 62
Anexo 6 Ecuación de porcentaje de inhibición por ABTS. 62
Anexo 7 Ecuación de inhibición por FRAP. 63
Anexo 8. Ecuación de inhibición por ORAC. 63
Anexo 9. Espectro de sólidos concentrados. 63
Anexo 10. Espectro de concentrado microencapsulado. 64
Anexo 11. Espectro de material de microencapsulado. 64

RESUMEN EJECUTIVO

La problemática del aumento de población y aumento de necesidades alimenticias han provocado que muchas empresas de helados tiren sus residuos sin conocer la gran oportunidad del aprovechamiento de estos como la guayaba para la obtención de compuestos polifenólicos con capacidad antioxidante. Estos pueden aportar soluciones eco-friendly y sostenibles a industrias como farmacéutica, alimentaria y biotecnológica. En los procesos respectivos, se dio la recolección y acondicionamiento de semillas residuales de la fruta y se cuantificó los compuestos de interés a diferentes relaciones material vegetal – disolvente y tiempo de extracción siendo etanol al 70% por 30 minutos como mejor opción y obteniendo cantidades superiores a los 400 mg GAE por gramo extraído. Por siguiente, las muestras resultantes fueron microencapsulados con goma arábica como encapsulaste y se determinó de forma cuantitativa, logrando un 69,5 por ciento, y de forma cualitativa por la técnica de FTIR (espectrofotómetro infrarrojo). Finalmente, se realizó la cuantificación de porcentaje de inhibición de DPPH resultando un 92,59 por ciento en sólidos concentrados y 50,17 por ciento en el microencapsulado. Esto demuestra la relación existente entre el tratamiento realizado con el tipo de fruta utilizado y que pueden contener diversos compuestos de interés científico y comercial siendo una nueva fuente de extracción de compuestos bioactivos. De esta forma, el propósito de la ejecución del proyecto es aprovechar las semillas de guayaba como fuente natural de compuestos bioactivos hacia la formación de productos de interés industrial.

Palabras clave: residuos agroindustriales, guayaba, compuestos bioactivos, extracción, microencapsulación, secado por aspersión

ABSTRACT

The challenges of population growth and increased food demands have led many ice cream companies to discard their waste, unaware of the significant opportunity presented by the extraction of polyphenolic compounds with antioxidant capacity, such as guava. These compounds can provide eco-friendly and sustainable solutions for industries like pharmaceuticals, food, and biotechnology. In the respective processes, residual seeds from the fruit were collected and conditioned, and the compounds of interest were quantified at different plant material-solvent ratios and extraction times. 70 percent ethanol for 30 minutes proved to be the best option, yielding quantities exceeding 400 mg GAE by g extracted. Subsequently, the resulting samples were microencapsulated with gum arabic as the encapsulant and their concentration was determined quantitatively, achieving 69,5 percent, and qualitatively using FTIR (infrared spectrophotometry). Finally, the percentage of DPPH inhibition was quantified, resulting in 92.59 percent in the concentrated solids and 50.17 percent in the microencapsulated product. This demonstrates the relationship between the treatment performed and the type of fruit used, which can contain various compounds of scientific and commercial interest, representing a new source for the extraction of bioactive compounds. Thus, the purpose of this project is to utilize guava seeds as a natural source of bioactive compounds for the development of products of industrial interest.

Keywords: waste, guava, bioactive compounds, extraction, microencapsulation.

CAPÍTULO I.- MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes investigativos

1.1.1. Justificación

La elaboración y transformación de las pulpas de frutas para productos alimenticios provoca resultados secundarios en cuanto al descaramiento de partes inservibles a nivel mundial provocando que exista alteraciones en cuerpos de agua y suelo, fauna y flora y efectos de gases como afectaciones económicas para los productores y comunidades al no ser manejados correctamente (Santos et al., 2021). Entre una de ellas está la fruta de guayaba (*Psidium guajava* L), específicamente, sus semillas que se consideran una fuente de compuestos bioactivos de gran interés ya sea por su contenido polifenólico o su variedad en ácidos fenólicos otorgando así una gran actividad antioxidantes las cuales puede actuar como fuente orgánica rica en antioxidantes (Thiyagarajan et al., 2024). Además, esta se prioriza como una nueva rica a comparación de materiales sintéticos o de uso tradicional ya sea por su rapidez, precios, costos entre otras razones dando en sí preocupaciones sobre la toxicidad al implementarlos como es el caso del BHT (butilhidroxitolueno) (Guitiérrez et al., 2021).

1.1.2. Problemática ambiental de residuos agroindustriales por generación de residuos en industrias alimentarias

En el mundo globalizado, diferentes industrias están bajo presión acorde a la demanda pública en servicios, atención y calidad. Una de ellas es una industria alimentaria que se enfrenta a la problemática de la creciente demanda poblacional provocando que la fabricación y procesamiento de alimentos deba garantizar la calidad de productos y su elaboración bajo estándares de calidad y seguridad alimentaria que pueden volverse estrictos cada año (Rahut et al., 2022)**.** La estimación para el 2050 en China e India menciona que, en esta, habrá un crecimiento considerable de habitantes provocando amentos considerables de producción y, por consecuencia, más residuos (Mottaleb et al., 2023). Estos pueden venir de del tratamiento de frutas, cereales y vegetales donde los mismos son desechados como material secundario sin ningún tratamiento o proceso representando ciertas pérdidas económicas, así como recursos valiosos y aumento de riesgos ambientales debido a la influencia y alteración que pueden alterar el funcionamiento del ciclo de la naturaleza afectando tanto a las personas como fauna y flora.

1.1.3. Residuos frutales en la industria de helados como fuente de componente

funcionales

La industria de helados, perteneciente al sector agroalimentario, usa una diversidad de frutas como materia prima para la elaboración de helados, entre estas, mango, aguacate, mora, banana, frutilla, etc, al ser de fácil acceso y no requerir de grandes costos. Durante su procesamiento, se genera una considerable cantidad de material secundario, principalmente, cáscaras, semillas y pulas residuales. De hecho, se considera que, en Salcedo, la empresa CORPICECREAM S.A ha mostrado un crecimiento del 10% en cuanto al consumo de helados desde el año 2017 llegando incluso hasta cifras de proyección de $4.451.112,00 para el 2023 en cuanto a la producción por año. Esto implica que la generación de residuos ya mencionados puede aumentar significativamente durante estos últimos años que continúan con un tratamiento de residuos a nivel de eficiencia (Costo et al., 2022).

Tabla 1.

Demanda histórica.

Año	Producción
2017	*2.125.764,00*
2018	*2.361.960,00*
2019	*2.624.400,00*
2020	*2.916.000,00*
2021	*3.240.000,00*

Nota: *Empresa CORPICECREAM S.A.*

Tabla 2.

Cifras proyectadas al 2023 del ciclo de la vida del producto.

Año	Cantidad
2019	*3.243.240,00*
2020	*3.545.208,00*
2021	*3.47.176,000*
2022	*4.149.144,00*
2023	*4.451.112,00*

Nota: *Empresa CORPICECREAM S.A.*

Estos desechos extraídos pueden influenciar en el medio ambiente de forma negativa ya que son eliminados sin algún tratamiento previo como la afectación de la flora y fauna del suelo y cuerpos de agua. Sin embargo, diversos estudios se han centrado en balizar más estos residuos ya que pueden ser una fuente basta de componentes bioactivos útiles y ser usados en el desarrollo de compuestos funcionales (Goswami et al., 2024).

Los componentes de estas frutas van desde proteínas a compuestos útiles para aplicación de farmacéuticos empezando por sus propiedades antioxidantes, antiinflamatorias y antimicrobianas juntos con otros flavonoides y nobiletina. A nivel industrial esto puede transformarse en varios productos comerciales como MARNYS® Nobiletil.

1.1.4. Características principales de la guayaba *(Psidium guajava* L*)*

Esta fruta es considerada como una fruta versátil debido a su gran capacidad de adaptación a una variedad de climas y suelos alrededor del mundo, especialmente las zonas consideradas como subtropicales y tropicales.

Tabla 3.

Taxonomía de Guayaba (Psidium guajava L*).*

Categoría	Nombre
Order:	*Myrtales*
Family:	*Myrtaceae*
Genus:	*Psidium*
Species	*guajava*

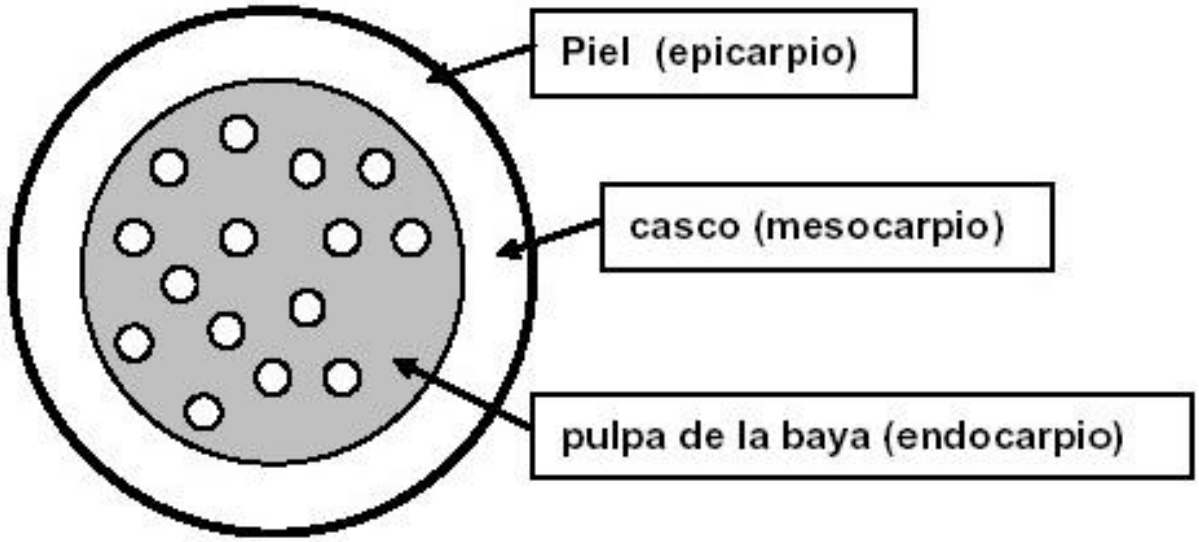
Nota: *Información extraída de (Hussain et al., 2021).*

En la misma se ha determinado ciertos factores y condiciones para su desarrollo empezando por su temperatura ideal que consta en un rango de 23 ºC a 26 ºC sin la necesidad de una gran cantidad de agua. Sin embargo, es necesario que, durante la etapa de florescencia, requiere de una cantidad entre 1000 a 2000 mm de lluvia acorde a una lluvia de forma distribuida equitativamente. Adicionalmente, la misma puede crecer en diferentes tipos de suelo empezando por los arcillosos, gravosos y calcáreos, con ciertas normas y dentro del rango entre 4,5 a 9,4 como pH (Hussain et al., 2021). En cuanto a su morfología esta contiene una forma ovalada a elíptica con un tamaño

aproximado entre 5 a 10 cm de diámetro con un ancho entre 3 a 5 cm con un peso de 50 a 200 g, especificaciones que varían de acuerdo a su especie y lugar de cultivo.

Figura 1.

Capas de guayaba (Psidium guajava L*).*



Nota: *Imagen extraída de (Marquina et al., 2008).*

En cuanto a la superficie externa delgada, esta contiene una coloración amarrillo claro combinado con un tono rosado ligero que se conoce como exocarpo o epicarpio. Al lado de este, se encuentra el mesocarpio que, en otras palabras, es la parte carnosa del fruto con una extensión de 3 a 12 mm siendo granulosa, gruesa con una tonalidad blanca con tendencia a ser amarillenta o un rosa oscuro, además, puede considerarse como jugoso, sabroso y ácido. Posteriormente, se encuentra la pula central, o conocida como endocarpio caracterizado por ser ligeramente más oscuro y en donde se encuentran las semillas amarillentas y duras que varían en una cantidad desde 112 a 535 semillas; en esta última se encuentra dos tipos de tejidos de pared celular y que son partícipes en distintas funciones (Bylappa & Nag, 2025). Las primeras son células pétreas que están elaboradas por material leñoso lignificado que son responsables de la textura granulosa en el aspecto de la fruta y las vuelve resistentes hacia la digestión enzimática mientras que las segundas son las células parenquimatosas que son encargadas del almacenamiento de agua, almidón, entre otras (Bylappa & Nag, 2025).

1.1.5. Caracterización de compuestos de la semilla de guayaba *(Psidium guajava* L*)*

Ha sido llamada como la "Reina de las frutas" debido a la gran cantidad de compuestos y nutrientes de interés científico y comercial ya que es una fuente considerable de diferentes proteínas, vitaminas, lípidos, entre otros compuestos a diferencia de muchas otras frutas volviéndose vita y fundamental el estudio y aprovechamiento de sus partes a diferentes aplicaciones industriales. Dentro de esta fruta se encuentra los carbohidratos donde se reporta que su contenido total es de 14,3 g con un valor dietético de, aproximadamente, el 5% lo que le conduce a ser una fruta que es de bajo índice glutámico (Kumar et al., 2020). Entre su contenido de azúcar, esta se ha determinado que puede contener en total 9 g siendo un 35,7% en forma de glucosa, 5,3% en forma de sacarosa y 58,9% en forma de fructosa tornándose como el azúcar principal dentro de la fruta por cada 100 gramos.

Por otra parte, se menciona que la misma es una fuente alta de proteínas con un valor cercano a los 2,5 g de peso en cuanto a la fruta esté fresca siendo que el aminoácido principal y el más abundante es el ácido glutámico con 333 mg seguido de leucina obteniendo 171 mg y seguidas por ácido aspártico, glicina y valina con 162, 128 y 128 respectivamente por cada 100 gramos de proteína al igual que lisina, leucina, isoleucina, fenilalanina, alanina, serina e histidina (Eswaran U & Srivastav, 2023).

En la parte de lípidos, la misma puede contar con una cierta cantidad considerable de grasa siendo 1,6 g por cada 100 g de fruta acompañado de un valor dietético menor al 2%. No obstante, la mayor parte de grasa está presentada en forma poliinsaturada correspondientes, mayoritariamente, al ácido graso linoleico ($\omega - 6$) $\boldsymbol{C_{18}H_{32}O_2}$ y al ácido graso α-linolénico (w-3) $\boldsymbol{C_{18}H_{30}O_2}$ presentes siendo el valor de 475 gramos y 185 gramos por cada 100 gramos del peso de la fruta fresca comestible, respectivamente.

Mientras que en las vitaminas se han encontrado una gran variedad de vitaminas exceptuando la vitamina D a diferencias de la vitamina C (ácido ascórbico) que contiene 337 mg por cada 100 gramos. Esta cantidad ha llegado a superar a las condiciones, normativas y recomendaciones de la cantidad de consumo diario recomendado de vitamina dada por la FDA (Administración de Alimentos y Medicamentos) debido a que excede en un 628% de contenido de vitamina C a lo recomendado que es 90 mg en hombre y 75 mg en mujeres.

Finalmente, esta puede contener diferentes minerales y sustancias como un contenido considerable de potasio, calcio, cobre y magnesio y bajo en sodio como se puede observar con la Tabla 4.

Tabla 4.

Composición química de Guayaba (Psidium guajava L*).*

Nutrientes	Por 100 g
Calorías	68 kcal
Proteínas	2,55 g
Lípidos totales	0,95 g
Carbohidratos	14,23 g
Humedad	88,1 g
Fibra dietética total	2,4 g
Valor calorífico	285 kJ
Calcio	18 mg
Hierro	0,26 mg
Sodio	2 mg
Potasio	417 mg
Zinc	0,23 mg
Selenio	0,6 mg
Tiamina	0,067 mg
Riboflavina	0,04 mg
Niacina	1,084 mg
Vitamina A	624 IU
β-caroteno	374 μg
Vitamina C	228,3 mg
Vitamina E α-tocoferol	0,73 mg
Vitamina K filoquinona	2,6 μg

Nota: *Información extraída de* (Hussain et al., 2021).

1.1.6. Compuesto bioactivos presentes

Los compuestos bioactivos más representativas son los carotenoides al igual que los polifenoles donde, ese último, está en un porcentaje mayor al de 2,62% lo que es igual a 126,4 mg por cada

100 mg de peso fresco de la fruta. La representación más basta de los antioxidantes se encuentra en forma de taninos condensados a un 65%, también llamados como proantocianidinas, que son polímeros de cadena alargada unida principalmente de flavan-3-oles (catequina y epicatequina) ya que los amplios grupos hidroxilos tienen la capacidad de neutralizar radicales libres de forma muy eficiente sin contar que puede inhibir algunas enzimas que provocan inflamación o formar parte de las proteínas de la pared celular de bacterias. Otro dato, es que, de acuerdo a investigaciones, se ha logrado identificar más de 150 compuestos bioactivos en la fruta escogida que han sido caracterizados (Tabla 5)

Tabla 5.

Compuestos bioactivos encontrados en la guayaba (Psidium guajava L*).*

Compuesto	Significado	Función	Lugar donde se encuentra	Referencia
Benzaldehído	Aldehído aromática (volátil)	Atribución del aroma frutal Actividad antimicrobiana	Pulpa y piel	(Chandana et al., 2025)
$\boldsymbol{\alpha - copaeno}$	Sesquiterpeno	Compuesto volátil del aroma Defensa vegetal (señalización)	Hojas y frutos	(Zhang et al., 2022)
Mirceno	Monoterpeno	Funcionamiento en la defensa y protección del fruto	Fruto y pula	(Hussain et al., 2021)
Acetato de 2-metilpropilo	Éster volátil	Fundamental en el aroma de la fruta	Pulpa	(Anand et al., 2020)
Acetato de hexilo	Éster volátil	Contribuyente del olor dulce	Pulpa y piel	(Pino & Trujillo, 2021)

Decanoato de etileno	Éster de cadena larga	Aporta al aroma fruta	Perfil volátil	(Hussain et al., 2021)
$\boldsymbol{\beta - cariofileno}$	Sesquiterpeno	Actividad antimicrobiana y señal de defensa	Hojas y en volátiles de fruto	(Ling et al., 2022)
$\boldsymbol{\alpha - humuleno}$	Sesquiterpeno	Actividad antiinflamatorio y antimicriobiano	Hojas y aceites esenciales	(Aly et al., 2022)
Leucocianidina	Compuesto fenólico no volátil	Precursor de taninos, proantocianidas, contribuye al olor y astringencia	Tejidos con alta concentración de polifenoles, semilla y piel	(Zheng et al., 2021)
Galocatequina	Compuestos fenólico	Potente antioxidante, precursor de taninos	Semilla y piel	(Kumar et al., 2021)

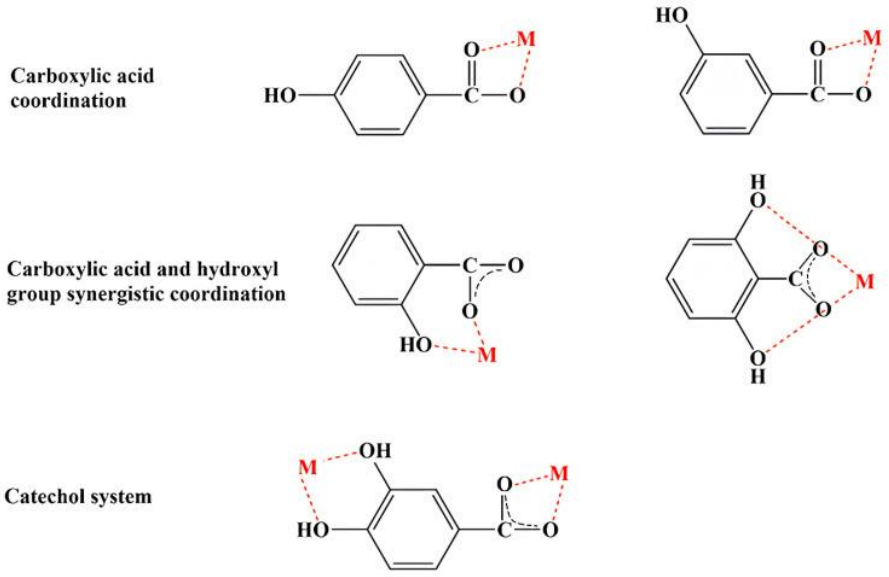
1.1.7. Aplicaciones industriales de compuestos polifenólicos

Los polifenoles son considerados como compuestos orgánicos hidrosolubles que pueden contener diferentes unidades estructurales fenólicas que son producidas químicamente por plantas otorgándoles el nombre de fitoquímicos contando con una gran cantidad de grupos hidroxilos (-OH) unidos a cada anillo aromático que es dependiente de cierto tipo de frutas. Las mismas son uno de los mayores grupos de sustancias no energéticas en los alimentos (J. Chen et al., 2020). Estos pueden reaccionar con algunos tipos de antioxidantes que solo contengan un electrón donde se puede disminuir la formación de ciertos radicales libres ya que los procesos respectivos en cuanto a la oxidación con un solo electrón pueden considerarse como el punto principal para dar diversas reacciones que puedan transformarse en productos. Por ejemplo, el poder interactuar de

forma directa con iones metálicos, como lo es el Fe^{2+}, le da importancia a su bioactividad como se reporta en la figura 2 (Kumar et al., 2021).

Figura 2.

Posibles modos de coordinación de compuestos fenólicos con iones metálicos (M).



Nota: *Imagen obtenida de (Z. Chen et al., 2024).*

De forma generalizada, estos pueden actuar de formas específicas ya sea como en el desarrollo de la planta y fruta, defensa contra patógenos y plagas e interacciones ecológicas con el medio ambiente ya que contienen una diversidad de compuestos que proporcionan lo necesario para esto. Es así que los compuestos provienen de la sintetización por medio de la vía del shikimato empezando con un proceso de condensación del fosfoenolpiruvato y eritrosa 4-fosfato que dan como resultado a la formación del ácido shikímico para que, este último, pueda producir los aminoácidos aromáticos pertenecientes de la fenilalanina, tirosina y triptófano. Cabe resaltar que la fenilalanina es un precursor importante para la producción de los mismos usando la vía de los fenilpropanoides. Por otro lado, existe otra vía metabólica correspondiente a la vía del policétido o acetato – malonato en otras palabras por medio del uso de acetil – CoA o malonil-CoA dando como resultados una cantidad considerables de estructuras polifenólicas abarcando antibióticos y toxinas y resultados como la formación de aflatoxinas presentes en diversos hongos donde estas pueden contribuir en varios mecanismos de defensa, supervivencia a distintos tipos de estrés (Chen et al., 2024).

1.1.8. Beneficios del consumo de compuestos polifenólicos

El consumo de las frutas es muy recomendado por los especialistas a nivel mundial frente a la gran problemática de contaminación bacteriológica en las comidas mal preparadas. Así, el consumo de la fruta mencionada como sus semillas es una fuente natural que puede ofrecer diversos beneficios en ciertos ámbitos y donde estas podrían contribuir en varias actividades de la salud y físicas.

Una de ellas es la actividad quimiopreventiva debido a cierta actividad anticancerígena por medio de un bloqueo a las células involucradas en los crecimientos de tumores malignos, así como su metástasis donde está involucrados el licopeno, triterpenoides, quercetina y la vitamina C (Lok et al., 2020). El primero de ellos actúa a través de un proceso de neutralización contra los radicales libres liberados en el cuerpo humano dando paso a la apoptosis e inhibiendo el proceso de metástasis para poder prevenir una posible acumulación de estrés oxidativo. Por otra parte, el mismo está presente en el aumento progresivo del potencial antioxidante ya que estimula de forma directa la formación de enzimas citoprotectoras que pueden atacar a prooxidantes y electrófilos-, incluso (Hussain et al., 2021) reporta que la aplicación de un extracto puede reducir de forma significativa los niveles séricos del antígeno prostático específico como resultado de tratamientos aplicados a modelos animales de laboratorio.

Otro ejemplo de los beneficios del consumo de sus semillas se lo puede encontrar en el bajo índice glucémico acompañado de su contenido amplio de fibra debido a que controla considerablemente los niveles de picos altos y repentinos de azúcar y puede estimular el proceso de absorción de carbohidratos en el cuerpo consecuente del aumento a la sensibilidad de la insulina y que se pueda dar una disminución considerable a los niveles existentes de glucosa dentro de la sangre, respectivamente. Así mismo, esta fibra puede provocar una disminución en la cantidad de niveles de lipoproteínas de baja densidad al unísono del colesterol total (Ijarotimi & David Oluwajuyitan, 2020).

Por otra parte, las enfermedades cardiacas, pueden ser influenciadas positivamente por el consumo de sus pepas es que pueden llegar a regular la presión arterial en las personas que presenten un cuadro de hipertensión gracias a la baja cantidad de sodio presente con su contraparte que es el potasio. Esto se debe a que el consumo de sodio en cantidades mayores puede provocar el engrosamiento de las paredes de los vasos sanguíneos ejerciendo una presión alta sobre el flujo sanguíneo (Hussain et al., 2021). La solución a esto, y como mejor sustituto, está el potasio ya que

realiza un proceso de intercambio entre los dos últimos elementos mencionados, es decir, entre mayor sea el consumo de potasio, una cantidad mayor será excretado en la orina. Finalmente, además de prevenir el endurecimiento de los vasos, este beneficia al relajamiento de los músculos vasculares y cardiacos dando como resultado una disminución en la resistencia al flujo sanguíneo (Kumar et al., 2021).

Otro de sus beneficios está concentrado en mejorar la salud oftálmica afrontado enfermedades y problemáticas como las cataratas y generación macular gracias a un contenido alto de la vitamina A que contiene licopeno y un β – caroteno. Adicionalmente, un elemento de esta misma vitamina que corresponde al retinol es indispensable para la presencia de la rodopsina que brinda una mejor visión nocturna (Anand et al., 2020).

1.1.9. Aplicaciones industriales de compuestos polifenólicos

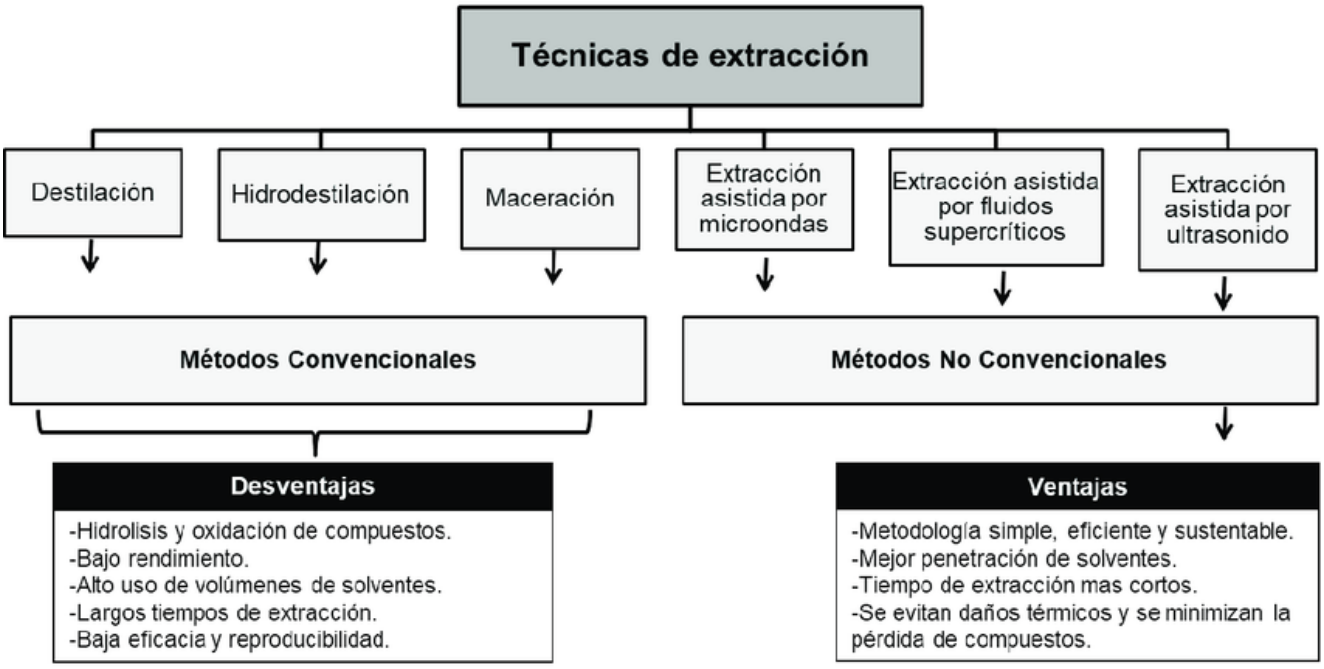
Los compuestos polifenólicos que abarca un amplio contenido de compuestos ha sido utilizado en diferentes industrias como prototipos o base de productos para distintas elaboraciones. Gracias a sus cualidades mencionadas anteriormente, estas han sido aplicables en varias industrias, aunque no es tan conocida como otros compuestos o uso de otros tipos de frutas. Una de las industrias donde más se ha consumido, es la industria alimentaria en forma de aceite de semilla donde resultó que hay un mejor rendimiento de aceite con disolventes específicos de un 13,63% a diferencia de una extracción con dióxido de carbono supercrítico donde este beneficio recae en el índice bajo de acidez obteniendo un resultado de $0{,}40 \pm 0{,}02\ mg\ KOH/mg$ y un índice de peróxido con un $0{,}62 \pm 0{,}05\%$ (Kapoor et al., 2020).

1.1.10. Métodos de extracción de compuestos polifenólicos

Se conoce que para obtener los compuestos bioactivos de cualquier fruta se necesita de, en dependencia de la cantidad presente de recursos disponibles. Uno de los métodos que están tomando fuerza y relevancia es llamado: “extracción por ultrasonido” (UAE) donde, básicamente, utiliza el fenómeno de la cavitación acústica por medio de las ondas sonoras de una frecuencia alta que pueda alterar, desestabilizar y romper las paredes de las células provocando que exista mayor liberación de compuestos deseados (Wani & Uppaluri, 2022).

Figura 3.

Técnicas de extracción de compuestos polifenólicos.



Nota: *Información tomada de (Matiacevich et al., 2023).*

Otro método característico se denomina la extracción con CO_2 supercrítico que se utiliza para la extracción de aceites dando como resultado una serie de compuestos de interés como lo son el ácido liconeico, oleico, firoesteroles, tocoferoles, entre otros, utilizando un compuesto de dióxido de carbono llegando a estar por encima del punto crítico, es decir, en condiciones superiores a 31,1 ºC y 73 atmósferas (Narváez et al., 2020). Por otra parte, se tiene a la extracción asistida por microondas (MAE) que se considera un método indirecto de calentamiento tornándolo más determinante en la aceleración de la transferencia de calor y así poder reducir el gradiente térmico tornándose libre de cualquier disolvente, pureza considerablemente alta, energía reducida y un tiempo menor a su consumo (Alvi et al., 2022).

Un método adicional que está siendo tendencia por su uso y por su cooperación eco-friendly es el Ultra-Turrax ya que, mayoritariamente, trabaja solo con trituración mecánica de forma intensa con su respectivo rotor y cuchillas afiladas que logra alcanzar 5.000 a 25.000 rpm provocando grandes fuerzas de cizallamiento rompiendo la pared celular en el proceso lo que provoca que exista una

reducción notoria en el tiempo de uso. Sin embargo, los métodos descritos con anterior, pueden presentar algunos problemas como es la elevación de temperatura por fricción, etapas adicionales de filtración, entre otras; así aparece el método tradicional de solventes llamada metodología de Superficie de Respuesta (MSR) ya que utiliza las relaciones entre diversos componentes como lo es temperatura y tiempo o tipo de disolvente y materia sólida y concentraciones de extractos con la finalidad de obtener la mayor cantidad de compuestos bioactivos necesarios gracias a una planificación argumentada y planificación de experimentos de forma eficiente (Dang et al., 2024).

1.1.11. Determinación de polifenoles por el método de Folin-Ciocalteu

En la determinación de polifenoles es importante conocer la cantidad real de su contenido que se convertirá en una base de formación de nuevos productos a nivel industrial y nuevas aplicaciones en investigaciones. Es necesario partir de las técnicas de colorimetría donde destacan por ser las más usadas para la cuantificación total de polifenoles ya que permiten una medición aproximada del color donde puede tornarse en un sistema numérico siempre y cuando se sustituya las respuestas subjetivas con referencia a los colores (Cooper et al., 2013). Estas técnicas deben cumplir con 3 parámetros:

- Naturaleza de iluminación
- Propiedades ópticas del objeto en cuestión
- Respuesta del ojo humano

Es así que la técnica colorimétrica de Folin-Ciocalteu cumplimiento a estos parámetros y uno de los más usados a nivel internacional ya que se considera un reactivo cromogénico óptimo que cumple con los estándares internacionales existentes (ISO 14502-1:2005). La misma tiene la capacidad de oxidar los grupos –OH. Además, se necesita de una curva de calibración que pueda acompañar, matemáticamente, al proceso mencionado donde el ácido gálico se presenta como el más óptimo debido a que muestra una capacidad reductora predecible y alta por un mecanismo de reacción de óxido-reducción ya que contiene una mezcla entre el ácido fosfomolíbdico y fosfotúngstico al tener iones específicos de molibdeno y wolframio con un estado de oxidación en un alto estado (Pérez et al., 2023). Su contenido, junto con el reactivo mencionado se adecuada a los métodos estándares internacionales (ISO 14502-1:2005) y aún es usado como un método tradicional seguro ya se los resultados muestran una buena precisión (Sun et al., 2022)

Sin embargo, solución se torna muy ácida para el tratamiento respectivo lo que conlleva a utilizar un reactivo y que se cree un medio básico como el carbonato de sodio (Na_2CO_3) al 7,5% de concentración donde su reacción con el reactivo antes mencionado provoca que el potencial hidrógeno pueda subir hasta el 10 por medio del removimiento de los protones (H^+) que presenta los grupos hidroxilo ($-OH$) del ácido gálico donde puede actuar como catalizador químico donde incluso se recomienda que esté en una concentración del 7,5% (Amaral et al., 2021).

1.1.12. Microencapsulación

Se considera a la microencapsulación como una tecnología en referente a la protección de compuestos de interés y que puede ser usado en cuanto a la liberación de compuestos bioactivos. Básicamente, estos compuestos son atrapados dentro de ciertos materiales como la goma arábica o maltodextrina para formar microcápsulas limitando la interacción con factores ambientales como bacterias, temperatura excesiva, aire, entre otras. Al considerarse como una técnica sensible se debe tener cuidado en ciertos factores como lo es el tipo de material tanto del núcleo como la pared, el tamaño de partículas deseadas o esperadas, resistencias a las temperaturas elevadas y a estados físicos. Esta técnica puede contener diferentes beneficios en cuanto a limitar la tasa de transferencia del material objetivo proveniente del núcleo en la parte exterior, así como el control parcial de la liberación y el manejo de una forma más fácil (Dumitraşcu et al., 2021).

Los beneficios del uso de esta técnica pueden variar de acuerdo a lo que se desea conseguir o para lo que va a ser mencionando el caso de formarse como un ingrediente de fortificación en los alimentos y su fabricación ya que puede acumular una gran cantidad de fibra dietética gracias a la función de los carotenoides (Otálora et al., 2022). Las cualidades de estas deben ser potencialmente no afectivo, es decir, que no debe afectar al producto en lo más absoluto y ser insípido, impermeable y con la capacidad de liberación controlada del contenido en un específico momento acorde a un tiempo y en un sitio predilecto de acuerdo al factor ambiental específico (Tolve et al., 2023). Además, es muy importante el origen o el tipo de material de recubrimiento ya que dependerá sus características y la relación que puede formarse con el material objetivo o materia prima como se puede observar en la Figura 4.

Figura 4.

Características de material de recubrimiento en microencapsulación.

Tipo de material encapsulante	Cobertura específica	Características de interés
Carbohidratos	Almidón y derivados, maltodextrinas, jarabes de maíz, sacarosa, dextrana, ciclodextrinas.	Formador de película, muy buen emulsionante.
Gomas	Arábiga, mezquite, guar, alginato de sodio, carragenina, alginato de sodio.	Emulsionante, formador de película.
Tipo de material encapsulante	Cobertura específica	Características de interés
Proteínas	Gelatina, proteína de soja, caseinatos, suero de leche, zeína, gluten, caseína.	Emulsionante, formador de película.
Lípidos	Ceras, parafinas, grasas, ácido esteárico, triestearina, mono y diglicéridos.	Formador de película, emulsificante.
Celulosas	Carboximetilcelulosa, metilcelulosa, etilcelulosa, nitrocelulosa, acetilcelulosa.	Formador de película.

Nota: *Información obtenida de: (Rios-Aguirre & Gil-Garzón, 2021).*

En diferentes países, el consumo de nuevos productos a base de esta técnica está tomando relevancia en el mercado ya que permite que muchos productos tengan un contenido mayor o que sean más eficientes. De hecho, se han obtenido diversos productos industriales y comerciales que han utilizado tanto el material sólido, así como la técnica de microencapsulación mencionado. Uno de ellos corresponde a diferentes vitaminas de la empresa Nestlé, específicamente de la subdivisión llamada Nestlé Health Science que ha logrado brindar al mercado la compra de Nature's Bounty ® donde se ha utilizado la técnica de microencapsulación para la vitamina C con el fin de mejoramiento de los compuestos y cumplimiento de normas de calidad y estándares incluyendo numerosas pruebas y ensayos para verificar la pureza y máxima potencia (Calder & Kreider, 2025), productos con suplementos alimenticios, probióticos encapsulados, entre otros.

1.1.13. Técnicas de microencapsulación

Hoy en día, existe una variedad de técnicas con la principal misión de lograr una protección de la materia prima, la estabilización de los compuestos presentes y el control y capacidad de libración

de compuestos bioactivos en lugares específicos y que puedan soportar las condiciones adversas hasta o dentro de llegar a dicha zona en un tiempo determinado. De acuerdo a ello, una de las técnicas más usadas y más tradicional para la microencapsulación es:

- Secado por aspersión

Se empieza por una mezcla tanto del material del núcleo como el material de la pared donde, posteriormente, se va a un atomizador y puede formarse una neblina dentro de la cámara existente en donde puede aplicarse aire a temperaturas elevadas que realice un proceso de transformación de neblina a polvo. Este método contiene ciertas ventajas que le otorgan al ser el más usado empezando por una variedad de agentes encapsulantes, puede tornarse muy económico a comparación de otras técnicas, flexibilidad y con un escalamiento de forma sencilla (Choudhury et al., 2021).

- Enfriamiento por aspersión

En este método se tiene ciertas similitudes con el método anterior ya que comportante algunos principios y ciertos funcionamientos. Sin embargo, donde su diferencia radica es el tipo de aire a usar ya que este únicamente abarca un aire frío. Se sigue el mismo procedimiento anteriormente descrito, es decir, el material del núcleo se mezcla con el material de la pared donde son atomizados para la formación de nieblina dentro de la cámara donde fluye el aire frío provocando que, la baja temperatura, pueda lograr una solidificación con las microgotas formadas y presentes donde, por consiguiente, se forma el polvo microencapsulado (Pimentel-moral et al., 2016).

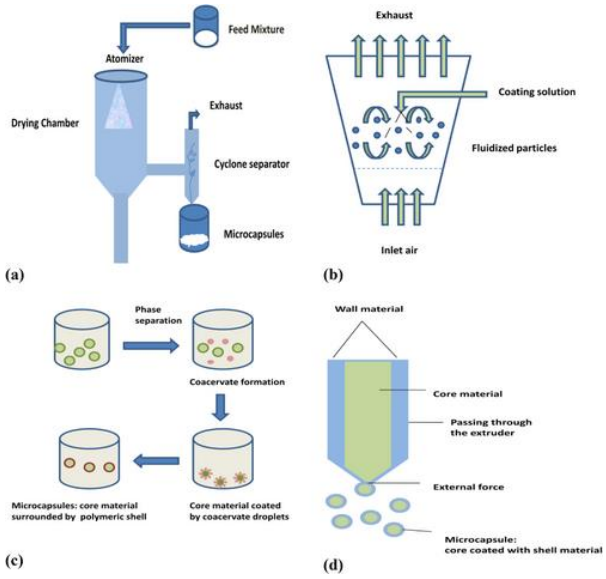
- Coacervación

Se considera como una técnica sencilla y fácil de realizar donde se implica a la formación de una capa homogénea de un material en específico que es de tipo polimérico de pared resultado de un proceso de alteración física mediante cambios de temperatura al igual del potencial hidrógeno y la fuerza iónica en distinto orden o turno. Una diferencia radical es que el material del núcleo objetivo se mezcla con el material de pared para la formación de una solución de tipo inmiscible que es llevado a un proceso de separación de fases donde se alterna y se modifica los 3 parámetros mencionados con la finalidad de formar coacervados, que se presentan como gotas del líquido pequeñas formadas por una cantidad de polímeros de densidad. Estos serán los encargados de rodear al núcleo donde pueda darse la formación de microcápsulas. Finalmente, la interacción

electrostática presente entre los dos medios acuosos es la parte principal para formar coacervados que es dependiente del número de polímeros usados recibiendo el nombre de coacervación simple o compleja según el caso (Pintanela et al., 2023).

Figura 5.

Técnicas de microencapsulación.



Nota: *Información tomada de (Choudhury et al., 2021).*

- Recubrimiento de lecho fluidizado

Este método implica un proceso de pulverización para el material de recubrimiento que adoptará distintas formas de acuerdo a lo que se establezca. Entre ellos, se encuentra la pulverización superior, pulverización inferior y pulverización tangencial. Sin embargo, esta puede presentar diversos problemas ya que el procedimiento está sujeto a la velocidad de alimentación del material en la pared, la presión ejercida de atomización que se da en la boquilla, la temperatura a la que se desea trabajar considerando las características de los componentes y la velocidad de aire en la entrada (Afshari et al., 2023).

- Extrusión

Este procedimiento está basado en la inmiscibilidad ya que los materiales involucrados, tanto el material del núcleo como el de pared, deben estar en forma de inmiscibles debido a que se debe cumplir un proceso de dirección donde ambos materiales se pasan de tal forma que puedan rodear

el núcleo y puedan pasar por boquillas céntricas dando como resultado unas gotitas con el núcleo, y este, rodeado por el material escogido. Posteriormente, es necesario que exista una solidificación y para ello, se utiliza el enfriamiento o con un baño de gelificación acorde. La idea principal es, que cuando empiece con las caídas de las gotas, la mismas, se solidifiquen con ayuda de la formación de un complejo y que se vean de un mayor tamaño (Šárka et al., 2021).

- Emulsificación

Esta técnica utiliza el principio de dispersión donde el núcleo se esparce a un disolvente de tipo orgánico donde debe contener el material de la pared para que pueda ser emulsificador con ayuda de agua o aceite en conjunto con un estabilizador de tipo emulsificante. La fase de encapsulación se logra por la formación de una capa densa compuesta de polímero a través de la evaporación del disolvente usado (Regueiro, 2014).

- Inclusión de ciclodextrina

Está técnica implica el uso de las ciclodextrinas que se define como un oligosacárido de forma cíclica que lleva una fracción hidrófila en la parte superficial en conjunto con una fracción hidrófoba en la parte central. Esta puede actuar en favor a la biodisponibilidad de fármacos que se ven limitados por la solubilidad baja contra el agua gracias a las unidades de glucopiranósido que varían de entre 6 a 8 unidades siendo α-ciclodextrina, β-ciclodextrina y γ-dextrina (Pandey et al., 2019). Los mismos presenta una cavidad de forma interna que es de tipo apolar junto con grupos hidroxilos dando como resultados formación de complejos de inclusión de ciclodextrinas junto con compuestos hidrófobos que se forman gracias a la interacción hidrofóbica que tienen la superficie de la ciclodextrina y los compuestos hospedadores.

1.1.14. Capacidad antioxidante

La capacidad antioxidante es considerada como la medición principal que puede evaluar el estado del estrés oxidativo, así como el potencial del mismo en cuanto al envejecimiento. Es decir, la habilidad que tienen las frutas para realizar una neutralización a especies reactivas de oxígeno (denominado ROS, en sus siglas en inglés) y ciertos radicales que pueden causar daño a nivel celular (Dumanovic et al., 2021). Su material principal, que es los antioxidantes son moléculas con la capacidad de disminuir el proceso de retardo o la prevención de oxidación en otras células por

medio de que contrarrestan los radicales libres y especiales relacionadas a la reacción contra el oxígeno (Benítez-Estrada et al., 2020).

Se ha realizado investigaciones acerca de su método de evaluación por algunos métodos que tienen dos principios fundamentales donde se ocupa de base empezando por:

- Ensayos sujetos a la reacción de transferencia de electrones por monitoreo del proceso de cambio de color del antioxidante en su proceso de reducción

Este principio puede ser llamado como ensayo de transferencia electrónica abarca a la capacidad antioxidante equivalente de Trolox (TEAC), ensayo de capacidad reductora férrica de plasma (FRAP) o ensayo de la capacidad de eliminar Radicales DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (Munteanu & Apetrei, 2021).

- Ensayos con base en reacción de transferencia de átomos de hidrógeno en una competencia por radicales libres entre el sustrato y antioxidante

El segundo método está compuesto por el ensayo de capacidad de absorbancia de radicales libres de oxígeno (ORAC) (Figueroa et al., 2023).

1.1.15. Aplicaciones industriales de compuestos antioxidantes

En el campo industrial, las aplicaciones de nuevas fuentes diferentes a las habituales han tomado realce en los últimos años debido a su potencialidad. Se debe mencionar que en la industria alimentaria es donde más se ha utilizado empezando con varios productos como la leche, donde los antioxidantes ayudan en la prevención de la oxidación de lípidos dando como consecuencia el mejoramiento de estabilidad térmica recayendo en el ácido caféico y felúrico como responsables de dicho resultado; yogurt, los antioxidantes pueden liberar compuestos que reduzcan el estrés oxidativo, un mejoramiento de la función vascular y prevenir enfermedades como la obesidad o diabetes; y helados, frutas como guayaba y arándanos aumenta el contenido fenólico y antioxidante acompañado de aceptación sensorial (Campo & Ramírez-navas, 2021).

Otra industria interesada en este uso ha sido la farmacéutica con diferentes usos y beneficios de la aplicación de este tipo de antioxidantes en fármacos iniciando con enzimas antioxidantes endógenas como el glutatión, catalasa o el superóxido disminutasa que logran inhibir la formación de radicales libres de forma indirecta. Otro grupo son las proteínas que contiene grupos triol o

fenólicos como el glutatión que se considera como el tiol intracelular indispensable que tiene capacidades quelantes y puede participar dentro del reciclaje de algunas vitaminas como la vitamina C. Finalmente, otro ejemplo está en la coenzima Q10 que se encuentra en todas las células eucariotas aerobias como las mitocondrias para el transporte de electrones (Losada-Barreiro et al., 2022).

Una empresa donde es más notorio el uso es la industria de empaques donde los antioxidantes Pueden contribuir al mejoramiento de la estabilidad en términos térmicos acerca de polímeros y que se pueda alargar su vida con los compuestos de BHT y el hindered phenol.ante distintos características ambientales, es decir, puede mejorar el uso de plásticos más no ser difíciles de degradar por bacterias , hongos , entre otros (Vasile & Baican, 2021).

1.1.16. Eficiencia de microencapsulación

En todo procedimiento, un parámetro clavo a identificar es la eficiencia ya que puede determinar la capacidad o habilidades para conseguir un objetivo donde se use la menor cantidad posible de recursos, como el tiempo, procedimiento, dinero, entre otras. En la eficiencia del microencapsulado se considera necesario para disponer que el sistema para el recubrimiento y, por consecuencia, determina la proporción existente del material de interés que ha quedado netamente atrapado en las microcápsulas de cubrimiento contra la cantidad inicial. Sus resultados reflejan la estabilidad formada junto con una pérdida leve en el procedimiento de uso de secado (Ozkan et al., 2019).

Sus factores determinantes pueden variar conforme a lo que se necesite por el estado de solubilidad, compatibilidad, viscosidad, temperatura de trabajo en el proceso y la forma de secado (Yun et al., 2021). Al aplicar el método elegido, la variable a tomar en cuenta se centra en la velocidad de alimentación junto con la proporción de su núcleo y quién lo hace más influyentes en el poder y capacidad de retener el blanco

1.1.17. Métodos de evaluación de la actividad antioxidante

La elección adecuada de diferentes métodos puede brindar una mejor cuantificación en la capacidad antioxidantes ya que determinará el valor real, o muy cercano, para diferentes aplicaciones y necesidades de productos.

Es así que existen varios métodos para ello, empezando por el método que puede entender de una mejor forma es el DPPH que relaciona las lecturas de absorbancia y que su disminución pueden dar una señal de la capacidad que tiene los antioxidantes para donar hidrógenos hacia el radical violenta proveniente del DPPH y reducirlo a la misma.

Otro método usado en la evaluación es ABTS (ácido 2,2'-azino-bis(3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico) que, a diferencia del anterior, mide la reducción existente del radical catiónico azul – verde como resultado de una reacción; la única diferencia es que se varía el radical utilizado debido a que debe existir una reacción con catión radical de tipo orgánico. Esta técnica trabajo con un rango de pH entre 3 hasta las 9 con método colorimétrico donde se debe medir las muestras en una longitud de onda de 734 nm. Finalmente, una característica indispensable para el correcto funcionamiento y medición es donde las polaridades de los antioxidantes a determinar tienden a ser de naturaleza hidrofílico y lipofílico (Rumpf et al., 2023). Se determina de la siguiente fórmula.

De acuerdo a otro método es relacionado a la capacidad reductora llamada FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power) donde el papel del compuesto de interés tiene la capacidad de reducir al complejo férrico a su forma ferrosa (Fe III) exponiéndose como la generación de un color azul intenso que es directamente proporcional a su absorbancia. Esta técnica se permite solo cuando la muestra relacionada son de tipo hidrofílico siempre y cuando estén en un estado de solución acuosa que esté cercano a un estado ácido de 3,6. Su técnica está basada en colorimetría donde la lectura se da a 593 nm (Rumpf et al., 2023). Su ecuación se caracteriza por el uso de ecuaciones y variables diferentes a otros métodos.

Un método también aplicable corresponde a ORAC (Oxygen Radical Absorbance Capacity) que utiliza la inhibición de radicales de tipo peroxilo resultantes de los AAPH (compuesto químico generado por radicales peróxido ROO^{+})

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

- Evaluar la actividad antioxidante de los compuestos extraídos de los residuos agroindustriales de guayaba (*Psidium guajava* L) como fuente natural de compuestos bioactivos provenientes de una industria de helados del cantón Salcedo, provincia de Cotopaxi

1.2.2. Objetivos específicos

- Obtener extractos de la fruta de guayaba provenientes de residuos agroindustriales mediante técnicas de extracción para un adecuado tratamiento y acondicionamiento inicial.
- Determinar la cantidad polifenólica presente en los extractos resultantes mediante espectrofotometría UV-VIS para la identificación de la mezcla extractiva más eficiente.
- Implementar un proceso de microencapsulación en extractos optimizados mediante secado por aspersión para la evaluación de su eficiencia de encapsulación y actividad antioxidante.

1.3. Hipótesis

El uso de residuos agroindustriales de guayaba (*Psidium guajava* L.) mediante procesos de extracción y microencapsulación puede permitir la obtención de un producto microencapsulado con compuestos polifenólicos y capacidad de antioxidante en cantidades significativas a comparación de otras fuentes de estos compuestos.

1.3.1. Hipótesis nula

El empleo de los residuos agroindustriales de guayaba (*Psidium guajava* L.) no permite un proceso de extracción y microencapsulados con una cantidad de antioxidante elevada.

1.3.2. Hipótesis alternativa

El empleo de los residuos agroindustriales de guayaba (*Psidium guajava* L.) permite un proceso extracción y microencapsulados con una cantidad de antioxidante elevada.

1.4. Variables

1.4.1. Variables independientes

Condiciones de tipos de solvente, concentración, temperatura de ebullición, tiempo, material de recubrimiento.

1.4.2. Variables dependientes

Rendimiento, contenido de polifenoles, eficiencia, capacidad antioxidante.

CAPÍTULO II.- METODOLOGÍA

2.1. Materiales

2.1.1. Material vegetal

- Fruta guayaba (*Psidium guajava* L.)

2.1.2. Reactivos

- Ácido gálico
- Agua destilada
- Alcohol 70%
- Carbonato de Sodio 7,5%
- DPPH (2,2-difenil-1-picrihidracilo)
- Etanol 96%
- Folin – Ciocalteu
- Goma arábica
- Metanol 80%
- Solución Trolox

2.1.3. Materiales de laboratorio

- Balones de aforo de 10, 20 y 25 mL
- Bolsas herméticas ZIP
- Bolsas Wildpack
- Espátula
- Frascos ámbar
- Mallas
- Micropipeta 20, 10 - 100 y 100 – 1000 μL
- Microplaca de 96 pocillos
- Molino manual
- Papel absorbente
- Papel aluminio
- Pastillas de agitación
- Pinzas estériles
- Pipeta graduada 10 mL
- Probeta 10, 50 y 100 mL

- Propipeta
- Puntas amarillas y azules
- Tubos centrífuga
- Tubos de ensayo con tapa
- Tubos fálcon de 13 y 50 mL
- Vasos precipitados 250 mL
- Vidrios reloj

2.1.4. Equipos

- Balanza analítica
- Balanza de precisión
- Bomba de vacío
- Centrífuga
- Centrífuga para tubos falcón
- Condensador
- Espectrofotómetro Infrarrojo por transformada de Fourier
- Espectrofotómetro UV – VIS
- Estufa
- Incubadora
- Plancha de calentamiento
- Plancha de calentamiento de 4 puestos
- Refrigeradora
- Rotavapor
- Spray driver
- Trituradora
- Vórtex

2.2. Metodología

2.2.1. Obtención de extractos de guayaba provenientes de residuos agroindustriales mediante técnicas de extracción para un tratamiento y acondicionamiento adecuado

2.2.1.1. Obtención y transporte de la materia prima

Se recolectó varias muestras representativas de residuos agroindustriales donde las mismas dieron indicios de contener componentes de la guayaba (*Psidium guajava* L) con un peso, aproximadamente, de 3 kg de residuos agroindustriales en las cuales correspondió a materiales secundarios descartados durante el proceso de extracción de pulpa de diferentes frutas ejecutada en la industria de helados. Los mismos han sido desechados hacia fuentes naturales que causaron daños ambientales como la contaminación de la zona y el mal olor. Estos fueron depositados en 3 baldes con capacidad de 10 litros para cada uno que contuvieron la materia prima objetivo que corresponden a las pepas de guayaba (*Psidium guajava* L) portando guantes de nitrilo y mascarilla. La materia mencionada fue tomada de una zona trasera de una fábrica de helados ubicadas en el cantón Salcedo, empresa dedica a la elaboración de helados artesanales mediante la extracción de pulpas de frutas tropicales ubicada en la ubicación 1°02'54.5"S 78°35'24.6"W.

2.2.1.2. Separación y selección del material útil

En los baldes utilizados, se encontraron diferentes tipos y combinaciones de residuos orgánicos tales como semillas, grumos y cáscaras de varias frutas como lo fue de coco, aguacate, taxo, mora, mango, naranjilla, entre otros. Durante en esta etapa de procedió a retirar los materiales y componentes no deseados (cáscaras, grumos, pepas de las frutas presentes) con la finalidad de trabajar únicamente con pepas de guayaba como la materia prima de interés.

Para garantizar que existió una manipulación adecuada, se empleó pinzas de laboratorios estériles que fue roseada con alcohol del 70% cada 5 minutos por un período de 4 horas para muestras libre de contaminación que pudieran afectar al estudio. Por consiguiente, el material seleccionado fue colocado temporalmente en un recipiente plástico limpio destinado para el almacenamiento exclusivamente dentro de un horno con un peso de 1, 230 kg en una balanza de precisión.

2.2.1.3. Proceso de secado y pesaje de la materia prima

El recipiente mencionado fue trasladado a la planta piloto de los laboratorios de investigación de la UODIDE para su proceso de secado. Se eligió una malla que pueda adecuarse al tamaño de pepas optando con la menor área de cruces para evitar pérdidas de la materia objetivo. Además, sobre esta malla se colocó una capa de papel aluminio que actuó como una barrera adicional que los retuvo.

El proceso de secado se realizó en la estufa para la eliminación de la humedad y se estableció condiciones de secado siendo estas a una temperatura de 36 ºC por un período de 24 horas. Pasado

el tiempo establecido, las mismas estaban ya en un estado deshidratado que permitió su procesamiento, el cual estas fueron pesadas en una balanza de precisión con capacidad máxima de hasta 3 kg que brindó el peso total de la cantidad de las muestras extraídas.

2.2.1.4. Molinado del material vegetal seco

Las diferentes muestras en estado sólido, fueron fragmentadas de forma manual en varios trozos pequeños para obtener proporciones de bajo tamaño y que fueron adecuadas para su procesamiento en un molino manual y, posteriormente, en una trituradora por, aproximadamente, por 3 y 5 horas, respectivamente.

Se usó un molino manual con la finalidad de obtener fragmentos aún más pequeños y, posteriormente, fueran puestas en un triturador para obtener una sustancia que fue lo más parecida a un polvo. Finalmente, la cantidad de polvo resultante fue colocada cuidadosamente en fundas estériles Wirld Pack con pesos aleatorios entre sí.

2.2.1.5. Pesaje de muestras

En esta fase, se procedió al pesaje de las fundas Wild Pack, las mismas que fueron pesadas con ayuda de una balanza técnica con capacidad máxima de 200 g. Por cada bolsa resultante se empleó 3 vasos precipitados de 250 ml. Se realizó un proceso de tarado por cada toma de peso para evitar interferencias y pesos erróneos en la medición del peso dando una cantidad de más de 100 g entre las 3 bolsas wild pack. Además, el contenido de cada bolsa fue transferido a cada uno de los vasos correspondientes con ayuda de una espátula.

2.2.2. Determinación de la cantidad polifenólica presente en los extractos resultantes mediante espectrofotometría UV-VIS para la identificación de la mezcla extractiva más eficiente

2.2.2.1. Selección de disolvente químico óptimo para la extracción de compuestos polifenólicos

Para la elección de la mejor mezcla, se diseñó una experimentación acerca de mezclas basado en combinaciones de concentraciones donde el agua destilada y etanol al 96% fueron electos como disolventes partícipes. Las concentraciones electas correspondieron al 30%, 50% y 70% de etanol respectivamente. Además, se realizó el control negativo asó como el control positivo de los mismos disolventes.

Cada mezcla fue preparada bajo una condición de relación sólido-líquido de 1:20, es decir, se añadió 5 gramos de la muestra vegetal prima, pesados previamente en la balanza analítica, en volúmenes de 100 mL de las concentraciones respectivas de los disolventes en 5 vasos precipitados de 250 mL con ayuda de probeta de 100 mL. Por otra parte, fueron agregadas dos condiciones de tratamientos siendo el primero una temperatura de ebullición de 80 ºC seguido de un proceso de agitación a una velocidad de 7000 rpm de forma constante tanto en el cambio a estado de ebullición como posterior a la misma, esta última, por un período de tiempo de 30 minutos dentro de planchas de calentamiento. Una vez realizado el procedimiento, las muestras fueron colocadas dentro de frascos ámbar al ser sensibles ante la luz.

Posteriormente, estas fueron colocadas en tubos de centrífuga de 250 mL con su respectivo pesaje antes de ser colocados en una centrífuga con ciertos parámetros donde fueron expuestos a 4000 rpm en un tiempo de 15 minutos a una temperatura de 20 ºC. Por consiguiente, se retiró el sobrenadante y se midió su volumen resultante en probetas de 100 mL. Por otra parte, se utilizó el volumen de sobrenadante medido para la determinación del contenido de agua en las muestras respectivas donde se utilizó una balanza de humedad. De acuerdo a estos resultados presentados que fueron dados en porcentaje, fueron colocados en una operación donde se restó de un 100% y se consiguió el % de sólidos totales. Después, estos fueron multiplicados por el volumen del sobrenadante resultante para el resultado de masa de sólidos extraídos.

Por otra parte, las muestras fueron cuantificadas de acuerdo a su contenido para determinar la que mayor contenido de polifenoles tenía. Para ello, se utilizó una microplaca donde se colocó un volumen de 20 μL de muestra junto con 100 μL del reactivo de Folin con un tiempo de espera de 5 minutos para que el carbonato de sodio al 7,5% en 75 μL fuese añadido. Así pues, se puso en incubación durante un tiempo de 2 horas con la finalidad que se cubra las reacciones necesarias; cumplido el tiempo, se llevó a un espectrofotómetro U-VIS y se obtuvo lecturas de absorbancia a 765 nm (Tuan et al., 2016). Las cantidades arrojadas fueron base para ser reemplazadas en la variable “y” de la ecuación de curva de calibración del ácido gálico y se determinó la variable “x”. Entonces, el valor anterior de masa de sólidos extraídos en unidades de g, fue puesto en una ecuación 5 y se determinó la cantidad en 1 solo mL. Finalmente, esta pasó por la ecuación 7 para determinar el contenido real de la cantidad polifenólica en la muestra. Además, se realizó el cálculo para la determinación de la desviación estándar de la fórmula 8.

Ecuación 1.

Cálculo de concentración de extracto.

$$M_{se1} * V_{s1} = M_x * V_{o2}$$

Donde:

M_{se1} = masa de sólidos extraídos (mg)

V_{s1} = volumen total de sobrenadante (mL)

M_x = masa de sólidos presentes en x ml (mg/mL)

V_{o2} = volumen de referencia x ml

Ecuación 2.

Corrección de contenido fenólico.

$$M_{cc} = M_x - M_{cp}$$

Donde:

M_{cc} = masa de contenido corregido ($\mu g/mL$)

M_x = masa en 1 ml de extracto calculado ($\mu g/mL$)

M_{cp} = masa respectiva de curva de calibración ($\mu g/mL$)

Ecuación 3.

Cálculo del contenido total por gramo de muestra seca.

$$mg\ GAE/g = \frac{M_{cc}GAE * m_x}{m_s\ (g)}$$

Donde:

$mg\ GAE/g$ = miligramos de GAE por cada gramo extraído seco

$M_{cc}GAE$ = masa de contenido corregido GAE

m_x = masa en 1 gramo extraído seco

m_s = masa de gramo seco

Ecuación 4.

Fórmula de desviación estándar.

$$S = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

Donde:

S = desviación estándar de muestra

x_i = valor individual de muestra

$\bar{x}$ = media o promedio de valores

n = número de datos

$n-1$ = grados de libertad

2.2.2.2. Elaboración de curva de calibración con ácido gálico

Para elaboración de la curva de calibración con ácido gálico, se prepararon soluciones estándar de ácido gálico en concentraciones conocidas (0, 25, 50, 75, 100, 125, 150, 175 y 200 $\mu g/mL$) que provinieron de una solución madre o stock de 1 mg/mL. Para cada estándar fueron puestos bajo dos tipos de reactivos empezando por 100 μL del reactivo de Folin-Ciocalteu (1N) y 75 μL de carbonato de sodio (Na_2CO_3) al 7,5% con volumen de 20 ml, es decir, 1,5 gramos de carbonato de sodio diluidos en 20 mL de agua destilada que fueron colocados después de la solución estándar con un lapso de 5 minutos entre estos dos últimos en una microplaca de 96 pocillos con fondo plano colocados dentro del espectrofotómetro UV-VIS donde se realizó una lectura bajo 765 nm después de un tiempo de incubación de 2 horas dando como resultado diferentes lecturas de absorbancia (Nei et al., 2017). Los resultados presentados fueron importantes para elaborar la curva de calibración y, que el mismo, sirvió para la determinación de compuestos polifenólicos. Estos sirvieron para su cuantificación ya que los datos fueron colocados en el programa Excel y se realizó una gráfica de dispersión con el eje x de las concentraciones de las soluciones estándares y el eje y los resultados de las cantidades que el equipo usado presentó. Finalmente, se colocó la

opción de línea de tendencia y se seleccionó la opción de presentación de la ecuación y el valor de R^2 y que fueron expresados en unidades de $\mu g/mL$.

2.2.2.3. Cuantificación del contenido polifenólico mediante la técnica de Folin Ciocalteu

De cada uno de las 5 muestras, se colocaron 20 μl del mismo en una microplaca de 96 pocillos, después de añadirlo, se colocó 100 μL del reactivo de Folin – Ciocalteu (1N) para un tiempo de reposo de, aproximadamente, 5 minutos a una temperatura ambiente (20 – 25 ºC). Posteriormente, se añadió 75 μL de una solución de Carbonato de sodio (Na_2CO_3) en una concentración del 7,5% (p/v) y se completó un volumen total de 200 μl. El tiempo de incubación necesaria fue establecida a 2 horas a temperatura ambiente que fue necesario para que se dé un tiempo de reacción estándar y que se cumplan las reacciones químicas necesarias para la cuantificación de polifenoles. Finalmente, se midió la absorbancia de los mismos a 765 nm con la ayuda de la espectroscopia UV-VIS con 3 réplicas biológicas para mayor seguridad (Tuan et al., 2016). El procedimiento de cuantificación de forma matemática fue realizado de forma igual a donde se realizó el cálculo para la mejor mezcla extractiva.

2.2.2.4. Método experimental 3^2 para la extracción de compuestos antioxidantes

Una vez que ya se eligió la mejor mezcla , se procedió a realizar un diseño experimental de 3^2 con los dos factores que fueron tanto la relación material vegetal – volumen correspondiente a 1:15, 1:20 y 1:25, es decir, 1 gramo de la muestra de polvo por cada 15, 20 y 25 ml, respectivamente, de la mejor mezcla elegida con anterioridad acompañado de que se dio un tiempo de extracción en agitación de 30, 45 y 60 minutos en conjunto con 3 réplicas biológicas y técnicas de cada corrida o tratamiento como se demuestra en la tabla 6.

Tabla 6.

Condiciones y corridas de diseño experimental propuesta.

Muestra	Relación	Tiempo (min)
1	1:15	30
2	1:15	45
3	1:15	60
4	1:20	30
5	1:20	45
6	1:20	60
7	1:25	30
8	1:25	45
9	1:25	60

Posteriormente, a partir de este diseño, se identificó qué tipo de tratamiento funcionó mejor o dio más rendimiento en cuanto a la magnitud del contenido polifenólico para un proceso de extracción eficiente. Sin embargo, se realizó una disminución de la relación peso – volumen de 1 gramo por cada 20 mL correspondiente debido al límite de contenido de materia prima, aunque se mantuvo constantemente la relación mencionada donde las mismas fueron colocadas dentro de frascos ámbar. Posteriormente, estas fueron colocadas en tubos falcón de 50 mL y pesadas correctamente para cumplir el principio de equilibrio simétricas y fueron llevadas a una centrífuga adaptada al estilo de los tubos mencionados por 4000 rpm durante 15 minutos. Se colocó dentro de probetas de 10 y 50 ml de acuerdo al contenido volumétrico final para los cálculos posteriormente; fueron colocadas dentro de micropocillos junto con los reactivos de Folin y el carbonato de Sodio al 7,5% en cantidades de $20\,\mu L$, $100\ \mu L$ y $75\,\mu L$ respectivamente que fueron llevados a un espectrofotómetro UV-VIS con una lectura bajo 765 nm. Finalmente, la técnica de determinación de contenido real de compuestos polifenólicos fue realizada bajo las mismas fórmulas y pasos de acuerdo a lo mencionado anteriormente en cuanto a la elección de mejor mezcla con la diferencia que esta fue esta fue para ver el mejor tratamiento.

2.2.3. Implementación de un proceso de microencapsulación en extractos optimizados mediante secado por aspersión para la evaluación de su encapsulación y actividad antioxidante

2.2.3.1. Evaporación del disolvente

Con la determinación del tratamiento más óptimo en cuanto a su cantidad, se procedió a realizar el mismo tratamiento en cantidades superiores hasta que se llegó a un volumen total de sobrenadante de mejor tratamiento de 2 litros que fueron colocados en varios frascos ámbar con la finalidad de evitar su degradación fotoquímica ante la luz. Una vez con la cantidad exacta, se utilizó el equipo de rotavapor al mismo tiempo que la bomba de vacío, condensador y el baño maría completada con agua destilada como complemente para su correcto funcionamiento junto con el establecimiento de condiciones siendo estas a 71 ºC y una velocidad de rotación de 230 rpm que funcionó junto al proceso de vació de forma constante que permitió obtener un extracto de forma más densa y con el menor contenido de solvente gracias al condensador (Alexandre, 2019).

Posteriormente, se extrajo 3 ml del concentrado resultante y fue llevado a una plancha de calentamiento para la obtención del porcentaje de humedad, que fue un dato fundamental para la formulación de las cantidades necesarias. El mismo fue restado del 100% para dar la cantidad de sólidos totales y se realizó la formulación adecuada como fundamento para el siguiente paso.

2.2.3.2. Microencapsulación y secado por aspersión

Se realizó un proceso de pesaje a la cantidad de concentrado restante, es decir, el volumen restante después de ocupar 3 ml anteriormente. Este fue base para el cálculo necesario de la cantidad de extracto líquido, material de recubrimiento, que fue electa la goma arábica, y agua destilada para su respectiva disolución. Para la obtención del microencapsulado se determinó un peso de 2,18 g del concentrado junto con 8,72 g y un volumen de 36,33 mL de agua destilada. Este pasó a una homogenización manual hasta la mayor dilución posible y, después, fue tratado con un homogeneizador (marca IKA KUR, modelo T10 basic) a una velocidad 4, que corresponde a 21200 rpm. Posteriormente, esta se pasó a un spray-driver con parámetros estándares para su procedimiento siendo la temperatura de entrada de 150 ºC y temperatura de salida de 75 ºC con un porcentaje de aspirador del 100%, bomba de alimentación o pump del 24% por un lapso de tiempo de 25 minutos hasta conseguir toda la cantidad posible de encapsulado.

2.2.3.3. Determinación cualitativa de la eficiencia de microencapsulación por

espectroscopia infrarroja

Para el análisis cualitativo de la encapsulación se realizó por medio del uso del espectrofotómetro infrarrojo por transformada de Fourier (FTIR) con la finalidad de analizar y determinar grupos funcionales presentes. Para ello, se utilizaron 3 tipos de materias empezando por el polvo microencapsulado restante, el tipo de material de recubrimiento que fue la goma arábica y la muestra de extracto concentrada (resultante del rotoevaporador) donde se emplearon cantidades inferiores de los 2 compuestos primeros en estado sólidos y en estado líquido con una espátula delgada, respectivamente. Se determinó las diferentes bandas relacionadas a los grupos funcionales presentes que se apegan a compuestos fenólicos y polisacáridos con las diferencias de parámetros entre cada una de estas.

2.2.3.4. Determinación cuantitativa de la eficiencia de microencapsulación

Para la eficiencia, se realizó nuevas muestras que avalen la ecuación 1 descrita donde relacione el contenido de polifenoles presentes tanto en la superficie como en el interior del material encapsulado. Para ello, se utilizó dos tubos (A y B) con diferentes condiciones

- Condiciones de tubo A: extracción superficial

Se añadió una cantidad de 0,2 g del polvo microencapsulado y fue diluido con 10 mL de etanol en una concentración del 96% en un tubo falcón de 13 ml, después se puso en un vórtex a un tiempo de 1 minuto en una velocidad de 8000 rpm para que este sea colocado dentro de una centrífuga adecuado a una velocidad de 4000 rpm por tiempo de 2 minutos. Después, se recuperó el sobrenadante y se usó el método del reactivo de Folin descrito anteriormente junto con el carbonato de sodio al 7,5% en una microplaca de 96 pocillos con 2 réplicas biológicas con un tiempo de incubación de 90 minutos. Finalmente, las mismas fueron llevadas hacia un espectrofotómetro donde se realizó lecturas a 765 nm. Los resultados mostrados fueron llevados a la ecuación de eficiencia de microencapsulación

- Condiciones de tubo B

Se añadió una cantidad de 0,2 g de polvo encapsulado acompañado de una dilución de 10 mL de agua destilada dentro de un tubo falcón de 13 ml. El proceso fue el mismo que el descrito anteriormente empezando por el vórtex a la misma velocidad y tiempo de aplicación. Posteriormente, se recogió el sobrenadante final y se aplicó el método de cuantificación por el

reactivo de Folin involucrando al carbonato de sodio al 7,5% dentro de la microplaca de 96 pocillos en un lapso de incubación de 40 minutos. Las lecturas fueron hechas en un espectro UV-VIS A 765 nm y aplicadas en la ecuación específica de eficiencia donde se tome los valores resultantes de las lecturas.

Finalmente, se utilizó la fórmula de eficiencia de microencapsulación acorde a las lecturas obtenidas:

Ecuación 5.

Porcentaje de eficiencia de microencapsulación.

$$\%EE = \frac{CT_{agua} - CS_{etanol}}{CT_{agua}}$$

Donde:

CT_{agua} = contenido total en agua destilada

CS_{etanol} = contenido superficial extraído de etanol 96%

2.2.3.5. Evaluación de actividad antioxidante del polvo microencapsulado por método de DPPH *in vitrio*

Se realizó una curva de calibración de la solución TROLOX en soluciones estándares de 50, 100, 200, 300, 400 y 500 $\mu M/mL$ provenientes de una solución madre que fue elaborada pesando 2,503 mg de Trolox diluidos en un volumen de 10 mL de metanol al 80%. Por otra parte, se realizó una solución stock de DPPH donde se utilizó 1 mg de este reactivo que fue diluido en 25 mL de metanol al 80%. A continuación, se realizó muestras de acuerdo a las especificaciones de la ecuación 2. Se empezó por el porcentaje de inhibición de DPPH del concentrado, es decir, lo resultante del rotavapor, iniciando con el Acontrol donde se usó 100 μL de metanol al 80% junto a 100 μL de DPPH proveniente de la solución madre, después se preparó la variable de Ablanco donde se toma 100 μL de la muestra del concentrado más 100 μL del solvente mencionado y, finalmente, para la variable Amuestra donde se colocó 100 μL de muestra del concentrado junto con 100 μL de DPPH. Estos fueron colocados en una microplaca que, además de colocar soluciones estándares de 400, 300 y 200 $\mu M/mL$ para evitar errores de lectura, fueron puestas en incubación a temperatura ambiente 20 ºC por un tiempo de 40 minutos y, por último, medidas a 517 nm en el espectrofotómetro UV-VIS.

Para el cálculo del porcentaje de inhibición del material microencapsulado, se aplicó la misma metodología del concentrado con la diferencia que en las variables relacionadas a los 100 μL de muestra, estas pertenecieron del polvo a microencapsular que fueron diluidos acorde a un peso de 10 mg en 5 mL de metanol al 80%.

Además, se midió el porcentaje de inhibición de este reactivo por medio de esta ecuación:

Ecuación 6.

Fórmula de % inhibición de DPPH.

$$\%\ Inhibición\ DPPH = \left[1 - \left(\frac{A_m - A_b}{A_c - A_b}\right)\right] * 100$$

Donde:

A_m = Absorbancia de la muestra/microencapsulado

A_b = Absorbancia del blanco

A_c = Absorbancia del control

Además, se midió el porcentaje de eficiencia de liberación utilizando los valores resultantes de ambos casos por medio del uso de la siguiente fórmula

Ecuación 7.

Fórmula de porcentaje de liberación.

$$\%Liberación = \left(\frac{Valor\ liberado}{Valor\ total\ disponible}\right) * 100$$

Donde:

Valor liberado: cantidad de miligramos de polifenoles liberado desde el microencapsulado,

Valor total disponible: cantidad real de miligramos de polifenoles vigente en el microencapsulado.

CAPÍTULO III.- RESULTADO Y DISCUSIÓN

3.1. Análisis y discusión de resultados

3.1.1. Evaluación del material húmedo y seco

Tabla 7

Estados de residuos antes y después de secado.

Factor	Residuo húmedo	Residuo seco
Peso	*1230 g*	*115,25 g*
Estado fisico	*Flácido, pegadizo*	*Rígido*
Color	*Rosado-amarillento*	*Piel*
Humedad	*72,43%*	*93,21%*

En la tabla 7, se determina que existe cambios físicos en cuanto al estado de las pepas de la fruta seleccionada. De primera instancia, después del proceso de secado, el peso del mismo se redujo considerablemente al igual que si estado físico que terminó en un

estado rígido y sólido al igual que el porcentaje de humedad ya que esta última condición denota que se favoreció al proceso de degradación en contenidos de interés y denotando que una gran parte de residuos estaban ante presencia interior del agua y cambiando su color durante el mismo procedimiento y marcando la cantidad de materia prima con el que se empezó el procedimiento posterior.

3.1.2. Mezclas extractivas empleadas

En la figura 6, se presenta una evaluación de mezclas de diferentes concentraciones entre disolventes como el etanol y agua destilada al 30, 50 y 70% bajo una relación de material vegetal-disolvente de 1:20 (5 g por 100 mL) como distintos tratamientos para la mayor extracción de compuestos polifenólicos transformándolos a mg de equivalentes de ácido gálico por gramo extraído.

Figura 6.

Diagrama de Pareto de cuantificación de compuestos polifenólicos en distintos tratamientos.

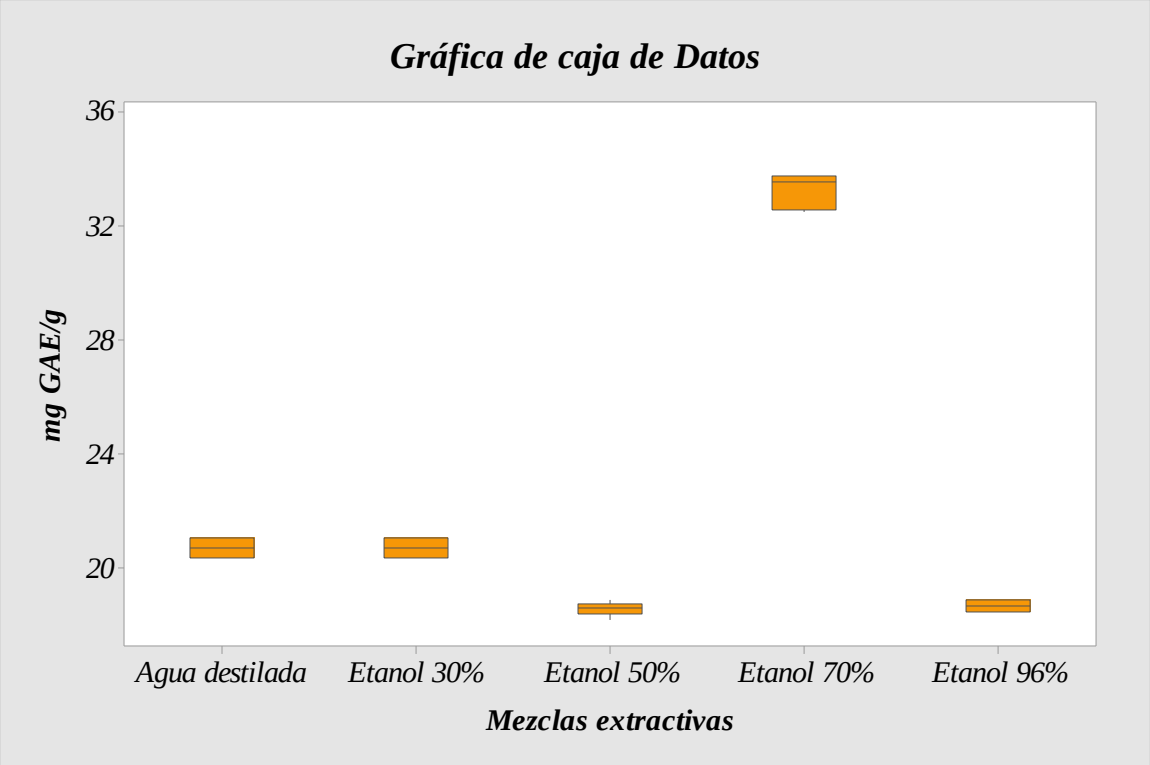


Tabla 7.

Cantidades de mg GAE por cada gramo extraído.

	Cantidad ($\frac{mg\ GAE}{g\ extracto\ seco}$)	**Desviación estándar**
Agua destilada (Etanol 0%)	13,43	0,69
Etanol 30%	21	0,54
Etanol 50%	18,68	0,47
Etanol 70%	32,41	0,84
Etanol 96%	18,82	1,11

Nota: *Los resultados de la cantidad de compuestos polifenólicos se obtuvieron usando la ecuación de la curva de calibración de ácido gálico.*

Con respecto a la tabla 7 y figura 6, la mejor mezcla extractiva es utilizando una concentración de etanol al 70% con una relación 1:20 con una recuperación mayor de 33,41 ($\frac{mg\ GAE}{g\ extracto\ seco}$) que

superó a mezclas de 50% y 30% y otorgando una clara ventaja contra los controles negativos y postivos. Esto denota que la influencia de ciertos parámetros como la temperatura de ebullición, concentraciones o la naturaleza química son considerables pero más en la influencia a diferencia del disolvente usado y su concentración determinada (Oreopoulou et al., 2019). Además, se ha reportado que las más óptimas mezclas hidroalcohólicas son entre una concentración de 50% hasta un 80% donde permiten una mayor extracción de diferentes compuestos polifenólicos y algunos flavonoides gracias a su polaridad y afinidad que esta concentración así como el tipo de disolvente pueden ser los más eficientes (Yusof et al., 2020). De tal forma, que los disolventes de agua y etanol indica que este último extrae de forma eficiente lo sobrante que el agua ocupada no puede sacar a los compuestos polares.

Estudios como (Ebrahimi & Lante, 2022) reporta que, a nivel molecular, el disolvente de etanol al 70% tiene la capacidad de incrementar o aumentar el grado de la rotura en la membrana celular lo que permite una mejor solubilidad para que los compuestos polifenólicos puedan salir con mayor facilidad al unísono que la polaridad disminuye la probabilidad de que las impurezas presentes puedan liberarse y que disminuya el contenido objetivo, siempre y cuando no se suba la concentración del etanol como se puede observar en la tabla 7. Asimismo, el efecto de la resistencia contra la difusión puede aumentar considerablemente al aumentar la concentración ya que el procedimiento de coagulación de proteínas inhibe la disolución de polifenoles y menorar la tasa de extracción (Weremfo et al., 2020).

Por último, esta cuantificación resultante, normalmente, brinda una prueba que puede existir una cierta relación con la capacidad antioxidante dando a entender que si existe una mezcla óptima en cuanto a la cantidad objetiva habrá una mayor cantidad de antioxidantes en etapas posteriores siempre y cuando se siga utilizando tratamientos y métodos que relacionen a la concentración de disolvente más extractiva.

3.1.3. Diseño experimental 3^2 para extracción de compuestos polifenólicos

Conforme a los procedimientos realizados, en la tabla se presentan los resultados obtenidos del diseño experimental. Cabe mencionar que existió 9 tratamientos donde se involucró a las variables de la relación material vegetal – sólido y el tiempo de agitación siendo estos 1:15, 1:20 y 1:25 a 30, 45 y 60 minutos a fin de determinar la mejor combinación de las condiciones mencionadas en

su cantidad de compuestos polifenólicos. El disolvente elegido proviene de etanol al 70% de acuerdo a la anterior fase.

Tabla 8.

Diseño Experimental para mejor tratamiento de extracción.

Tratamiento	Factor A x B	Réplicas	Cantidad $(\frac{mg\ GAE}{g\ extracto\ seco})$	Desviación estándar
1	1:15 x 30 min	1	30,03	1,73
		2	32,68	1,73
		3	29,45	1,73
2	1:15 x 45 min	1	40,41	0,54
		2	40,27	0,54
		3	41,27	0,54
3	1:15 x 60 min	1	37,33	1,53
		2	36,04	1,53
		3	39,09	1,53
4	1:20 x 30 min	1	410,51	2,75
		2	393,58	2,75
		3	402,61	2,75
5	1:20 x 45 min	1	312,39	2,42
		2	307,22	2,42
		3	299,89	2,42
6	1:20 x 60 min	1	49,93	0,87
		2	48,32	0,87
		3	48,55	0,87
7	1:25 x 30 min	1	51,37	1,7
		2	53,48	1,7
		3	54,72	1,7
8	1:25 x 45 min	1	77,55	1,8
		2	75,63	1,8

		3	79,23	1,8
		1	27,69	0,68
9	1:25 x 60 min	2	28,68	0,68
		3	27,39	0,68

De acuerdo con los resultados y análisis, el mejor tratamiento recae en el número 4 que involucra una relación material vegetal – disolvente etanol 70% que proporciona una cantidad superior de 410,51 ($\frac{mg\ GAE}{g\ extracto\ seco}$) de la primera réplica la cual ha superado notoriamente a las combinaciones restantes y con ciertas diferencias en cuanto a su tiempo de agitación posterior al mínimo cambio de estado y luego a su relación como factor primario y secundario, respectivamente. La combinación ganadora ha tenido una optimización en cuanto al proceso de extracción considerando que pudo equilibrar la relación entre la polaridad del disolvente para que pueda solubilizara los compuestos bioactivos presentes y evitar un proceso de degradación oxidativa acorde específicamente a los tiempos restantes de exposición (Ferreira & Sarraguça, 2024). Por otra parte, el tratamiento que ha dado una menor cantidad de compuestos fenólicos ha sido la relación 1:15 ya que tiene a saturar la muestra presente y esto puede limitar los gradientes respectivos a la concentración provocando una liberación muy limitada a la liberación de polifenoles hacia el tipo de solvente usado. De hecho, menciona que esto se refleja basándose en los principios de la cinética que explica que solo habrá una eficiencia entre la fase sólida y líquida siempre y cuando se encuentre un punto de equilibro de estos dos últimos (Bee Lin & Yen Leng, 2018).

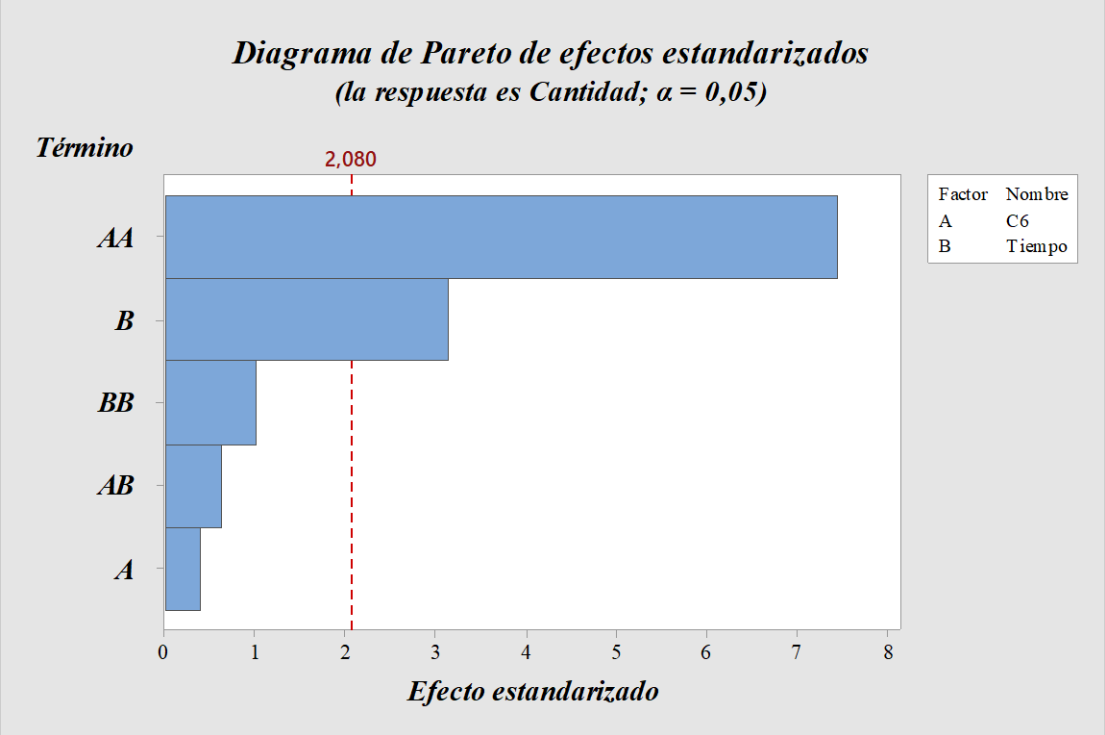
Mientras tanto, la relación 1:25 con sus respectivos tiempos presentan una disminución potencial al tratamiento anterior debido a la excesiva dilución a que puede provocar una eliminación parcial de la fuerza atractiva o impulsora de extracción de los compuestos de interés y la participación del tiempo, respectivamente, dando a relucir una reabsorción o un tiempo anormal a la exposición del oxígeno lo que los vuelve sensibles a la degradación y alternando negativamente a la estabilidad del mismo (Silva et al., 2024).

La otra variable, correspondiente al tiempo de agitación durante y después del cambio leve de estado, fue determinante en los valores finales ya que, 30 minutos fue adecuado en el tratamiento de relación 1:20, cumple con el comportamiento de salida y entrada que relaciona en la extracción

existe dos etapas ya descritas, la primera, también conocida como fase rápida inicial, domina al proceso de difusión en la matriz de la semilla, y la fase de pase lento para llegar a un equilibrio lo que determina que tiempo mayor a este no tendrá un efecto favorable si no lo contrario a tal punto que puede eliminar contenido importante ya que puede favorecer al proceso de deterioro y oxidación de dichos compuestos, hidrólisis de los compuestos taninos y la polimerización de las moléculas involucradas que tienden a menorar la reacción fuerte con reactivos de extracción. Esta degradación puede ser provocada por la exposición aumentada hacia el oxígeno y el calor mayor para ciertos compuestos (Mosca et al., 2018).

Figura 7.

Diagrama de Pareto de efectos relacionados.



Nota: *El factor A corresponde a la relación material vegetal – disolvente.*

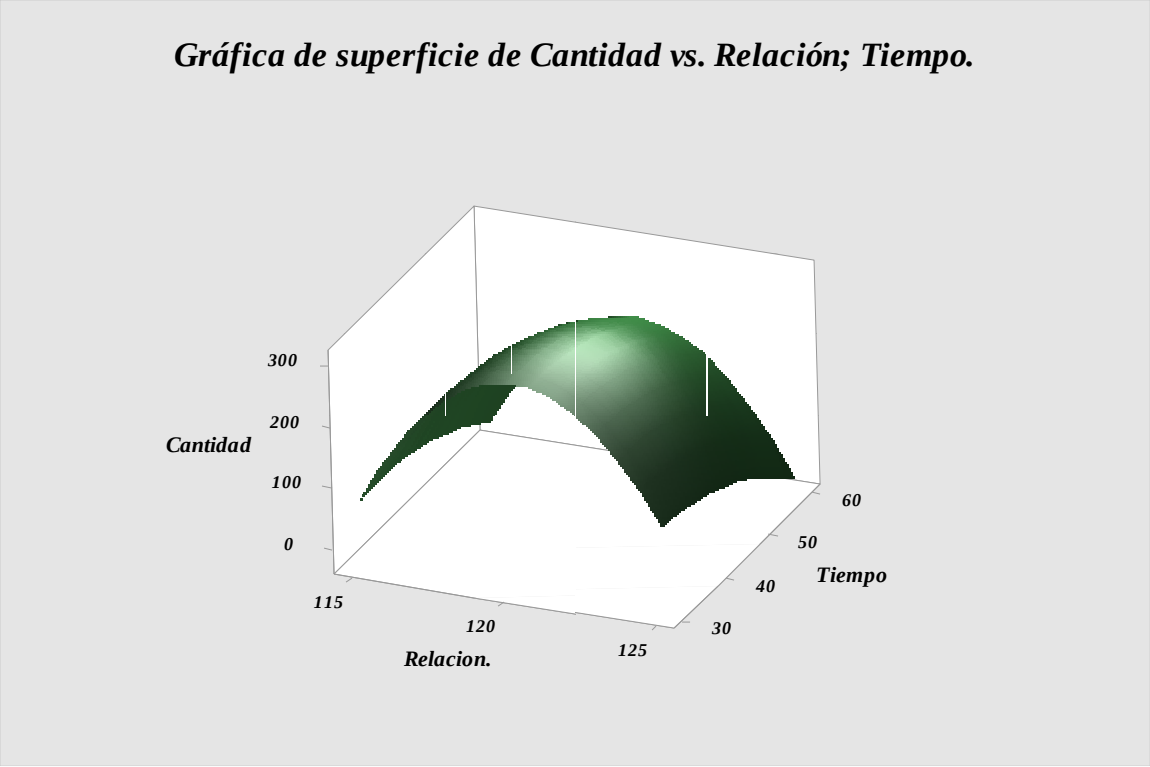
La figura 7 demuestra que existe un factor que es más determinante que el otro siendo este el factor AA, proveniente del efecto cuadrático, que corresponde a la relación material vegetal - disolvente de las ya mencionadas (1:15, 1:20 y 1:25). El p valor ha sido superado por este último demostrando que es importante y fundamental este tipo de relaciones. Además, se visualiza que la respuesta no sigue una forma en línea y que se encuentra en un adecuado punto que está dentro de los niveles.

Mientras que el factor B, correspondiente al tiempo de agitación post-ebullición (30, 45 y 60 minutos), sobrepasa el valor de p (umbral), aunque siendo menor significativa contra el anterior factor. Más, sin embargo, tiene una influencia significativa y considerable para que la cantidad de polifenoles a extraer sean superiores por esta influencia.

Por último, sus interacciones, es decir, la interacción BB, AB no sobrepasan la línea del umbral demostrando que es importante el ajuste óptimo de dicha relación y que no pueden ser predominantes para este procedimiento y mucho menos para la optimización de tratamientos.

Figura 8.

Gráfica de superficie.



La interacción entre la cantidad con respecto a la relación mencionada con el tiempo es funcional a los dos factores mencionados debido a que la superficie evidencia una curvidad que está representado al efecto cuadrático de las relaciones de material vegetal y disolvente. Este le da una sustentabilidad fuerte a lo observado en el diagrama de Pareto donde se evidenció que el efecto más importante e influyente corresponde a esta relación. Su elevación corresponde a la cantidad de materia prima y sus tratamientos donde se puede afirmar que una relación 1:20 es el máximo a

llegar en cuanto a la cantidad extraída o cuantificada, es decir, esta última representa el punto más óptimo del procedimiento y que se da una cantidad mayor de transferencia de los compuestos polifenólicos. Lo mismo ocurre con el factor B que era el tiempo donde tiene una participación en el aumento del tiempo, aunque menos significativa a comparación del factor A. De hecho, al aumentar el tiempo al límite baja de forma ligera la cantidad presente.

3.1.4. Eficiencia cuantitativa de la microencapsulación

Se utilizó las ecuaciones 10 y 11 para determinar la eficiencia de la microencapsulación junto con el % de inhibición del DPPH respectivamente. Además, se determinó el porcentaje de rendimiento del mismo

Tabla 9.

Resultados de eficiencia de microencapsulación.

Muestras	Concentración $mg\ GAE/mL$	Rendimiento del proceso	Eficiencia
Contenido total disuelto en agua	298,22	46,7 %	69,5%
Contenido superficial disuelto en etanol	91,2413		

De acuerdo a la tabla 9, el contenido de polifenóles que están dentro del microencapsulado se encontraron detenidos en el material encapsulaste seleccionado en un valor diferente al superficial que fue disuelto por etanol debido lo que representa un 30% de los compuestos polifenólicos de facción superficial o no encapsulada dando como resultado que un 70% de los compuestos bioactivos de interés han quedado cubiertos dentro de las microesferas favorablemente. El estado de esta matriz polisacárida se comporta de forma higroscópica debido a que la goma arábica puede brindar un porcentaje moderado – alto dependiendo de la concentración presente en concentrado encapsulado, el método elegido para el secado y proporciones entre la pared y su núcleo (Tupuna et al., 2018). Sin embargo, el rendimiento esperado fue totalmente desviado al real ya que se considera de nivel bajo a diferencia de valores normales de otras frutas con el mismo proceso. Aunque la naturaleza de los componentes fue denigrada en el proceso de extracción viéndose muy afectada, el resultado se relaciona con una masa baja de contenido utilizado siendo este a 2,18 g de microencapsulado. A este contenido es relativamente normal que el producto final tienda a

pegarse a las paredes del equipo usado, tienda a degradarse acorde a como se encontraron las muestras o que pueda bajar su contenido en el ciclo de microencapsulado (Ding et al., 2020).

3.1.5. Inhibición de DPPH

La tabla 10 se evidencia los resultados del porcentaje de inhibición

Tabla 10.

Resultados del porcentaje de inhibición.

Muestra	Porcentaje de inhibición de DPPH	Concentración ($\mu mol\ E.Trolox/mL^{-1}$)
Sólidos concentrados	92,59	520
Microencapsulación	50,17	279

El porcentaje de inhibición difiere entre la muestra de sólidos concentrados contra la microencapsulación ya que el primero presenta un porcentaje de inhibición de DPPH de 92,59% lo que demuestra una gran capacidad antioxidante junto con estabilidad de los compuestos en estado libre debido a que, principalmente, no tiene límite alguno por lo que su efecto de liberación puede ser mayor y las interacciones entre el radical DPPH otorga una señal rápida de la actividad antioxidante con los compuestos bioactivos (Dawidowicz et al., 2012). Por otra parte, el porcentaje mostrado en la tabla 10 es totalmente inferior al anterior denotando, positivamente, por la presencia de compuestos polifenólicos aún en estado activo a pesar de estar sujeto al spray-dryer.

De hecho, su diferencia radica que existe un 42,42% de pérdida de la actividad antioxidante debido al procedimiento de encapsulado. Sin embargo, (Nieto et al., 2023) reporta que la reducción no obedece a una degradación del antioxidante si no que una fracción del mismo se queda retenida al interior de la matriz. Además, un porcentaje del compuesto de interés, siendo este equivalente a 18,512%, no puede liberase completamente en el DPPH lo que sugiere que el microencapsulado final aún puede contener una parte significativa del mismo.

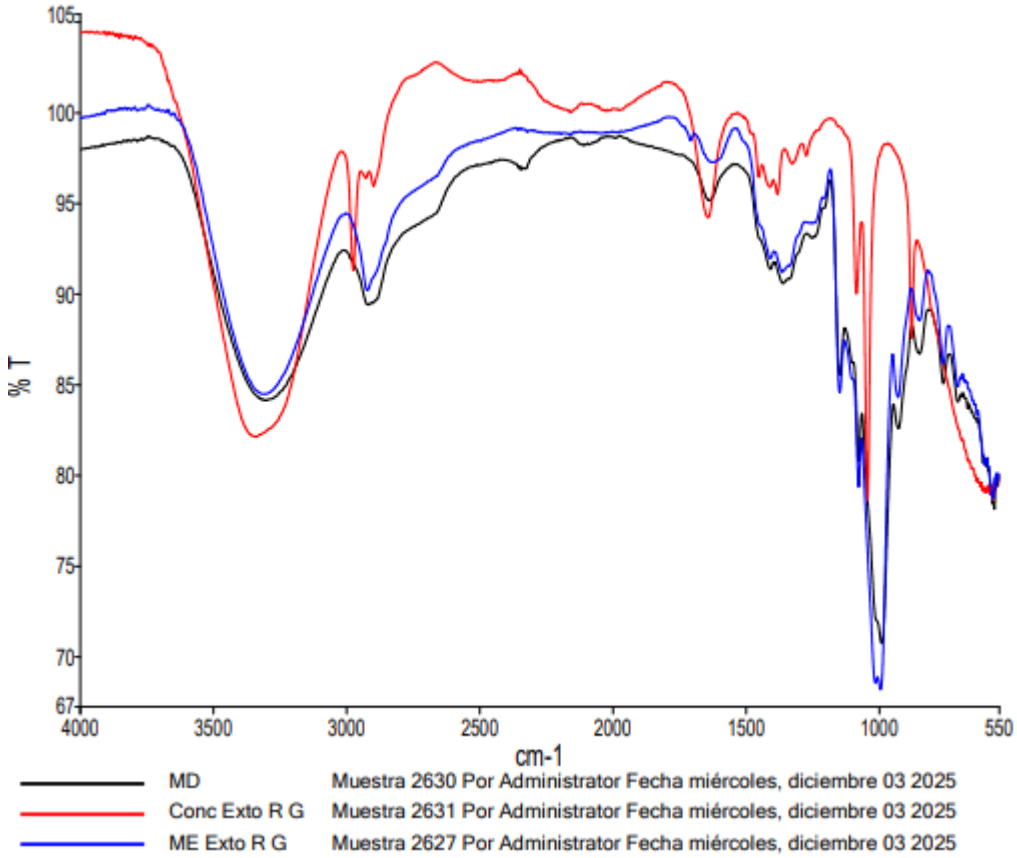
El tratamiento realizado denota que la capacidad antioxidante reside parcialmente en la microencapsulación de la guayaba. Se evidencia que la goma arábica marca la eficiencia de

cálculos al ser un material adecuado a su función que puede dar protección a los compuestos de tipo termolábiles en diferentes procedimientos.

3.1.6. Espectro infrarrojo comparativo de microencapsulado, no microencapsulado y mezcla de polímeros

Figura 9.

Espectro comparativo.



La figura 9 indica los diferentes grupos funcionales que están presentes en la muestra concentrada resultante del rotavapor por medio del espectrofotómetro infrarrojo por medio de bandas correspondientes a ciertos compuestos fenólicos, flavonoides y moléculas asociadas en la evaluación de la actividad antioxidantes que han sido característicos en frutas dulces como la guayaba. El principal resultado corresponde a la banda en 3319,62 cm^{-1} la cual ha sido identificado y es correspondiente a cierta vibración de estiramiento del grupo funcional O-H la cual es una característica de grupos hidroxilo fenólicos donde integran una cantidad considerable de compuestos de esta naturaleza como son los ácidos fenólicos, taninos o flavonoides (Azeez &

Shenbagaraman, 2025). La anchura de la banda, de acuerdo a puede representar de esa forma debido a que existen un entrelazamiento conectados por los puentes entre hidrógenos que otorgan la seguridad de la presencia de un extracto basto en antioxidantes (Rahmani et al., 2022). La cantidad alta de esta banda se correlaciona con la cantidad encontrada en el mejor tratamiento del diseño experimental siendo 1:20 a 30 minutos con un alto contenido de mg GAE / g extraído y otorga solidez a la eficiencia del solvente usado ya que respalda su uso de acuerdo a la presencia de una gran cantidad extraída de estos compuestos.

La banda correspondiente y cercano a los 297,23 cm^{-1} se relaciona con el proceso de estiramiento de grupos alifáticos C-H, como lo es CH_2 y CH_3 las cuales son relacionas a la presencia de cadenas carbonatadas que pueden provenir de estructuras vegetales mencionando a compuestos como azúcares, terpenos, compuestos no aromáticos o ácidos orgánicos. De esta forma, la materia utilizada reafirma el gran contenido de compuestos bioactivos que pueden contener, así como la adaptación compleja a diferentes ambientes (Jain et al., 2023).

La presencia de ciertas estructuras polifenólicas en una forma bastamente conjugadas está respaldada con la presencia de la banda cercana a 1645,15 cm^{-1} ya que esta representa al proceso de estiramiento que sufre los $C = O$ grupos carbonilo o, a su vez, ciertas vibraciones representativas de la presencia de grupos de enlace doble carbono – carbono $C = C$ (Pasieczna-patkowska et al., 2025). Gracias a ello, se confirma la presencia de estructuras polifenólicas combinadas entre sí. Por ende, ciertos compuestos pueden denotar estas vibraciones que, entre estas, se puede destacar a las catequinas, quercetinas, ácido elágico o kaempfenol que confirma una estabilidad en las estructuras de los compuestos fenólicos.

Un punto a destacar corresponde al grupo 1408,02 cm^{-1} y 1043,54 cm^{-1} son referentes en el proceso de estiramiento entre los categorizados de compuestos polifenólicos, glicósidos o fenólicos. Estos son representativos de un extracto vegetal donde pueden contener un grupo de polifenolicos llamados glicosilados, moléculas que otorga una mayor solubilidad, estabilidad y absorción, que es representativo de una posible presencia de quecetina-3-glucósido o parte de una celulosa residual, dependiendo del caso (Pasieczna-patkowska et al., 2025).

En la parte terminante, se observa una banda de 887,44 cm^{-1} existente que denota una vibración del enlace del C-H de tipo aromático que se presentan en momentos de rotura y

deformación de anillos bencénicos sustituidos en sus etapas finales. Esta banda ha sido característica de compuestos fenólicos modificados con sustituciones variadas hacia el anillo aromático provenientes de los frutos de la planta de la guayaba (Cheng et al., 2022).

De acuerdo a la figura 9, se puede encontrar bandas que corresponden a sus componentes de formación, es decir, goma arábica y el extracto con sus respectivos bioactivos denotando que existe grupos funcionales. La banda correspondiente a 3302, 89 cm^{-1} con un porcentaje de 84,53%, aproximadamente, hace referencia al proceso característico del grupo hidroxilo sobre el estiramiento del mismo grupo. Su característica de amplia banda da un indicio de que existe grupos polifenólicos que son característicos de la fruta en cuestión, así como grupos de polisacáridos del material encapsulante. La banda es ligeramente afectada por la unión que se forma por H-bonding junto con la matriz utilizada para la encapsulación, y al agua presente que va cambiando de energía vibracional (Azeez & Shenbagaraman, 2025).

La banda de tipo alifática, correspondiente a 2912,5 cm^{-1} , demuestra que la muestra en cuestión no fue influenciada notoriamente en el proceso de secado por aspersión al no degradar cadenas carbonatadas por medio de su estabilidad. Además, es conocido que a este tipo de bandas demuestra la existencia de bandas alifáticas de polisacáridos (Kotha et al., 2022). Mientras que la banda resultante de 1635, 50 cm^{-1} denota que los compuestos polifenolicos están presentes en las muestras extraídas al ser una banda representativa de anillos aromáticos de los polifenoles y carbonilos asociados o mezclados con los flavonoides y que el proceso de microencapsular no afectó el contenido de polifenoles al ser un protector de la matriz. De igual forma, la banda 1365,50 cm^{-1} denota vibraciones indispensables para los polisacáridos en cadenas largas de los grupos CH y CH_2 lo que reafirma el material elegido que es goma arábica. De hecho, las bandas de 1147, 59 cm^{-1}, 1076,52 cm^{-1} y 1005, 89 cm^{-1} pertenecen a polisacáridos o vibraciones, alcoholes o glicósilos y de estéres o fenoles, respectivamente convirtiéndose en una interpenetración, característica que menciona que el microencapsulado fue efectivo Finalmente, en los picos cercanos a 929,7 cm^{-1} y 850,47 cm^{-1} representan la existencia y presencia de anillos aromáticos (Hayat et al., 2020).

Las bandas referentes a los compuestos aromáticos libres y fenoles no aparecen en la figura 10 demostrando la existencia únicamente de la goma arábica con la cualidad del mismo en formar reacciones no esperadas representándose en la banda de 1637, 34 cm^{-1} como es la deformación

de agua relacionada a que puede existir pequeñas interacciones con este último (Feraru et al., 2023) y de igual forma con grupos carboxilato dando a entender que el material de recubrimiento elegido, por sí solo, no genera, aporta o menor la cantidad real de compuestos fenólicos . La banda ancha O-H de 1146, 48cm^{-1} , 1076,21 cm^{-1} y 999, 59 cm^{-1}son relacionadas a un proceso de estiramiento C-O-C y C-O que pueden representar a enlaces glicosídicos en los polisacáridos. Finalmente, la banda en 2908, 69 cm^{-1} demuestra que, gran parte de la goma arábica está formada de polisacáridos ramificados que, por medio de la presentación de cadenas carbonadas y glicosídicas, sustentan su presencia (Azeez & Shenbagaraman, 2025).

3.2. Verificación de hipótesis

$H_0 \neq 0$

Se rechaza la hipótesis nula planteada

$H_a = 0$

Se acepta la hipótesis alternativa planteada y se concluye que se consiguió un microencapsulado con una capacidad antioxidantes considerable provenientes de residuos agroindustriales de la guayaba (*Psidium guajava* L.)

4. CAPÍTULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- Se obtuvo una cantidad aproximadamente de 502 gramos de residuos agroindustrales de nuestra fruta objeto por medio de procesos adecuados de secado y trituración que aseguró que el polvo resultante fuese uniforme en su consistencia y en su estabilidad para procesos posteriores de acuerdo al uso programado.
- Se determinó la cantidad polifenólica existente en las muestras selectas gracias al método de Folin para la cuantificación de su contenido que identificó al etanol al 70% junto a relación de 1:20 de material vegetal – disolvente por tiempo de 30 minutos como la mejor extracción de compuestos polifenólicos debido a la fracción hidroalcohólica que favorece a la solubilidad de estos compuestos y estabilidad de los mismos.
- Se implementó un proceso de microencapsulación de forma eficiente resultante del secado por aspersión y uso de goma arábica como material para la capa protectora que brindó un polvo homogéneo y estable. La eficiencia de este dio un 69,5% acorde a la retención de

compuestos fenólicos fundamentado con espectro infrarrojo. Además, la capacidad antioxidante del mismo abarcó una cantidad considerable en funcionalidad y estabilidad.

4.2. Recomendaciones

- Evaluar métodos alternativos mencionados para la comparación de cantidad y eficiencia de microencapsulado
- Utilizar otros materiales y combinaciones agentes encapsulantes para la observación de sus resultados mediante los análisis correspondientes.
- Obtener una cantidad de masa superior para trabar a una escala piloto con uso de equipos y reactivos que contengan grandes cantidades.

5. Materiales de referencia

5.1. Referencias bibliográficas

Afshari, K., Javanmard, M., Yousef, D., Alireza, R., & Chenarbon, H. A. (2023). Physicochemical and control releasing properties of date pit (Phoenix dactylifera L .) phenolic compounds microencapsulated through fluidized- - bed method. *Food Science & Nutrition*, 1367–1382. https://doi.org/10.1002/fsn3.3173

Alexandre, R. (2019). SuberSkin - plant defensive polymers in wound healing. *Universidad Nova de Lisboa*, *January*, 1–17.

Alvi, T., Asif, Z., & Iqbal Khan, M. K. (2022). Clean label extraction of bioactive compounds from food waste through microwave-assisted extraction technique-A review. *Food Bioscience*, *46*, 101580. https://doi.org/10.1016/J.FBIO.2022.101580

Aly, S. H., Eldahshan, O. A., Al-rashood, S. T., Binjubair, F. A., Hassab, M. A. El, Eldehna, W. M., Acqua, S. D., & Zengin, G. (2022). Activities Supported by In-Silico Study of n - Hexane Extract and Essential Oil of Guava Leaves. *Molecules*, *27*(1), 1–18.

Amaral, V. A., Alves, T. F. R., de Souza, J. F., Batain, F., Crescencio, K. M. de M., Soeiro, V. S., de Barros, C. T., & Chaud, M. V. (2021). Phenolic compounds from Psidium guajava (Linn.) leaves: Effect of the extraction-assisted method upon total phenolics content and antioxidant activity. *Biointerface Research in Applied Chemistry*, *11*(2), 9346–9357. https://doi.org/10.33263/BRIAC112.93469357

Anand, A. V., Velayuthaprabhu, S., Rengarajan, R. L., Sampathkumar, P., & Radhakrishnan, R. (2020). Bioactive Compounds of Guava (Psidium guajava L.). *Reference Series in Phytochemistry*, 1–26. https://doi.org/10.1007/978-3-030-06120-3_37-1

Azeez, S., & Shenbagaraman, R. (2025). Fourier transform infrared spectroscopy in characterization of bionanocomposites. *Characterization Techniques in Bionanocomposites: Advances, Challenges, and Applications*, 209–227. https://doi.org/10.1016/B978-0-443-22067-8.00008-3

Bee Lin, C., & Yen Leng, C. (2018). Solid-Liquid Extraction Kinetics of Total Phenolic Compounds (TPC) from Red Dates. *MATEC Web of Conferences*, *152*, 1–17. https://doi.org/10.1051/matecconf/201815201001

Benítez-Estrada, A., Villanueva-Sánchez, J., González-Rosendo, G., Alcántar-Rodríguez, V., Puga-Díaz, R., & Quintero-Guitiérrez, A. (2020). Determinación de la capacidad antioxidante total de alimentos y plasma humano por fotoquimioluminiscencia: Correlación con ensayos fluorométricos (ORAC) y espectrofotométricos (FRAP). *TIP Revista Especializada En Ciencias Químico-Biológicas*, 1–9.

Bylappa, Y., & Nag, A. (2025). A statistical approach to study anatomical changes of pink guava cultivar (Psidium guajava L. cv Arka Kiran) during its ripening at the room temperature storage. *Kuwait Journal of Science*, *52*(1), 100295. https://doi.org/10.1016/j.kjs.2024.100295

Calder, P. C., & Kreider, R. B. (2025). Enhanced Vitamin C Delivery : A Systematic Literature Review Assessing the Efficacy and Safety of Alternative Supplement Forms in Healthy Adults. *Nutrients*, 1–18.

Campo, L., & Ramírez-navas, J. (2021). Antioxidant capacity in ice cream and dairy products. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, *8*(1), 23–41.

Chandana, M. R., Vinod, B. R., Virendra, G. A., Sanjay, S. R., Singh, K., & Asrey, R. (2025). Unravelling the diversity of flavor volatiles in Indian guava (Psidium guajava L .) genotypes using GC – MS and multivariate analyses. *Discover Food*, 1–15.

Chen, J., Yang, J., Ma, L., Li, J., Shahzad, N., & Kim, C. K. (2020). Author Correction:

Structure-antioxidant activity relationship of methoxy, phenolic hydroxyl, and carboxylic acid groups of phenolic acids (Scientific Reports, (2020), 10, 1, (2611), 10.1038/s41598-020-59451-z). *Scientific Reports*, *10*(1), 1–9. https://doi.org/10.1038/s41598-020-62493-y

Chen, Z., Swisłocka, R., Choinska, R., Marszalek, K., Dabrowska, A., Lewandowski, W., & Lewandowska, H. (2024). Exploring the Correlation Between the Molecular Structure and Biological Activities of Metal – Phenolic Compound Complexes : Research and Description of the Role of Metal Ions in Improving the Antioxidant Activities of Phenolic Compounds. *Molecurar Sciences*, 2–1.

Cheng, X., Wei, M., Tian, G., Luo, Y., & Hua, W. (2022). Vibrationally-Resolved X - ray Photoelectron Spectra of Six Polycyclic Aromatic Hydrocarbons from First-Principles Simulations. *The Journal of Physical Chemistry*, 3–12. https://doi.org/10.1021/acs.jpca.2c04426

Choudhury, N., Meghwal, M., & Das, K. (2021). Microencapsulation: An overview on concepts, methods, properties and applications in foods. In *Food Frontiers* (Vol. 2, Issue 4, pp. 426–442). John Wiley and Sons Inc. https://doi.org/10.1002/fft2.94

Cooper, J. A., Mintz, B. R., Palumbo, S. L., & Li, W. J. (2013). Assays for determining cell differentiation in biomaterials. *Characterization of Biomaterials*, 101–137. https://doi.org/10.1533/9780857093684.101

Costo, A., Vida, D., Caso, L., Ice, S., & Case, C. (2022). Analysis of the Cost , of the Product Life Cycle According to the Legal Basis : *ESPOCH*, *7*(2), 1059–1076. https://doi.org/10.23857/pc.v7i1.3633

Dang, N.-D., Nguyen, M.-T., Bui, B.-H., Mai, Q.-Q., Nguyen, P.-V., & Nguyen, Q.-V. (2024). Optimizing Polyphenolic Extraction from WildGuava Leaves: A Response Surface MethodologyApproach to Antioxidant and α-GlucosidaseInhibitory Activities. *SAGE*, 3–15. https://doi.org/10.1177/1934578X241308480

Dawidowicz, A. L., Wianowska, D., & Olszowy, M. (2012). On practical problems in estimation of antioxidant activity of compounds by DPPH Å method (Problems in estimation of antioxidant activity). *Food Chemistry*, *131*(3), 1037–1043.

https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.09.067

Ding, Z., Tao, T., Yin, X., Prakash, S., Wang, X., Zhao, Y., Han, J., & Wang, Z. (2020). Improved encapsulation efficiency and storage stability of spray dried microencapsulated lutein with carbohydrates combinations as encapsulating material: microencapsulated spray-dried lutein. *Lwt*, *124*(October 2019), 109139. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109139

Dumanovic, J., Nepovimova, E., Natic, M., Kuca, K., & Jacevic, V. (2021). The Significance of Reactive Oxygen Species and Antioxidant Defense System in Plants : A Concise Overview. *Frontiers in Plant Science*, *January*, 3–10. https://doi.org/10.3389/fpls.2020.552969

Dumitraşcu, L., Stănciuc, N., Borda, D., Neagu, C., Enachi, E., Barbu, V., & Aprodu, I. (2021). Microencapsulation of bioactive compounds from cornelian cherry fruits using different biopolymers with soy proteins. *Food Bioscience*, *41*(April 2020). https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101032

Ebrahimi, P., & Lante, A. (2022). Environmentally Friendly Techniques for the Recovery of Polyphenols from Food By-Products and Their Impact on Polyphenol Oxidase: A Critical Review. *Applied Sciences (Switzerland)*, *12*(4), 5–19. https://doi.org/10.3390/app12041923

Eswaran U, G. M., & Srivastav, P. P. (2023). Morphological and biochemical modification of guava processing industrial bio-mass by dielectric barrier discharge atmospheric plasma and effect on yield of bio-materials. *Journal of Agriculture and Food Research*, *14*(June), 100679. https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100679

Feraru, A., Tóth, Z.-R., Muresan-Pop, M., Baia, M., Gyulavári, T., Páll, E., Turcu, R., Magyari, K., & Baia, L. (2023). Anionic Polysaccharide Cryogels : Interaction and In Vitro Behavior of Alginate – Gum Arabic Composites. *Polymers*, 2–17.

Ferreira, C., & Sarraguça, M. (2024). A Comprehensive Review on Deep Eutectic Solvents and Its Use to Extract Bioactive Compounds of Pharmaceutical Interest. *Pharmaceuticals*, *17*(1). https://doi.org/10.3390/ph17010124

Figueroa, J., Torres, N., Morales, M., Herrera, B., Aranda, M., Dorta, E., & López-Alarcón, C. (2023). Antioxidant Capacity of Free and Peptide Tryptophan Residues Determined by the ORAC (Oxygen Radical Absorbance Capacity) Assay Is Modulated by Radical-Radical

Reactions and Oxidation Products. *Foods*, 2–10.

Goswami, A., Phonglo, P., Chutia, N., & Hazarika, B. P. (2024). The Potential Bioactive Components in Fruits Wastes as Value-Added Products from the Fruit Processing Industry : A Review. *Journal of Nutrition & Food Safety, October*, 3–10. https://doi.org/10.9734/ejnfs/2024/v16i101567

Guitiérrez, I., López, S., Magadán, P., Fernández, L., Pérez, Á., Tunón, M., Miguélez, E., Villar, C., & Lombó, F. (2021). Terpenoids and Polyphenols as Natural Antioxidant Agents in Food Preservation. *Antioxidants*, 4–20.

Hayat, J., Akodad, M., Moumen, A., Baghour, M., Skalli, A., Ezrari, S., & Belmalha, S. (2020). Heliyon Phytochemical screening , polyphenols , fl avonoids and tannin content , antioxidant activities and FTIR characterization of Marrubium vulgare L . from 2 different localities of Northeast of Morocco. *Heliyon*, *6*, 2020. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05609

Hussain, S. Z., Nasser, B., Qadri, T., Fatima, T., & Bhat, T. A. (2021). *Guava (Psidium Guajava)- Morphology, Taxonomy, Composition and Health Benefits*.

Ijarotimi, S., & David Oluwajuyitan, T. (2020). Chemical, Antioxidant, Glycaemic Index and Sensory Properties of Breakfast Meals from Sorghum, Soy-Cake and Guava Leaf Extract. *Nigerian Food Journal*, *38*(2), 1–16. https://www.researchgate.net/publication/357680771

Jain, D., Meena, M., Singh, D., & Janmeda, P. (2023). Structural characterization of bioactive compounds of Gymnosporia senegalensis (Lam.) Loes. using advanced analytical technique like FT-IR, GC-MS and 1H-NMR spectroscopy. *Mohanlal Sukhadia University*, 351–361.

Kapoor, S., Gandhi, N., Tyagi, S. K., Kaur, A., & Mahajan, B. V. C. (2020). Extraction and characterization of guava seed oil: A novel industrial byproduct. *Lwt*, *132*(July), 109882. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109882

Kotha, R. R., Zhang, K., Yehl, P., & Kumar, A. (2022). Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis Oxidative degradation in pharmaceuticals : Mechanism and stabilization of a spray-dried amorphous drug – A case study. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, *220*(February), 114962.

https://doi.org/10.1016/j.jpba.2022.114962

Kumar, M., Tomar, M., Amarowicz, R., Saurabh, V., Nair, M. S., Maheshwari, C., Sasi, M., Prajapati, U., Hasan, M., Singh, S., Changan, S., Prajapat, R. K., Berwal, M. K., & Satankar, V. (2021). Guava (Psidium guajava L .) Leaves : Nutritional Composition. *Foods*, *10*(752), 1–20.

Kumar, S., Baniwal, P., Kaur, J., & Kumar, H. (2020). Kachnar (Bauhinia variegata). In *Antioxidants in Fruits: Properties and Health Benefits*. https://doi.org/10.1007/978-981-15-7285-2_18

Ling, S., Hussain, S., Xiong, T., Lui, J., Lu, Y., Wang, S., & Zeng, X. (2022). Volatile Signals From Guava Plants Prime Defense Signaling and Increase Jasmonate-Dependent Herbivore Resistance in Neighboring Citrus Plants. *Frontiers in P*, *13*(March), 1–15. https://doi.org/10.3389/fpls.2022.833562

Lok, B., Sandai, D., Baharetha, H. M., V, M. N., Asif, M., & Tan, C. S. (2020). Anticancer effect of Psidium guajava (Guava) leaf extracts against colorectal cancer through inhibition of angiogenesis. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, *10*(April), 293–307. https://doi.org/10.4103/2221-1691.284944

Losada-Barreiro, S., Sezgin-Bayindir, Z., Paiva-Martins, F., & Brazo-Díaz-Carlos. (2022). Biochemistry of Antioxidants : Mechanisms and Pharmaceutical Applications. *Biomedicines*, 3–21.

Márquez, C., Otero, C., Rojano, B., & Osorio, J. (2014). Actividad antioxidante y concentración de compuestos fenólicos del tomate de árbol (cyphomandra betacea s.) en poscosecha. *Temas Agrarios*, *19*(2), 173–184. https://doi.org/10.21897/rta.v19i2.732

Matiacevich, S., Soto, D., & Guitiérrez, M. (2023). Economía circular : obtención y encapsulación de compuestos polifenólicos provenientes de residuos agroindustriales. *Universidad de Santiago de Chile*, *10*, 77–100.

Mosca, F., Hidalgo, G. I., Villasante, J., & Almajano, M. P. (2018). Continuous or batch solid-liquid extraction of antioxidant compounds from seeds of Sterculia apetala plant and kinetic release study. *Molecules*, *23*(7). https://doi.org/10.3390/molecules23071759

Mottaleb, K. A., Kruseman, G., Frija, A., Sonder, K., & Lopez-Ridaura, S. (2023). Projecting wheat demand in China and India for 2030 and 2050: Implications for food security. *Frontiers in Nutrition*, *9*. https://doi.org/10.3389/fnut.2022.1077443

Munteanu, I., & Apetrei, C. (2021). Analytical Methods Used in Determining Antioxidant Activity : A Review. *International Journal of Molecular Sciences*, 4–21.

Narváez, C., Inampues, M., Hurtadi, A.-M., Parada, F.-A., & Vincken, J.-P. (2020). Journal of Food Composition and Analysis The phenolic compounds , tocopherols , and phytosterols in the edible oil of guava (Psidium guava) seeds obtained by supercritical CO 2 extraction. *Journal of Food Composition and Analysis*, *89*(February), 103467. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2020.103467

Nei, W., Dos, L., Celeste, M., Maria, A., Santana, D. D. A., Azevedo, R. S. A., & Caldas, C. (2017). Simultaneous determination of 13 phenolic bioactive compounds in guava (Psidium guajava L.) by HPLC-PAD with evaluation using PCA and Neural Network analysis (NNA). *Microchemical Journal*, 2–27. https://doi.org/10.1016/j.microc.2017.04.029

Nieto, J. A., Fernández-Jalao, I., Siles-Sánchez, M. de las N., Santoyo, S., & Jaime, L. (2023). Implication of the Polymeric Phenolic Fraction and Matrix Effect on the Antioxidant Activity, Bioaccessibility, and Bioavailability of Grape Stem Extracts. *Molecules*, *28*(6). https://doi.org/10.3390/molecules28062461

Oreopoulou, A., Tsimogiannis, D., & Oreopoulou, V. (2019). Extraction of Polyphenols From Aromatic and Medicinal Plants: An Overview of the Methods and the Effect of Extraction Parameters. *Polyphenols in Plants*, 243–259. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813768-0.00025-6

Otálora, M. C., Wilches-Torres, A., & Gómez Castaño, J. A. (2022). Spray-Drying Microencapsulation of Pink Guava (Psidium guajava) Carotenoids Using Mucilage from Opuntia ficus-indica Cladodes and Aloe Vera Leaves as Encapsulating Materials. *Polymers*, *14*(2). https://doi.org/10.3390/polym14020310

Ozkan, G., Franco, P., De Marco, I., Xiao, J., & Capanoglu, E. (2019). A review of microencapsulation methods for food antioxidants: Principles, advantages, drawbacks and

applications. *Food Chemistry*, *272*(August 2018), 494–506. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.07.205

Pandey, S. P., Shukla, T., Dhote, V. K., Mishra, D. K., Maheshwari, R., & Tekade, R. K. (2019). Use of Polymers in Controlled Release of Active Agents. *Basic Fundamentals of Drug Delivery*, 113–172. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817909-3.00004-2

Pasieczna-patkowska, S., Cichy, M., & Flieger, J. (2025). Application of Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy in Characterization of Green Synthesized Nanoparticles. *Molecules*, 1–36.

Pérez, M., Dominguez-López, I., & Lamuela-Raventós, R. M. (2023). The Chemistry Behind the Folin-Ciocalteu Method for the Estimation of (Poly)phenol Content in Food: Total Phenolic Intake in a Mediterranean Dietary Pattern. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *71*(46), 17543–17553. https://doi.org/10.1021/acs.jafc.3c04022

Pimentel-moral, S., Verardo, V., Robert, P., Segura-carretero, A., & Martínez-férez, A. (2016). Nanoencapsulation strategies applied to maximize target delivery of intact polyphenols. In *Encapsulations*. Elsevier Inc. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804307-3/00013-2

Pino, J. A., & Trujillo, R. (2021). Characterization of odour-active compounds of sour guava (Psidium acidum[DC.]Landrum) fruit by gas chromatography-olfactometry and odour activity value. *Flavour and Fragrance Journal*, *36*(2), 207–212. https://doi.org/10.1002/ffj.3632

Pintanela, L., Cristina, H., Jansen, C., Niemeyer, G., Santos, B., Dellinghausen, C., Freitas, J., & Carlos, R. (2023). Food Bioscience Encapsulation of phenolic compounds through the complex coacervation technique for the enrichment of diet chewable candies. *Food Bioscience*, *51*(June 2022), 102256. https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.102256

Rahmani, R., Perveen, F., Benhalima, N., Djafri, A., Chouaih, A., Djafri, A., Kanoun, M. B., & Goumri-said, S. (2022). FTIR , NMR and UV – Visible Spectral Investigations , Theoretical Calculations , Topological Analysis , Chemical Stablity , and Molecular Docking Study on Novel Bioactive Compound : The 5- (5-Nitro Molecular Docking Study on Novel Bioactive Compound : Th. *Polycyclic Aromatic Compounds*, 1–22.

https://doi.org/10.1080/10406638.2022.2094971

Rahut, D. B., Aryal, J. P., Manchanda, N., & Sonobe, T. (2022). Expectations for household food security in the coming decades: A global scenario. *Future Foods: Global Trends, Opportunities, and Sustainability Challenges*, 107–131. https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91001-9.00002-5

Regueiro, J. (2014). Ultrasound-assisted emulsification – microextraction for the determination of phenolic compounds in olive oils. *Food Chemistry*, *150*, 128–136. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.10.157

Rios-Aguirre, S., & Gil-Garzón, M. A. (2021). Microencapsulación por secado por aspersión de compuestos bioactivos en diversas matrices: una revisión. *TecnoLógicas*, *24*(51), e1836. https://doi.org/10.22430/22565337.1836

Rumpf, J., Burger, R., & Schulze, M. (2023). Statistical evaluation of DPPH, ABTS, FRAP, and Folin-Ciocalteu assays to assess the antioxidant capacity of lignins. *International Journal of Biological Macromolecules*, *233*, 123470. https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2023.123470

Santos, C., Fonseca, J., Coutinho, J., Trindade, H., & Jensen, L. S. (2021). Chemical properties of agro-waste compost affect greenhouse gas emission from soils through changed C and N mineralisation. *Biology and Fertility of Soils*, *57*(6), 781–792. https://doi.org/10.1007/s00374-021-01560-6

Šárka, E., Sluková, M., & Henke, S. (2021). Changes in Phenolics during Cooking Extrusion : A Review. *Foods*, 2–11.

Silva, C. N. da, Silva, R. M. da, Lemes, A. C., & Ribeiro, B. D. (2024). Recovery of Phenolic Compounds by Deep Eutectic Solvents in Orange By-Products and Spent Coffee Grounds. *Sustainability (Switzerland)*, *16*(17), 1–18. https://doi.org/10.3390/su16177403

Sun, M. F., Jiang, C. L., Kong, Y. S., Luo, J. L., Yin, P., & Guo, G. Y. (2022). Recent Advances in Analytical Methods for Determination of Polyphenols in Tea: A Comprehensive Review. *Foods*, *11*(10). https://doi.org/10.3390/foods11101425

Thiyagarajan, A., Rathnasamy, V., Veerasamy, B., Sangeetha, V., Vellaichamy, J., & Subbian,

M. (2024). FEB-FRESENIUS ENVIRONMENTAL BULLETIN GUAVA (Psidium Guajava L.) SEED: A REVIEW ON NUTRITIONAL PROFILE, BIOACTIVE COMPOUNDS, FUNCTIONAL FOOD PROPERTIES, HEALTH BENEFITS AND INDUSTRIAL APPLICATIONS. *ResearchGate*, 703–710.

Tolve, R., Bianchi, F., Lomuscio, E., Sportiello, L., & Simonato, B. (2023). Current Advantages in the Application of Microencapsulation in Functional Bread Development. *Foods*, *12*(1), 1–21. https://doi.org/10.3390/foods12010096

Tuan, P. M., Anh, H. T. Van, Thi, L., Cam, H., Ngoc, V., Chi, Q., Thi, D., Oanh, B., Khue, D. B., Do, P., Minh, T., Tri, M. H., Thi, N., Sang, T., Mai, D. S., Nghia, T. T., Phu, T., District, G. V., Chi, H., … Phu, T. (2016). Extraction and encapsulation of polyphenols from guava leaves. *Food Science and Technology*, *17*(1), 1–7.

Tupuna, D. S., Paese, K., Guterres, S. S., Jablonski, A., Flôres, S. H., & Rios, A. de O. (2018). Encapsulation efficiency and thermal stability of norbixin microencapsulated by spray-drying using different combinations of wall materials. *Industrial Crops and Products*, *111*(October 2017), 846–855. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.12.001

Vasile, C., & Baican, M. (2021). Progresses in Food Packaging, Food Quality, and Safety—Controlled-Release Antioxidant and/or Antimicrobial Packaging. *Molecules*, 5–31.

Wani, K. M., & Uppaluri, R. V. S. (2022). Efficacy of ultrasound-assisted extraction of bioactive constituents from Psidium guajava leaves. *Applied Food Research*, *2*(1), 1–10. https://doi.org/10.1016/j.afres.2022.100096

Weremfo, A., Adulley, F., & Adarkwah-Yiadom, M. (2020). Simultaneous Optimization of Microwave-Assisted Extraction of Phenolic Compounds and Antioxidant Activity of Avocado (Persea americana Mill.) Seeds Using Response Surface Methodology. *Journal of Analytical Methods in Chemistry*, *2020*, 2–10. https://doi.org/10.1155/2020/7541927

Yun, P., Devahastin, S., & Chiewchan, N. (2021). Microstructures of encapsulates and their relations with encapsulation efficiency and controlled release of bioactive constituents: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, *20*(2), 1768–1799. https://doi.org/10.1111/1541-4337.12701

Yusof, N., Abdul Munaim, M. S., & Veloo Kutty, R. (2020). The effects of different ethanol concentration on total phenolic and total flavonoid content in Malaysian Propolis. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, *991*(1), 5–10. https://doi.org/10.1088/1757-899X/991/1/012033

Zhang, X., Wang, J., Zhu, H., Wang, J., & Zhang, H. (2022). *Chemical Composition , Antibacterial , Antioxidant and Enzyme Inhibitory Activities of the Essential Oil from Leaves of Psidium guajava L* . https://doi.org/10.1002/cbdv.202100951

Zheng, B., Zhao, Q., Wu, H., Wang, S., & Zou, M. (2021). A Comparative Metabolomics Analysis of Guava (Psidium guajava L.) Fruit with Different Colors. *ACS Food Science and Technology*, *1*(1), 96–106. https://doi.org/10.1021/acsfoodscitech.0c00036

6. Anexos

Anexo 1.

Recolección de residuos agroindustriales.



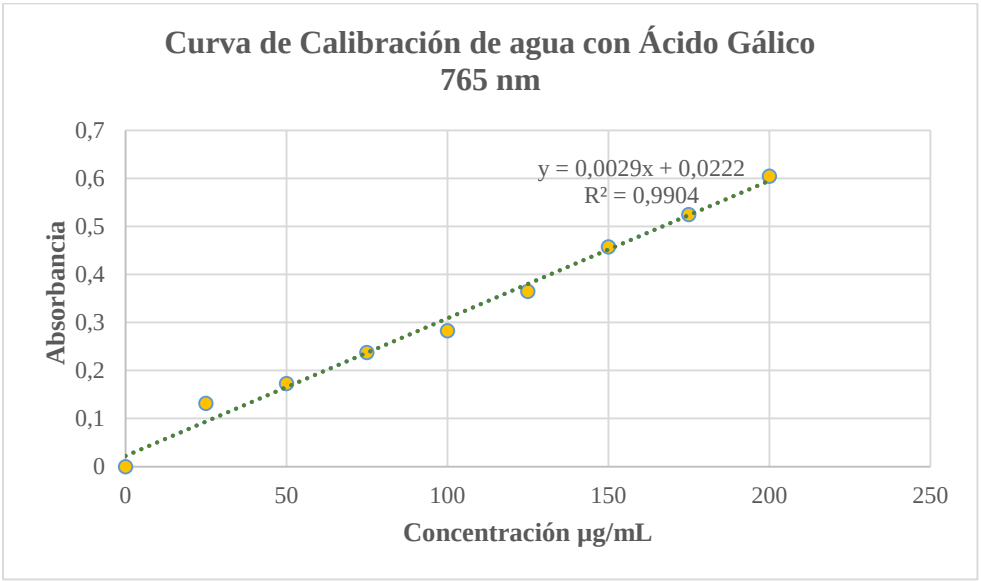
Anexo 2.

Estado inicial de semillas de guayaba.



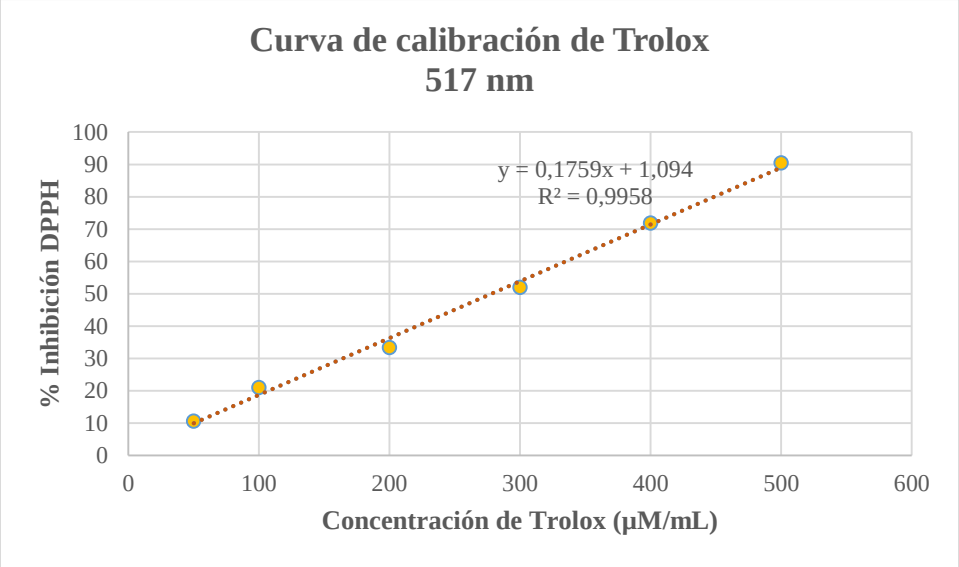
Anexo 3.

Curva de calibración de ácido gálico.



Anexo 4.

Curva de calibración de Trolox.



Anexo 5.

Ecuación de porcentaje de inhibición de DPPH.

$$\%\ Inhibición\ DPPH = \left[1 - \left(\frac{A_m - A_b}{A_c - A_b}\right)\right] * 100$$

Donde:

A_m = Absorbancia de la muestra

A_b = Absorbancia del blanco

A_c = Absorbancia del control

Nota: Ecuación obtenida de (Márquez et al., 2014)

Anexo 6

Ecuación de porcentaje de inhibición por ABTS.

$$\%\ de\ inhibición = 1 - \left(\frac{A_m - A_b}{A_r}\right) * 100$$

Donde:

A_m = absorbancia de la muestra con el radical vigente

A_b = absorbancia del blanco del solvente determinado

A_r = absorbancia de referencia donde participa el radical y solvente escogido.

Anexo 7

Ecuación de inhibición por FRAP.

Método FRAP

$$FRAP\ \left(\mu mol \frac{Fe^{2+}}{g\ muestra}\right) = \frac{A_{muestra} - b}{m}$$

Nota: *Se debe realizar una curva de calibración de* $FeSO_4$ *. B es la intersección y m la pendiente*

Anexo 8.

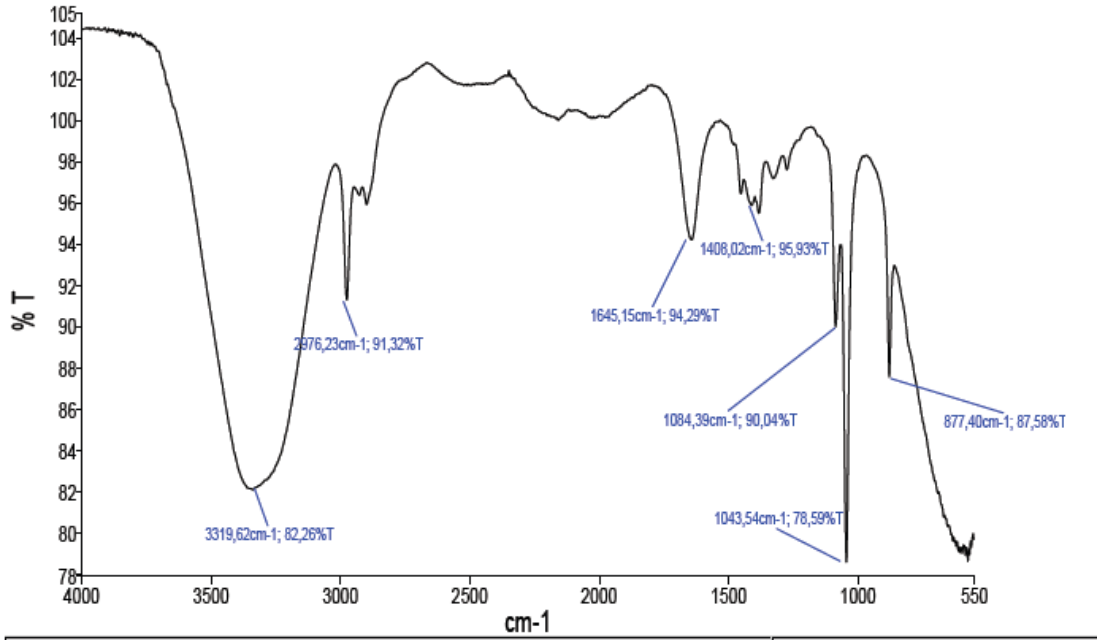
Ecuación de inhibición por ORAC.

$$ORAC\ (\mu mol\ TEC/g) = \frac{AUC_{muestra} - AUC_{blanco}}{AUC_{Trolox} - AUC_{blanco}}$$

Nota: *AUC representa el área debajo de la curva de decaimiento de fluorescencia.*

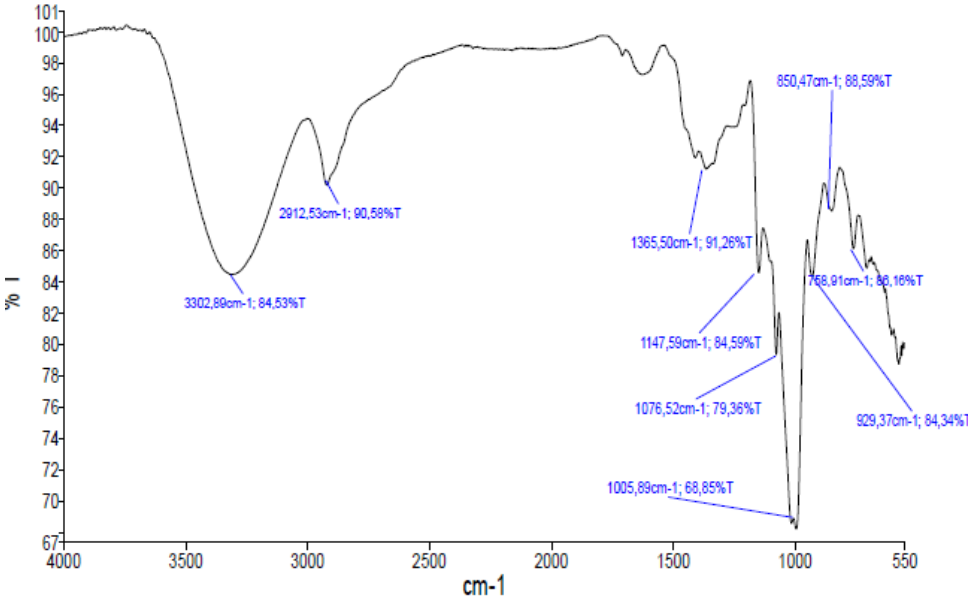
Anexo 9.

Espectro de sólidos concentrados.



Anexo 10.

Espectro de concentrado microencapsulado.



Anexo 11.

Espectro de material de microencapsulado.

