

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO



## FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERÍA EN ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGÍA



### CARRERA DE BIOTECNOLOGÍA

---

**Tema:** Análisis de la actividad antioxidante de un microencapsulado de Mangiferina extraída de la cáscara del mango (*Mangifera Indica* L.)

---

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:** Juan Eduardo Navarro Otavalo

**Tutor:** PhD. Orestes Darío López Hernández

**Ambato – Ecuador**

**Febrero – 2024**

## **APROBACIÓN DEL TUTOR**

Ing. Orestes Darío López Hernández, PhD.

### **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 a las normas establecidas en el Reglamento de Títulos y Grados de la Facultad de Ciencias e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología.

Ambato, 12 de Enero del 2024

---

Ing. Orestes Darío López Hernández, PhD.

C.I. 1754784864

**TUTOR**

## **AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Yo, Juan Eduardo Navarro Otavalo, 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 referencias bibliográficas.



---

Juan Eduardo Navarro Otavalo

C.I. 1804874772

**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 los derechos de autor.



---

Juan Eduardo Navarro Otavalo

C.I. 1804874772

**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:

---

Presidente del tribunal

---

Mg. María Daniela Garcés Moncayo.

1803571585

---

Mg. Juan de Dios Espinoza Moya.

1803201431

Ambato, 07 de Febrero del 2024

## **AGRADECIMIENTO**

En Septiembre del 2019 empezó una de las aventuras más importantes y extrañas en mi vida. Sin embargo, he tenido la oportunidad de conocer personas maravillosas que hoy en día forman parte de mí y de mi familia. Personas que han sido mi apoyo y les agradezco infinitamente por acompañarme en esta etapa.

Quiero agradecer principalmente a mis padres y a mi hermana por confiar en mí en todo momento y por darme un abrazo cuando más lo necesitaba.

A mi tutor Dr. Orestes, a quién admiro por ser una persona tan brillante, carismática y por su extraordinario papel como guía de las próximas generaciones de investigadores.

Y finalmente, pero no menos importante, las personas que hicieron de esta etapa universitaria mucho más interesante: Josu, Kevito, Katy, Isra, Ale, Moli, Abelito, Michu, Washo, Josa, Fer, Carito, Cami, Vivi; Jorge y Baby. Me siento profundamente agradecido de que nuestros destinos se hayan cruzado, y aunque sé que eventualmente llegará el momento en que cada uno emprenderá su propio camino, confío en que me acompañarán en las futuras travesías que la vida me depara.

## ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL TUTOR.....	ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN .....	iii
DERECHOS DE AUTOR .....	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO .....	v
AGRADECIMIENTO .....	vi
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS .....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xii
RESUMEN EJECUTIVO .....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
CAPÍTULO I.- MARCO TEÓRICO .....	1
1.1. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS .....	1
1.1.1. Justificación .....	1
1.1.2. Mango ( <i>Mangifera indica</i> L.).....	2
1.1.2.1. Historia.....	2
1.1.2.2. Generalidades.....	3
1.1.2.3. Taxonomía .....	3
1.1.2.4. Usos.....	4
1.1.2.5. Residuos .....	4
1.1.2.6. Composición .....	5
1.1.3. Antioxidantes .....	6
1.1.3.1. Generalidades.....	6
1.1.3.2. Especies reactivas de oxígeno y estrés oxidativo.....	6
1.1.3.3. Rol en la salud.....	7
1.1.4. Mangiferina.....	7
1.1.4.1. Generalidades.....	7

1.1.4.2.	Extracción .....	8
1.1.4.3.	Capacidad antioxidante .....	10
1.1.4.4.	Usos.....	10
1.1.5.	Microencapsulación .....	11
1.1.5.1.	Generalidades .....	11
1.1.5.2.	Microencapsulación mediante secado por aspersión .....	12
1.1.5.3.	Ventajas de la microencapsulación mediante secado por aspersión ..	13
1.1.5.4.	Microencapsulación de compuestos fenólicos .....	13
1.2.	OBJETIVOS .....	14
1.2.1.	Objetivo general .....	14
1.2.2.	Objetivos específicos .....	14
1.3.	HIPÓTESIS .....	14
1.3.1.	Hipótesis nula.....	14
1.3.2.	Hipótesis alternativa.....	15
1.4.	VARIABLES .....	15
1.4.1.	Variables independientes .....	15
1.4.2.	Variables dependientes.....	15
CAPÍTULO II.- METODOLOGÍA .....		16
2.1.	MATERIALES .....	16
2.1.1.	Reactivos .....	16
2.1.2.	Material de laboratorio .....	16
2.1.3.	Equipos.....	17
2.2.	MÉTODOS.....	18
2.2.1.	Obtención de la materia prima .....	18
2.2.2.	Pretratamiento de la cáscara.....	18
2.2.3.	Secado y pulverizado de la cáscara del mango .....	19
2.2.4.	Obtención del extracto vegetal.....	19
2.2.5.	Determinación de Sólidos Totales .....	20
2.2.6.	Determinación de fenoles totales .....	20
2.2.7.	Identificación de la mangiferina.....	20
2.2.8.	Microencapsulación del extracto.....	21
2.2.9.	Determinación cuantitativa de la eficiencia de microencapsulación .....	21



2.2.10.	Determinación cualitativa de la eficiencia de microencapsulación ...	22
2.2.11.	Determinación de la actividad antioxidante in vitro .....	22
2.2.12.	Análisis estadístico de los datos .....	23
CAPÍTULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....		24
3.1.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS .....	24
3.1.1.	Extracción de muestras y evaluación cuantitativa de polifenoles .....	24
3.1.2.	Identificación de la mangiferina.....	32
3.1.3.	Microencapsulación .....	35
3.1.4.	Eficiencia cuantitativa de microencapsulación .....	36
3.1.5.	Eficiencia cualitativa de microencapsulación .....	37
3.1.6.	Actividad Antioxidante .....	40
3.2.	VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS.....	42
CAPÍTULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....		43
4.1.	CONCLUSIONES .....	43
4.2.	RECOMENDACIONES.....	44
CAPÍTULO V.- MATERIALES DE REFERENCIA .....		45
5.1.	BIBLIOGRAFÍA .....	45
5.2.	ANEXOS .....	59

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Taxonomía De Mangifera Indica L.....	3
Tabla 2. Componentes Bioactivos Del Mango. ....	5
Tabla 3. Contenido Total Del Polifenol De La Cáscara Del Mango A Través De Distintos Métodos De Extracción. ....	8
Tabla 4. Variables Independientes Para El Proceso De Extracción.....	15
Tabla 5. Reactivos De Laboratorio. ....	16
Tabla 6. Material De Laboratorio.....	16
Tabla 7. Equipos De Laboratorio. ....	17
Tabla 8. Tratamientos De Las Extracciones. ....	19
Tabla 9. Contenido Total De Polifenoles De Los Tratamientos De Extracción. ....	24
Tabla 10. Contenido Total De Polifenoles De Los Tratamientos Adicionales. ....	28
Tabla 11. Comparación De Los Valores De Los Grupos Funcionales Del Extracto Y La Mangiferina Estándar.....	34
Tabla 12. Resultados De La Eficiencia De Microencapsulación. ....	36
Tabla 13. Resultados Del Análisis De La Actividad Antioxidante Mediante Método Dpph.....	40

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura Química De La Mangiferina .....	7
Figura 2. Esquema General Del Proceso De Microencapsulación Mediante Secado Por Aspersion. ....	12
Figura 3. Diagrama De Pareto Estandarizado De Los Factores De Análisis. ....	25
Figura 4. Gráfica De Superficie De Respuesta Estimada. ....	27
Figura 5. Concentraciones Modeladas Por El Programa Estadístico. ....	28
Figura 6. Espectro Ft-Ir Del Extracto Concentrado. ....	32
Figura 7. Espectro De Una Muestra De Mangiferina Estándar. ....	33
Figura 8. Curva De Absorbancia Vs Longitud De Onda Del Extracto. ....	35
Figura 9. Espectro Infrarrojo De La Matriz Polimérica (Maltodextrina).....	37
Figura 10. Espectro Infrarrojo Del Microencapsulado Rico En Mangiferina.....	38
Figura 11. Espectro Infrarrojo Del Concentrado De Mangiferina, Maltodextrina Y El Microencapsulado De Mangiferina.....	38

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Porcentaje De Sólidos Totales De Los Tratamientos De Extracción. ....	59
Anexo 2. Curva Estándar De Ácido Gálico. ....	59
Anexo 3. Análisis De Varianza Para Concentración De Polifenoles.....	60
Anexo 4. Curva Estándar De Ácido Gálico Con Etanol. ....	61
Anexo 5. Curva Estándar De Ácido Gálico Con Agua.....	61
Anexo 6. Curva Estándar De Solución Tampón Trolox. ....	62

## RESUMEN EJECUTIVO

La cáscara del mango, un subproducto de la industrialización de esta fruta, se ha identificado como una fuente valiosa de polifenoles, por tal motivo, la investigación sobre la extracción de compuestos fenólicos ricos en mangiferina de esta cáscara residual presenta un gran interés. La mangiferina ha llamado la atención científica debido a sus diversas aplicaciones en salud, nutrición y cosmética, especialmente por su capacidad antioxidante.

La extracción de compuestos fenólicos se realizó mediante la metodología de superficie de respuesta, utilizando procesos de deshidratación, trituración e infusión con una mezcla de agua-etanol a diversas concentraciones durante distintos intervalos de tiempo. La determinación del contenido total de polifenoles (TPC) se realizó mediante el método de Folin-Ciocalteu, logrando un TPC de 93,5928 mg GAE por gramo de base seca, con una concentración del 70 por ciento de etanol durante 41 minutos. La identificación de la mangiferina se realizó mediante espectrofotometría UV-Vis e infrarrojo. La microencapsulación, empleando una mezcla de agua-extracto-maltodextrina, demostró una eficiencia del 95,146 por ciento con un contenido de sólidos totales del 30 por ciento. La capacidad de inhibición de radicales se evaluó mediante el método DPPH, obteniendo porcentajes prometedores de capacidad antioxidante: 88,373 por ciento para el extracto crudo y 43,165 por ciento para el extracto microencapsulado.

En resumen, este estudio concluye que el proceso de microencapsulación no solo supera las limitaciones asociadas con los polifenoles, también contribuye significativamente al aumento de la capacidad de inhibición de radicales, destacando el potencial de la cáscara del mango en diversas aplicaciones industriales.

**Palabras clave:** Biotecnología industrial, actividad antioxidante, compuestos fenólicos, microencapsulación, mangiferina, residuos agroindustriales, mango.

## ABSTRACT

Mango peel, a by-product of mango processing, has been identified as a valuable source of polyphenols. As such, research on the extraction of mangiferin-rich phenolic compounds from this waste peel is of great interest. The mangiferin has attracted scientific attention due to its various applications in health, nutrition and cosmetics, especially for its and cosmetics, especially for its antioxidant capacity.

The extraction of phenolic compounds was carried out through response surface methodology, using dehydration, crushing, and infusion with a water-ethanol mixture at various concentrations for different time intervals. The determination of the total polyphenol content (TPC) was carried out using the Folin-Ciocalteu method, achieving a TPC of 93.5928 mg GAE per gram of dry base, with a concentration of 70 percent ethanol. The identification of mangiferin was carried out with UV-Vis and infrared spectrophotometry. The microencapsulation, using a water-extract-maltodextrin mixture, showed an efficiency of 95,146 with a total solids content of 30 percent. The radical inhibition capacity was evaluated by means of the DPPH method, obtaining promising antioxidant promising percentages of antioxidant capacity: 88.373 per cent for the crude extract and 43.165 per cent for the microencapsulated extract.

In summary, this study concludes that the microencapsulation process not only overcomes the limitations associated with polyphenols, but also contributes significantly to the increase of the free radical scavenging capacity, highlighting the potential of mango peel in various industrial applications.

**Keywords:** Industrial biotechnology, antioxidant activity, phenolic compounds, microencapsulation, mangiferin, agro-industrial waste, mango.

## CAPÍTULO I.- MARCO TEÓRICO

### 1.1. Antecedentes investigativos

#### 1.1.1. Justificación

El mango es un alimento con propiedades medicinales y benéficas para la salud, puesto que el fruto, la semilla, las hojas, las raíces y la corteza contienen compuestos fitoquímicos tales como antioxidantes, flavonoides, triterpenoides y micronutrientes **(Wall-Medrano et al., 2020)**. Es una de las frutas con mayor mercado en Ecuador, cuya producción según se centra en la provincia del Guayas con un 97% de cultivos, contando con un aproximado de 7700 hectáreas de las cuales el 72,72% son destinadas a la exportación **(Apolinario et al., 2022)**,

En cuanto a sus usos, se destaca la elaboración de productos alimenticios como la mermelada, obtención de pulpa o jugo, exento de la fibra, las semillas y cáscaras, éstas últimas suelen ser descartadas desaprovechando sus propiedades bioactivas (micronutrientes, polifenoles, antioxidantes), siendo la cáscara un contribuyente a la contaminación, esto a consecuencia de los escasos protocolos de tratamiento de residuos **(Guevara, 2015)**, lo que concluye en alteraciones en la microbiota de ecosistemas acuáticos y terrestres por su proceso de degradación. De igual manera sucede en emprendimientos emergentes y/o establecidos. Por ejemplo, en la ciudad de Ambato-Ecuador existen puestos de ventas ambulantes ubicados generalmente en escuelas y colegios de la locación, donde los residuos de las ventas de la fruta no son tratados adecuadamente.

La mangiferina es un compuesto fenólico que posee una potente actividad antioxidante y de eliminación de radicales **(Swaroop et al., 2018)**. Es uno de los principales compuestos bioactivos presentes en la cáscara del mango. La mangiferina muestra propiedades antiangiogénicas, antiinfecciosas, hipoglucémicas, antitumorales y, además de actuar como regulador inmunitario, posee una gama extensa de efectos

farmacológicos (Shi et al., 2021). Por ejemplo, se ha evidenciado que la mangiferina tiende a incrementar su potencial antioxidante cuando una persona presenta condiciones proinflamatorias, inflamatorias, incluyendo las infecciones y los estados diabéticos, incluso puede ser eficaz como terapia en la osteoporosis (Swaroop et al., 2018).

No obstante, la mangiferina presenta limitaciones en su biodisponibilidad oral y permeabilidad intestinal (causado por la baja solubilidad y permeabilidad) lo que resulta en una restricción en su uso clínico (Barakat et al., 2022). Recientemente, varios estudios han trabajado en la mejora de la biodisponibilidad empleando la administración basada en portadores. La microencapsulación es una técnica de envasado de materiales sólidos, líquidos o gaseosos, que, con un portador adecuado, ayuda a mejorar el almacenamiento, estabilidad ambiental y la biodisponibilidad del compuesto bioactivo (Ozkan et al., 2019). Una de las técnicas de microencapsulación más utilizadas es el secado por aspersión debido a que es un proceso rápido, rentable, reproducible y escalable para la producción de polvos a partir de la atomización de materiales fluidos (Sosnik & Seremeta, 2015).

Es así como la microencapsulación de la mangiferina, aplicando la técnica de secado por aspersión, podría ser la solución para mejorar las limitaciones del compuesto bioactivo, aumentando la biodisponibilidad, eficiencia, dosificación y administración de la misma.

## **1.1.2. Mango (*Mangifera indica* L.)**

### **1.1.2.1. Historia**

*Mangifera indica* mayormente conocido como “mango” es una de las frutas de mayor consumo a nivel mundial. Desde tiempos inmemoriales es uno de los cultivos frutales más importantes de la India por su valor cultural, socioeconómico y religioso, siendo descrito como “Kalpavriksha” de su traducción al español “árbol que concede deseos”. Las semillas de mango fueron transportadas por personas pertenecientes al continente



asiático al Medio Este, Este de África y a Sudamérica entre los años 300-400 AD (Yadav & Singh, 2017), siendo una planta trascendental en los sistemas médicos ayurvédicos (sistema médico tradicional de la India) e indígenas por más de 4000 años (Shah et al., 2010).

#### **1.1.2.2. Generalidades**

El mango es una fruta de color amarillo cultivada comúnmente en países con climas tropicales con un rango de altitud oscilando entre 0-1600 m.s.n.m (Martínez Chiguachi et al., 2020). En el Ecuador la temporada de cosecha del mango (variedades Tommy, Ataulfo, Keitt) empieza en el mes de octubre hasta enero del año siguiente. En el año 2022 se reportaron 18.403 hectáreas de superficie plantada (ha), 17.142 ha cosechadas, con una producción de 135.091 toneladas (t) y 125.273 t en ventas (Instituto Nacional de Estadística y Censo, 2022). De tal forma que, la diversificación geográfica de la comercialización del mango es importante para la economía del país debido a su contribución como fuente generadora de liquidez e ingresos (Quiñónez et al., 2021).

#### **1.1.2.3. Taxonomía**

Es un cultivo frutal de la familia Anacardiaceae, perteneciente al género *Mangifera*. Es un árbol perenne de aproximadamente 10-40 m de altura, con corteza de color pardo, ápice acuminado y hojas oblongas de 12-30 cm de largo por 3,5-6,5 cm de ancho (Yadav et al., 2018).

#### **Tabla 1.**

*Taxonomía de Mangifera indica L.*

<b>Reino</b>	<i>Plantae</i>
<b>Subreino</b>	<i>Tracheobionta</i>
<b>Subdivisión</b>	<i>Spermatophyta</i>
<b>Filo</b>	<i>Magnoliophyta</i>
<b>Clase</b>	<i>Magnoliopsida</i>
<b>Subclase</b>	<i>Rosidae</i>
<b>Orden</b>	<i>Sapindales</i>
<b>Familia</b>	<i>Anacardiaceae</i>
<b>Género</b>	<i>Mangifera</i>
<b>Especie</b>	<i>Indica</i>

*Nota:* Información extraída de (Yadav et al., 2018)

#### 1.1.2.4. Usos

El producto principal del mango es la fruta entera que puede ser consumida directamente o puede ser transformada en una amplia variedad de mercadería. La fruta en estado temprano de maduración es empleada para la producción de condimentos (constando como alimento proveniente de la India: especialmente para chutneys, encurtidos, curry) y productos deshidratados. Por otra parte, la fruta madura es aprovechada en la elaboración de concentrados, pulpas, néctar, mermelada y frecuentemente es transformada en rodajas y almacenadas en latas para su posterior comercialización (Masibo & He, 2009).

#### 1.1.2.5. Residuos

Los principales subproductos que se obtienen del procesamiento del mango son las cáscaras y las semillas que significan entre el 35% al 60 % del peso completo de la fruta (Jahurul et al., 2015). El desecho inadecuado de los residuos de los elaborados del mango desencadena problemas ambientales en el marco de las industriales frutales. Globalmente, los subproductos del mango oscilan entre 14,7 a 25,2 millones de

toneladas al año (El-Kady et al., 2017); pese a que la mayoría de desechos no son tratados, parte estos suelen ser enterrados mezclados con cal, descartados en vertederos o reducidos a cenizas (con costos adicionales), asimismo, son empleados para alimentación de animales, no obstante, los procesos mencionados usualmente son generadores de contaminantes en el suelo, causan la presencia de insectos, crecimiento microbiano, entre otros (Do Nascimento Oliveira et al., 2018).

### 1.1.2.6. Composición

Es un alimento que presenta una gran cantidad de micro y macronutrientes, tales como calcio, potasio, magnesio, hierro; proteína, fibra, grasa, almidón, respectivamente, los cuales son importantes y beneficiosos en la dieta del ser humano. No obstante, existen también compuestos bioactivos (Tabla 2) presentes tanto en la pulpa, corteza, semilla, hojas y en la cáscara, con un gran potencial en actividades y estudios relacionados con la salud (Ribeiro & Schieber, 2010).

**Tabla 2.**

*Componentes bioactivos del mango.*

<i>Compuestos Bioactivos</i>	<i>Ejemplares</i>
Polifenoles	Mangiferina, antocianinas, quercetina.
Carotenoides	Luteoxantina, mutatoxantina, z-caroteno.
Ácidos fenólicos	Ácido gálico, ferúlico, elágico.
Terpenoides	$\alpha$ -pineno, $\beta$ -mirceno, canfeno.
Minerales antioxidantes	Potasio, hierro, magnesio.

*Nota:* Información extraída de Ribeiro & Schieber, (2010).

### **1.1.3. Antioxidantes**

#### **1.1.3.1. Generalidades**

Se conocen como antioxidantes a los compuestos orgánicos e inorgánicos que tienen la capacidad de inhibir, detener o controlar el nivel de oxidación de un sustrato, neutralizando la facultad de los radicales libres de provocar dicha oxidación (**Zeb, 2020**). Los antioxidantes, además de ser ampliamente utilizados a nivel industrial en la medicina y en la alimentación, tienen roles en determinados procesos bioquímicos (**Kurutas, 2015**).

#### **1.1.3.2. Especies reactivas de oxígeno y estrés oxidativo**

El oxígeno es un importante elemento en los procesos metabólicos de organismos aeróbicos, no obstante, al ser un no metal altamente reactivo, sus especies reactivas pueden causar reacciones adversas (**Sies et al., 2022**). Las especies reactivas de oxígeno (ROS) son derivados de los mecanismos de producción de actividades funcionales y de la energía celular, las cuales son importantes en el transporte de iones, apoptosis, señalización celular y en la expresión génica; sin embargo, la concentración de ROS puede incrementarse intensamente hasta causar daño en las proteínas, ADN, ARN y lípidos (macromoléculas) (**Lourenço et al., 2019**). Es importante mencionar que la producción de radicales libres también pueden ser causados por factores en el ambiente tales como la radiación de ozono, pesticidas, estrés y/o productos químicos (**Lü et al., 2010**).

El incremento en la producción de radicales libres dado por la disminución de las defensas antioxidantes, es denominado estrés oxidativo. Este proceso tiende a desajustar determinadas funciones celulares y afecta al equilibrio existente entre los ROS con las defensas antioxidantes del organismo, lo cual causa modificaciones en macromoléculas específicas del sistema, la muerte celular y la lesión de tejidos, contribuyendo directamente al punto de partida de enfermedades en el ser humano (**Gulcin, 2020**).

### **1.1.3.3. Rol en la salud**

El papel de los antioxidantes es eliminar o evitar la formación de enfermedades basadas en el estrés oxidativo causado por las ROS, es decir, mitigan a los radicales libres desarrollando un rol esencial en la preservación de las funciones celulares (**Neha et al., 2019**). Entonces, cuando los niveles de las defensas antioxidantes en el organismo se ven comprometidas, la protección del sistema no es completamente funcional; para contrarrestar la situación, se recurre a la ingesta de antioxidantes de carácter exógeno como polifenoles, vitaminas o carotenoides (**Valavanidis et al., 2013**). Lo anteriormente mencionado, ha causado un gran interés por parte de la comunidad científica en los últimos años, desencadenando un sinnúmero de estudios e investigaciones acerca del uso de los antioxidantes en el tratamiento de enfermedades (**Ali et al., 2020**).

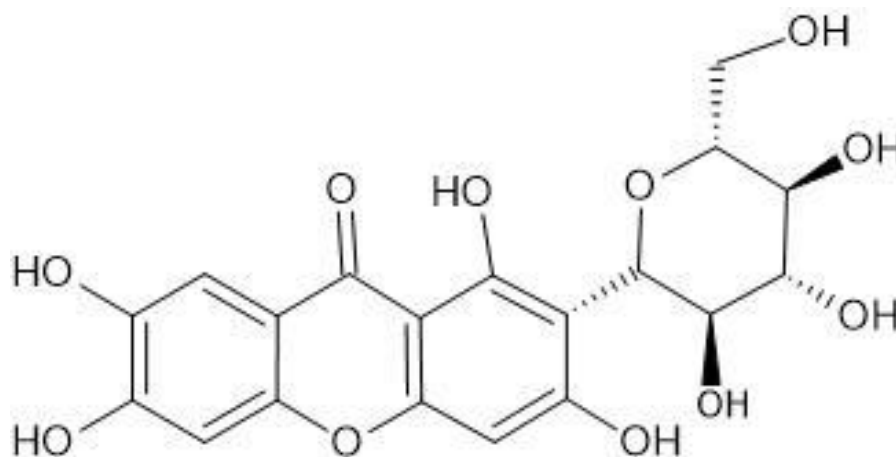
### **1.1.4. Mangiferina**

#### **1.1.4.1. Generalidades**

El polifenol 2-b-D-glucopiranosil-1,3,6,7-tetrahidroxixantona conocido como mangiferina es una xantona C-glucósida natural. Ha sido extraída y estudiada en las familias de Angiospermas, sin embargo, varios estudios han indicado que el árbol de mango es una de las principales fuentes de mangiferina, además, ha sido categorizado como el principal ingrediente activo presente en el ejemplar, debido a que gran parte de las actividades biológicas del árbol del mango y sus derivados, son realizadas en base a este compuesto fenólico (**Telang et al., 2013**).

#### **Figura 1.**

*Estructura química de la Mangiferina*



*Nota:* Imagen de elaboración propia empleando la versión gratuita de ChemSketch.

#### 1.1.4.2. Extracción

Las técnicas para la extracción de compuestos bioactivos pueden fluctuar, siendo la más utilizada la extracción con disolventes asistida por procesos térmicos y de agitación (**Ruiz-Montañez et al., 2014**). En otros estudios, se evalúan técnicas de criogenización, la cual consiste en moler la cáscara y enfriarla posteriormente a temperaturas menores a 150 °C; técnicas de secado, que consiste en la reducción de la humedad total presente en la cáscara (**Vaclavik et al., 2021**); entre otras. En los últimos años se han realizado investigaciones con respecto a la extracción del polifenol aplicando distintas metodologías (Tabla 3).

#### **Tabla 3.**

*Contenido total del polifenol de la cáscara del mango a través de distintos métodos de extracción.*

<b>Mangiferina (mg GAE/g base seca)</b>	<b>Método de extracción</b>	<b>Condiciones de extracción</b>	<b>Fuente</b>
1,94 ± 0,22	Extracción con solventes asistida con ultrasonido	54 °C; 55 % Etanol 80 minutos.	<b>(Burneo et al., 2021)</b>
1,50 ± 0,13		51 °C; 50 % Etanol; 71 minutos	
Entre 964,26 - 2131,73 (µg/g base seca)	Extracción con flúidos supercríticos	50 °C; 20 MPa; 20% flujo de CO <sub>2</sub>	<b>(Sánchez-Mesa et al., 2019)</b>
Entre 59,33- 108,57 (µg/g base seca)	Extracción con líquidos presurizados	40 °C; 10 MPa; 6,67 g/min de agua Milli-Q	
7,2 ± 0,2	Extracción con éter de petróleo y etanol	Con éter de petróleo por 6 horas; EtOH al 70 %; 6 horas	<b>(Imran et al., 2016b).</b>
0,9742	Extracción con glicerol/acetato de sodio asistida por microondas	65 °C; 90 min; Potencia de salida de microondas 100-800 W.	<b>(Pal &amp; Jadeja, 2022)</b>

**Nota:** Se muestran en la tabla la concentración de mangiferina obtenida mediante distintos métodos de extracción realizadas en diversas investigaciones. La cantidad de mangiferina se encuentra expresada en miligramos de ácido gálico equivalente por gramo de muestra seca.

#### 1.1.4.3. Capacidad antioxidante

La mangiferina es categorizada como un polifenol con una alta capacidad antioxidante, razón por la cual en los últimos años se ha evidenciado un aumento en el uso e investigación del compuesto. La principal fuente de mangiferina proviene del árbol del mango. En algunos estudios se ha determinado su obtención y estudio antioxidante de: hojas (**Anbalagan et al., 2019**), corteza (**Lerma-Torres et al., 2019**), cáscara del fruto (**Mistry et al., 2023**). Es preciso mencionar que, existe la posibilidad de obtener el polifenol de otras fuentes vegetales como: *Enicostemma littorale* (**Kumar et al., 2023**), *Salacia chinensis* L. (**Ngo et al., 2019**), *Aphloia theiformis* (**Grauzdytė et al., 2020**), *Cyclopia subternata* (**Dippenaar et al., 2022**), entre otras. En la bibliografía mencionada se ha corroborado que el extracto de mangiferina posee una capacidad antioxidante sobresaliente con la facultad de eliminación de radicales.

#### 1.1.4.4. Usos

La mangiferina extraída posee una potente actividad antioxidante siendo capaz de actuar como hepatoprotectora contra lesiones hepáticas causadas por el tetracloruro de carbono; tiene la capacidad de reducir la peroxidación lipídica causada por el peróxido de hidrógeno en el torrente sanguíneo; con dosis específicas es posible aumentar la resistencia de las células eritrocitarias a las especies reactivas de oxígeno causadas por el peróxido de hidrógeno; actúa de similar manera como pro-hipoglucémico modulando el proceso de metabolismo de la glucosa, mejora la resistencia a la insulina, reduce los mecanismos de síntesis de colesterol además de actuar como inhibidor de la expresión del factor de necrosis tumoral  $\alpha$ ; induce también la apoptosis e inhibe la promoción de la proliferación celular cuando se interrumpe con la regulación del ciclo celular, es decir, con las señales de ciertas vías de trasducción del cáncer en células tumorales (**Imran et al., 2017a**).

La mangiferina puede actuar como suplemento en el mejoramiento del rendimiento del ejercicio, pues se ha demostrado efectos ergogénicos posterior a la suplementación de mangiferina combinado con quercetina, además es un importante bioactivo en la



prevención de la peroxidación lipídica mitocondrial que ocurre al momento de la realización de ejercicio en tiempos prolongados y no acostumbrados, es decir, la hipótesis del estudio es el mejoramiento del rendimiento del ejercicio a través de la ingestión de compuestos previos a la actividad, lo cual ayuda a la respiración mitocondrial, mejorando la extracción de oxígeno molecular muscular y la oxigenación cerebral (**Gelabert-Rebato et al., 2019**). En la industria cosmética, la mangiferina se utiliza como ingrediente activo en productos para el cuidado de la piel y el bienestar personal. Estos productos buscan mejorar la textura de la piel, proporcionar hidratación, ofrecer propiedades antioxidantes, fotoprotección y prevención ante las arrugas causadas por la edad. Se ha demostrado también que la mangiferina o uno de sus derivados tienen la capacidad de prevenir y reducir efectos causados por el estrés térmico en la piel, en el cabello o labios (**Telang et al., 2013**).

### **1.1.5. Microencapsulación**

#### **1.1.5.1. Generalidades**

Acorde al reporte de **Huang et al., (2023)** la microencapsulación es un proceso que consiste en rodear a un ingrediente activo de interés con una pared porosa, con la finalidad de obtener cápsulas de tamaño oscilante entre 50 nm a 2 mm. Para la selección de la técnica de microencapsulación es necesario tomar en cuenta el tamaño, biodegradabilidad, biocompatibilidad de las micropartículas, la estabilidad fisicoquímica del núcleo y de la pared, la posterior aplicación de la micropartícula y la inversión económica del proceso. Una de las técnicas utilizadas es el secado por aspersión, proceso que consiste en una actividad unitaria donde una solución líquida es atomizada en presencia de un flujo de gas caliente para la obtención de un polvo. Dependientemente de las condiciones de operación del secado por aspersión, se obtendrá un polvo fino de aproximadamente 10-50  $\mu\text{m}$  o partículas de mayor tamaño aproximadamente entre 2-3 mm, motivo por el cual es la principal técnica manejada en la producción de encapsulados de alimentos (**Esquivel et al., 2015**).

La sustancia que protege el ingrediente activo es designada como agente encapsulante, y su elección debe ser cuidadosa ya que afecta significativamente la eficiencia de la microencapsulación. El agente tiene el objetivo de proteger a los compuestos que se encapsularán de: elementos o causas que podrían producir un deterioro del ingrediente de interés, limitar las pérdidas volátiles; eludir una temprana interacción entre el material del núcleo con otra clase de compuestos. El material puede ser orgánico, inorgánico o una mezcla entre ambos. Entre los polímeros más utilizados para la microencapsulación mediante secado por aspersión se encuentran la maltodextrina y la goma arábiga (**Shahidi & Han, 1993**).

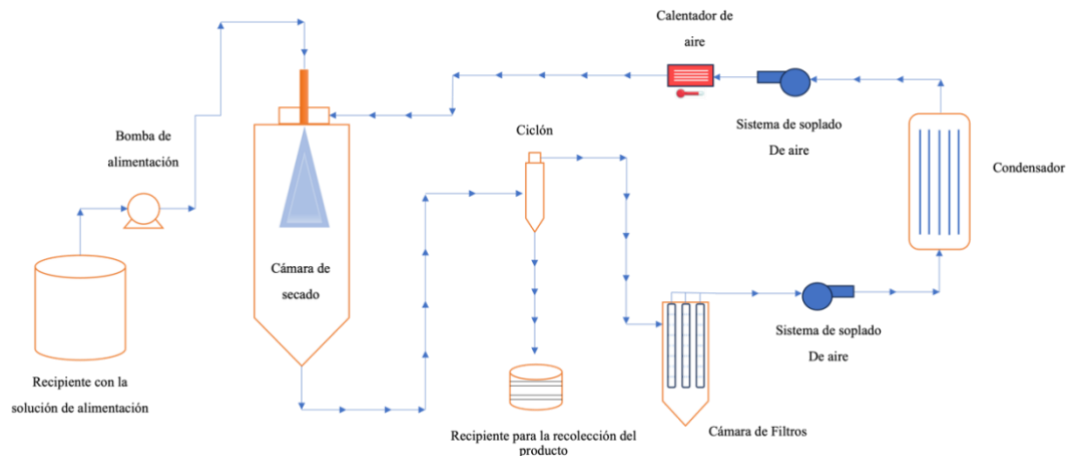
#### **1.1.5.2. Microencapsulación mediante secado por aspersión**

Es una técnica que ha sido ampliamente utilizada para la transformación de líquidos en sustancias sólidas o en polvo (sin la necesidad de emplear disolventes orgánicos peligrosos), utilizando un método de secado en caliente que requiere un gas como medio (**Samborska et al., 2021**).

Cuando la muestra es preparada con su respectivo polímero, el proceso puede resumirse en 3 fases: *Atomización, Transformación de partículas, Recolección* (**Mahdavi et al., 2014**). La mezcla realizada es introducida en el atomizador, proceso que se encarga de la pulverización del líquido en pequeñas gotas, las mismas que, posteriormente, serán dirigidas hacia una cámara de secado mediado por aire a temperaturas entre 100 a 160 °C, obteniendo partículas secas. Finalmente, con la utilización de un instrumento adecuado, las partículas obtenidas son separadas de la cámara de secado para ser recolectadas y almacenadas (**Valková et al., 2022**).

#### **Figura 2.**

*Esquema general del proceso de microencapsulación mediante secado por aspersión.*



**Nota:** Figura de elaboración propia modificada de **Dobry et al., (2009)**

### 1.1.5.3. Ventajas de la microencapsulación mediante secado por aspersión

Es una técnica que ha sido utilizada ampliamente en distintos campos como en la industria farmacéutica, cosmética, de alimentos, de sabores, entre otros. La razón radica en que es un proceso rápido, continuo y reproducible. Dichas características hacen del secado por aspersión una técnica exitosa tanto a escala de laboratorio como a escala industrial (**Salama, 2020**). El éxito de la microencapsulación es frecuentemente medida por su escalabilidad y rentabilidad, factores que el secado por aspersión presenta (**Sosnik & Seremeta, 2015**). Actualmente, el secado por aspersión se ha mantenido como objeto de estudio e investigación por su notable capacidad de emplear distintas materias primas, por ser poseedor de una productividad alta y por su excelencia en la escalabilidad y rentabilidad en la obtención de partículas secas en el rango de submicras o micras (**Santos et al., 2018**).

### 1.1.5.4. Microencapsulación de compuestos fenólicos

El uso de compuestos fenólicos enfrenta limitaciones porque su efectividad biológica, su disponibilidad para los procesos biológicos y su estabilidad dependen fuertemente de diversos factores, por ejemplo, una vez extraídos los compuestos fenólicos, presentan sensibilidad ante las condiciones ambientales al momento de ser procesados y almacenados (**Jia et al., 2016**).

La mangiferina posee desventajas, lo cual limita su aplicación, dentro de éstas se puede destacar la baja solubilidad en agua, baja eficacia y baja biodisponibilidad (**Lee et al., 2022**); Sin embargo, para contrarrestar las desventajas del compuesto bioactivo es posible aplicar técnicas de microencapsulación para mejorar y estabilizar el ingrediente activo para sus posteriores usos en la industria. En el campo farmacéutico es posible regular la liberación de una dosis específica del ingrediente activo o reducir la irritación gástrica de un fármaco, en la industria cosmética el proceso ofrece protección ante sustancias que pueden ser sensibles a procesos oxidativos o la humedad del ambiente y también permite solventar inconvenientes como la incompatibilidad de materiales al momento de realizar una mezcla (**Ledet et al., 2015**).

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo general**

- Analizar la actividad antioxidante del microencapsulado de mangiferina extraída de la cáscara del mango (*Mangifera indica* L.)

### **1.2.2. Objetivos específicos**

- Extraer la mangiferina proveniente de la cáscara del mango.
- Obtener un microencapsulado de la mangiferina extraída.
- Evaluar la capacidad antioxidante *in vitro* de la mangiferina microencapsulada.

## **1.3. Hipótesis**

### **1.3.1. Hipótesis nula**

No se obtuvo un extracto microencapsulado rico en mangiferina con capacidad antioxidante extraído de la cáscara del mango.

### 1.3.2. Hipótesis alternativa

Se obtuvo un extracto microencapsulado rico en mangiferina con capacidad antioxidante extraído de la cáscara del mango.

## 1.4. Variables

### 1.4.1. Variables independientes

**Tabla 4.**

*Variables independientes para el proceso de extracción*

<b>Variable</b>	<b>Niveles</b>
<b>Concentración de etanol</b>	0 %
	50 %
	70 %
<b>Tiempo de extracción</b>	30 min
	45 min
	60 min

### 1.4.2. Variables dependientes

Concentración de mangiferina, eficiencia de la microencapsulación, porcentaje de inhibición del radical DPPH.

## CAPÍTULO II.- METODOLOGÍA

### 2.1. Materiales

Este estudio de investigación se realizó utilizando los reactivos, materiales y métodos descritos a continuación:

#### 2.1.1. Reactivos

**Tabla 5.**

*Reactivos de laboratorio.*

<b>Reactivos</b>	<b>Cantidad</b>
Maltodextrina	200 g
Reactivo de Folin-Ciocalteu	50 mL
2,2-difenil-1-picrilhidrazilo o DPPH	1 g
Metanol	1 L
Etanol 96%	7 L
Carbonato de Sodio	5 g
Ácido gálico	1 g
Solución tampón trolox	1 g
Agua Destilada	3 L

#### 2.1.2. Material de laboratorio

**Tabla 6.**

*Material de laboratorio.*

<b>Material</b>	<b>Cantidad</b>
Matraces Erlenmeyer (250 mL)	4
Matraces aforados (25 mL)	5
Vasos de Precipitación (250-1000 mL)	4
Papel Filtro	1
Frascos ámbar	12
Papel Aluminio (DIAMOND)	1
Papel Absorbente	1
Paquete de fundas Ziploc	1
Tubos tipo Falcon (50 mL)	1
Pipetas Graduadas (5 mL-25 mL)	2
Caja de Puntas de Micropipeta (100-1000 uL)	2
Tubos eppendorf	12
Cáscara de mango	600 g

### 2.1.3. Equipos

**Tabla 7.**

*Equipos de laboratorio.*

<b>Equipos</b>	<b>Cantidad</b>
Deshidratador por convección	1
Centrífuga Hettich Zentrifugen y Germany	1
Balanza de Humedad Kern MLS 50-3	1
Plancha de Calentamiento Corning PC-620D	1
Destilador de agua QUMIS	1
Balanza analítica Ohaus PA-313	1

Refrigerador Indurama	1
Licuada	1
Espectroscopio FTIR Perkin Elmer Spectrum Two	1
Espectrofotómetro UV-VIS Fisher Scientific accuSkan Go	1
Mini Spray Drier BUCHI-B290	1
Rotoevaporador IKA HB10	1
Software de análisis estadístico Statgraphics	1
Ordenador Hp con sistemas operativo Windows 10	1

## 2.2. Métodos

### 2.2.1. Obtención de la materia prima

Se recogió residuos del mango (cáscara) desechados en puestos de ventas ambulantes de distintas zonas de la ciudad de Ambato-Ecuador. Posteriormente, se colocó los residuos en bolsas ziploc y se conservaron en refrigeración, manteniendo una temperatura entre 2 y 8 °C, hasta su manipulación (**Par, 2019**).

### 2.2.2. Pretratamiento de la cáscara

Los desechos seleccionados fueron lavados con agua para evitar que los resultados sean alterados por la presencia de tierra y otros contaminantes presentes en la basura.



### 2.2.3. Secado y pulverizado de la cáscara del mango

Los residuos fueron secados mediante un proceso de deshidratación a una temperatura de 60 °C para eliminar la humedad presente y para evitar la proliferación de organismos (Arroyo, 2020). Seguidamente, se trituraron las cáscaras secas en una licuadora, dando como resultado un polvo que fue almacenado en una bolsa ziploc a temperatura ambiente, evitando cualquier clase de contacto con la humedad.

### 2.2.4. Obtención del extracto vegetal

Una vez obtenido el polvo proveniente de la cáscara del mango, se prepararon soluciones acuosas con etanol (EtOH) para su extracción. Se empleó una relación 1:20 material vegetal-disolvente, con 3 concentraciones de etanol (%v/v): 0, 50 y 70, empleando 3 diferentes tiempos (minutos): 30, 45 y 60. Se ensayó 5 g de material vegetal por cada 100 mL de disolvente, manteniendo una temperatura de 70 °C con una agitación de aproximadamente 450 r.p.m. Dependientemente de las variables mencionadas anteriormente, los tratamientos realizados se detallan en la Tabla 8.

**Tabla 8.**

*Tratamientos de las extracciones.*

<b>Código</b>	<b>Condiciones de tratamiento</b>
<b>C1T1</b>	Relación 1:20; 70 °C; 30% EtOH; 30 min
<b>C1T2</b>	Relación 1:20; 70 °C; 30% EtOH; 45 min
<b>C1T3</b>	Relación 1:20; 70 °C; 30% EtOH; 60 min
<b>C2T1</b>	Relación 1:20; 70 °C; 50% EtOH; 30 min
<b>C2T2</b>	Relación 1:20; 70 °C; 50% EtOH; 45 min
<b>C2T3</b>	Relación 1:20; 70 °C; 50% EtOH; 60 min
<b>C3T1</b>	Relación 1:20; 70 °C; 70% EtOH; 30 min
<b>C3T2</b>	Relación 1:20; 70 °C; 70% EtOH; 45 min
<b>C3T3</b>	Relación 1:20; 70 °C; 70% EtOH; 60 min

**Nota:** En la presente tabla se detallan las condiciones de los diferentes tratamientos de extracción donde *C* significa la concentración del disolvente y *T* el tiempo empleado.

### **2.2.5. Determinación de Sólidos Totales**

Se determinó el rendimiento de las extracciones calculando el porcentaje de humedad residual por triplicado empleando una balanza de humedad. El resultado brindado se reemplazó en la ecuación de determinación de sólidos totales:

$$\% SST = 100 - \% Humedad$$

### **2.2.6. Determinación de fenoles totales**

La determinación de los fenoles totales en los extractos se realizó mediante el método de Folin-Ciocalteu (F-C). En primer lugar, se realizó una curva de calibración utilizando concentraciones de 10-150 mg GAE/L. Para el análisis, se tomaron 10  $\mu$ L del extracto, 130  $\mu$ L de agua destilada y 10  $\mu$ L de reactivo de F-C que fueron colocados en una placa de 96 pocillos; se dejó reposar a temperatura ambiente y en completa oscuridad por 6 minutos; seguidamente, se transfirió 100  $\mu$ L de carbonato de sodio al 7% de concentración a cada uno de los pocillos de las muestras, seguidamente se incubó la placa a temperatura ambiente en oscuridad absoluta por 90 minutos. El reactivo de F-C reacciona con el compuesto fenólico extraído proporcionando una coloración azul apta para ser analizada en un espectrofotómetro a una longitud de onda de 765 nm (Isique & Mogrovejo, 2021). Para calcular la concentración se empleó la ecuación de la recta proporcionada por la curva de calibración realizada con ácido gálico.

El contenido de polifenoles totales se expresó en gramos de ácido gálico equivalentes por gramo de base seca (mg GAE/g bs), tomando en cuenta la determinación de los sólidos totales de cada uno de los extractos.

### **2.2.7. Identificación de la mangiferina**

En los últimos años varias investigaciones han demostrado que los análisis espectroscópicos FT-IR son herramientas efectivas para la caracterización e

identificación de grupos funcionales y/o compuestos presentes en extractos de plantas (**Eberhardt et al., 2007**). Para llevar a cabo el análisis se utilizaron valores estándares de los grupos funcionales de la mangiferina junto con su respectivo espectro (**Kullu et al., 2014**).

#### **2.2.8. Microencapsulación del extracto**

Una vez determinado el tratamiento con mayor rendimiento de mangiferina, se procedió a elaborar un concentrado del polifenol. Para conseguirlo, se replicó el mejor tratamiento hasta conseguir un total de 3 litros; posteriormente se evaporó el disolvente (EtOH) empleando un rotavapor a una temperatura de 68 °C con una velocidad de 235 r.p.m. El volumen obtenido fue conservado a 4 °C en frascos ámbar hasta su manipulación.

Utilizando maltodextrina como agente encapsulante, se elaboró una solución de extrato-polímero-agua en cantidades específicas para obtener un 30% de sólidos totales (**López & Peñaloza, 2022**); seguidamente con la ayuda de una varilla de agitación se disolvió el polímero con el resto de las componentes de la solución. Para la microencapsulación se utilizó el equipo Mini Spray Dryer BUCHI-B290. Mediante el cual, una vez encendido el equipo junto con sus implementos, se colocó la mezcla en un recipiente que, con una bomba peristáltica ajustada a 25%, se alimentó a la cámara de secado, se verificó también los parámetros de presión (-50 mbar) y de temperaturas; como temperatura de entrada se utilizó 150 °C (**López & Peñaloza, 2022**), mientras que la temperatura de salida fue regulada mediante flujos de aire y agua para mantener una temperatura de 80 °C.

#### **2.2.9. Determinación cuantitativa de la eficiencia de microencapsulación**

Empleando 1 g del microencapsulado, se cuantificó el contenido de polifenoles totales y superficiales disueltos en agua y en etanol respectivamente, las muestras fueron centrifugadas a 3000 r.p.m durante 5 minutos. Seguido a ello, se determinó la concentración con ayuda del método de Folin-Ciocalteu.

Posteriormente, se empleó la siguiente fórmula para la evaluación de la eficiencia de microencapsulación:

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

Donde  $EE\%$  es la eficiencia de la microencapsulación,  $CT_{agua}$  es la concentración total de polifenoles en la microesfera y  $CS_{etanol}$  es la concentración de polifenoles en la superficie de la microesfera.

#### **2.2.10. Determinación cualitativa de la eficiencia de microencapsulación**

Se estudió la eficiencia del proceso comparando los espectros (bandas de las frecuencias de vibración presente en los enlaces de los átomos en la partícula) del agente encapsulante con el polifenol sin microencapsular y el microencapsulado, aplicando una variación del intervalo de frecuencias empleado por **López & Peñaloza, (2022)**, oscilando entre 500 y 4000  $cm^{-1}$ . Con el espectroscopio infrarrojo FT-IR se obtuvo espectros infrarrojos de absorción, emisión y fotoconductividad de sólidos y líquidos. Para el análisis se colocó de 1-3 mg de los ejemplares mencionados anteriormente en la cámara de muestra del equipo.

#### **2.2.11. Determinación de la actividad antioxidante *in vitro***

En este proceso se utilizó el reactivo 2,2 difenil-1-picrihidracilo (DPPH), tal como lo describe **Guija et al., (2015)**. En primer lugar, se elaboró una curva de calibración con distintas concentraciones de solución tampón trolox (50 a 500  $\mu\text{mol/l}$ ); posterior a ello, se realizaron disoluciones con el extracto sin microencapsular y con el extracto microencapsulado; en una placa de 96 pocillos se distribuyó 180  $\mu\text{L}$  del reactivo y se añadió 20  $\mu\text{L}$  del extracto (en cada pocillo) junto con una solución control (agua-DPPH) y una solución blanco de metanol-agua (80:20), con la finalidad de obtener los valores necesarios para calcular el porcentaje de inhibición del DPPH. La placa fue analizada en un espectrofotómetro UV-Vis a una longitud de onda de 515 nm.

Se midió el porcentaje de inhibición del DPPH con la siguiente ecuación:

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

Donde  $A_m$  es el valor de absorbancia de la muestra,  $A_b$  es la absorbancia del blanco reactivo y  $A_c$  es la absorbancia de la muestra control.

### **2.2.12. Análisis estadístico de los datos**

Para los análisis de los datos arrojados en la etapa de extracción del componente bioactivo se empleó un diseño experimental  $3^2$ , el cual permite la evaluación de los efectos de las variables independientes en la variable de respuesta. El proceso de optimización fue realizado por la metodología de superficie de respuesta, modelo que ya ha sido ampliamente utilizado por varios investigadores (**Akalın et al., 2015; Djafarzadeh et al., 2013; Esfahani et al., 2014**). En esta etapa se estudiaron 9 tratamientos de extracción realizando un total de 9 repeticiones de las variables cuantitativas por cada uno. Para el estudio de las interacciones entre las variables se utilizó un análisis de tabla ANOVA y sumado a ello se utilizó un gráfico de superficie de respuesta que proporcionó información acerca de las condiciones óptimas de extracción. Para los análisis estadísticos se empleó la versión prueba del software Statgraphics.

## CAPÍTULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.1. Análisis y Discusión de los resultados

#### 3.1.1. Extracción de muestras y evaluación cuantitativa de polifenoles

Para el proceso de extracción de polifenoles se diagnosticaron las influencias de dos variables en su obtención: Concentración del disolvente y el tiempo de extracción. Una vez aplicado el diseño experimental planteado, se determinó el contenido final de polifenoles expresado en miligramos de ácido gálico equivalentes por cada gramo de material seco (mg GAE/ g base seca), tal como se muestra en la tabla 9.

**Tabla 9.**

*Contenido total de polifenoles de los tratamientos de extracción.*

Código del tratamiento	Concentración de Etanol (% v/v)	Tiempo (min)	TPC (mg GAE/g base seca)
C1T1	0	30	19,2915 ± 1,9255
C1T2	0	45	66,2119 ± 2,7109
C1T3	0	60	47,4599 ± 3,9801
C2T1	50	30	79,1558 ± 3,3356
C2T2	50	45	63,1734 ± 1,7957
C2T3	50	60	74,3573 ± 1,8937
C3T1	70	30	92,2856 ± 3,0570
C3T2	70	45	91,1051 ± 2,0251
C3T3	70	60	90,9551 ± 2,6413

**Nota:** En la presente tabla se muestra el contenido total de polifenoles (TPC) de cada uno de los tratamientos empleados.

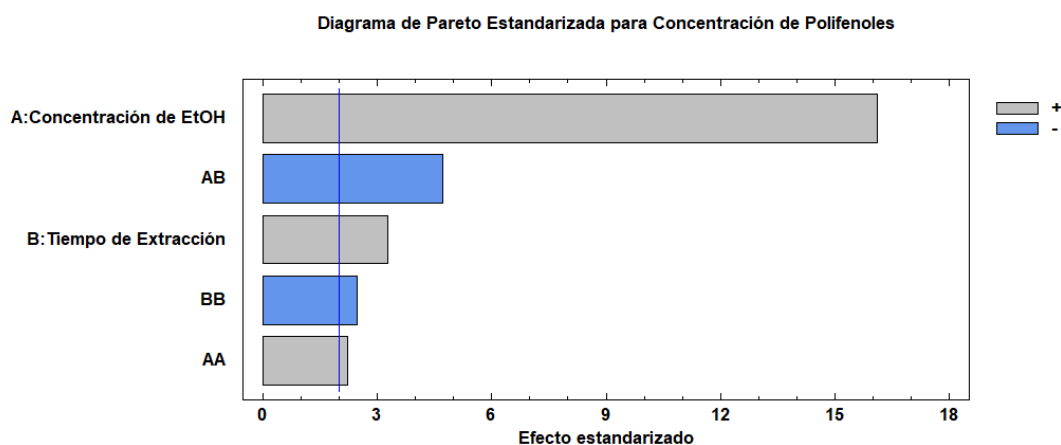
Según los resultados obtenidos de la extracción, los valores varían desde los 19,2915 ± 1,9255 mg GAE/g base seca hasta 92,2856 ± 3,0570 mg GAE/g base seca; en base

a la cantidad obtenida de polifenoles totales se puede contrastar con otros estudios que los valores a obtener pueden variar desde los 18,66 mg GAE/g de base seca (Safdar et al., 2017) hasta los  $112,90 \pm 3,7094$  mg GAE/g base seca (Castañeda-Valbuena et al., 2021). La cantidad de polifenoles totales puede variar acorde el material vegetal que es empleado para la extracción, no obstante, existen estudios que aseguran que la mayor cantidad de polifenoles es encontrada en la cáscara del mango, tomando en cuenta que su distribución es influenciada por diversos factores como los biológicos, aquellos que cumplen parte importante brindando protección contra el estrés ambiental (Jahurul et al., 2015; Lakshminarayana et al., 1970; Lebaka et al., 2021).

Con los datos obtenidos se realizaron los respectivos análisis estadísticos. A continuación, en la figura 3 se puede observar el diagrama de Pareto que muestra los efectos estandarizados del experimento en base a los valores absolutos proporcionados por la tabla ANOVA.

**Figura 3.**

*Diagrama de Pareto estandarizado de los factores de análisis.*



**Nota:** Ilustración extraída de la versión prueba del software Statgraphics.

La gráfica brindó una comparación de los efectos que presentan un bajo rango de significancia hasta los de mayor rango. Acorde con el diagrama, se dedujo que tanto

la concentración del disolvente como el tiempo de extracción tienen un rango de significancia relevante, por consecuencia, la relación entre estos dos factores posee un nivel significativo notable en el contenido de polifenoles. La significancia de los efectos de las variables es corroborada con los datos del *P-value* de la tabla ANOVA, los cuales indican que los efectos son representativamente diferentes de cero, trabajando con un nivel de confianza del 95%.

Para la determinación del contenido total de polifenoles se empleó etanol como disolvente de extracción donde la diferente proporción del mismo afectó de manera significativa ( $p < 0,05$ ) a los resultados, en los cuales se logró obtener valores superiores a 90 mg GAE/ g base seca utilizando una concentración del 70%. La presencia de una mayor cantidad de compuestos fenólicos se debe a que gran parte de las extracciones son ejecutadas con disolventes acuosos en contraste con las realizadas con disolventes absolutos (Sultana et al., 2009). Según los estudios de Turkmen et al., (2006) y Vural et al., (2020), determinaron que el aumento en la polaridad del disolvente original ayuda a incrementar el rendimiento en la obtención de polifenoles. En relación a lo mencionado, el solvente utilizado con más frecuencia es el agua debido a que tiene tendencia a formar puentes de hidrógeno fuertes como consecuencia de su alta polaridad. Esta premisa se refleja en los resultados presentados, donde para maximizar la extracción se empleó una relación etanol-agua, con la finalidad que una mayor cantidad de fenoles puedan ser solubilizados en la mezcla. Cabe recalcar que el etanol es frecuentemente utilizado en las extracciones debido a que es reutilizable, barato y no es tóxico (Bhebhe et al., 2016).

En la figura 4, se puede observar el gráfico de superficie de respuesta, frecuentemente utilizada para tratar problemas donde existe una respuesta de interés que puede verse afectada por dos o más factores cuantitativos. De esta forma, se sometió a análisis la influencia de los factores en el proceso de optimizar el contenido de polifenoles, mostrando que el uso de etanol al 70% (v/v) durante 41 minutos, son las condiciones de extracción más eficientes.



**Figura 4.**

*Gráfica de superficie de respuesta estimada.*

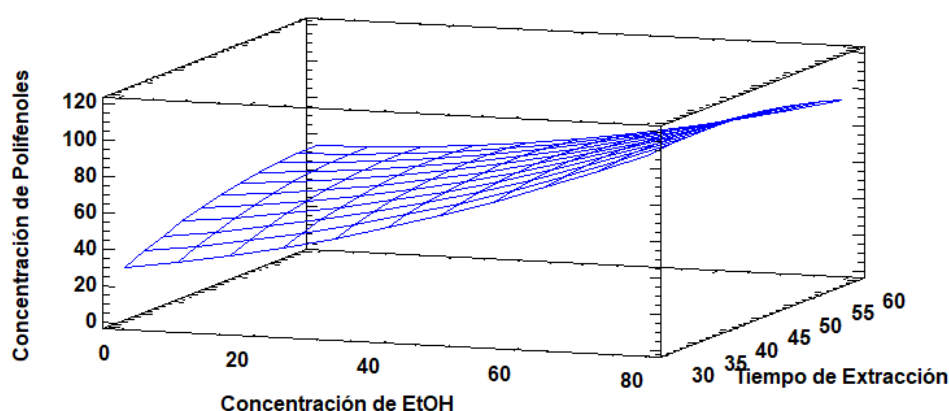
**Optimizar Respuesta**

Meta: maximizar Concentración de Polifenoles

Valor óptimo = 96,0575

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Concentración de EtOH	0,0	70,0	70,0
Tiempo de Extracción	30,0	60,0	40,9962

**Superficie de Respuesta Estimada**



**Nota:** Ilustración extraída de la versión prueba del software Statgraphics.

Referente a lo mencionado anteriormente, se han realizado estudios para maximizar la recuperación de fenoles de la fruta del mango, concluyendo que al incrementar la concentración del disolvente es posible aumentar la cantidad de fenoles, sin embargo, han comprobado que concentraciones mayores al 70% causan disminuciones en la recuperación de fenoles (**Rawdkuen et al., 2016; F. Siacor et al., 2020**). En un estudio similar se llevaron a cabo tratamientos con 0, 10, 25, 50, 75, 90, 100 % de concentración de etanol, donde la mayor cantidad de polifenoles se obtuvieron con 50 % y 75 % (**Lim et al., 2019a**), en los cuales, las cantidades extraídas en ambos tratamientos son ampliamente similares a las obtenidas en los tratamientos realizados con 70% en el presente estudio.

Es importante mencionar que se realizó dos tratamientos de extracción adicionales para asegurar los resultados de optimización del proceso. Las condiciones usadas fueron etanol al 70% (v/v) durante dos tiempos de 41 y 45 minutos.

**Tabla 10.**

*Contenido total de polifenoles de los tratamientos adicionales.*

<b>Código del tratamiento</b>	<b>Concentración de EtOH (% v/v)</b>	<b>Tiempo (min)</b>	<b>TPC (mg GAE/ g base seca)</b>
C3T4	70	41	93,5928 ± 3,2199
C3T2	70	45	91,1433 ± 3,1595

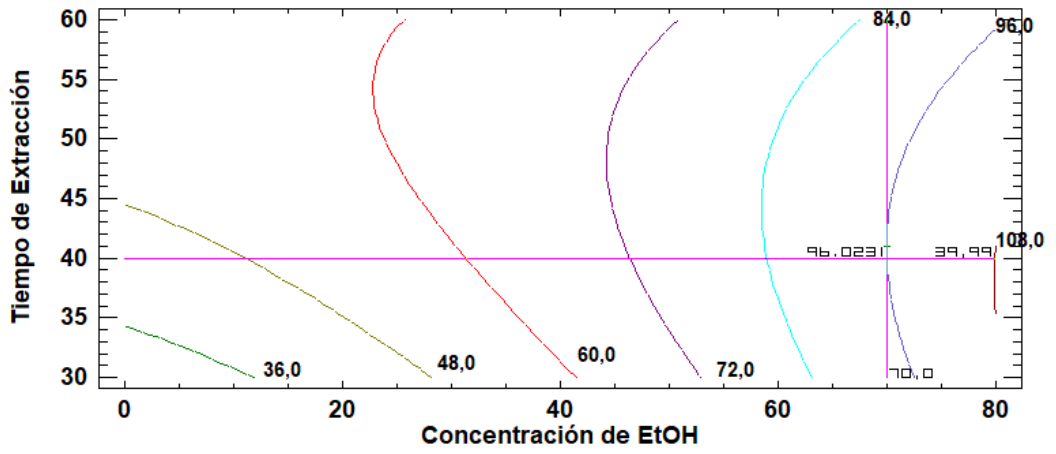
*Nota:* En la presenta tabla se muestra el contenido total de polifenoles (CTP) de cada uno de los tratamientos C3T2 (70% EtOH - 45 min) y C3T4 (70% EtOH - 41 min).

En la Tabla 10 se presentan las concentraciones finales de los fenoles en cada tratamiento, deduciendo que empleando etanol al 70% (v/v) y un tiempo 41 minutos, es el más apropiado para optimizar la recuperación del compuesto bioactivo. Adicionalmente, se analizó el modelo matemático brindado por el programa estadístico, con el cual se modelaron las concentraciones de polifenoles entre las cuales se destacan las presentadas en la Figura 5.

**Figura 5.**

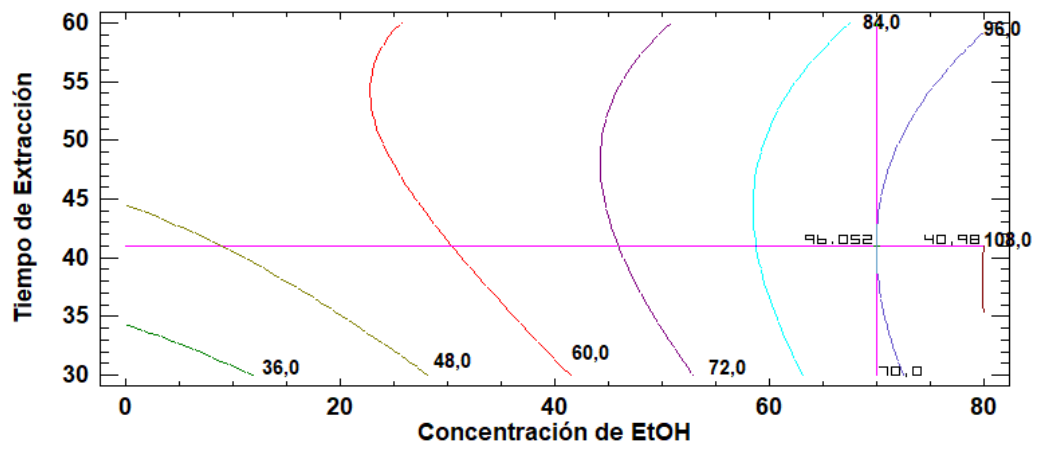
*Concentraciones modeladas por el programa estadístico.*

Contornos de la Superficie de Respuesta Estimada



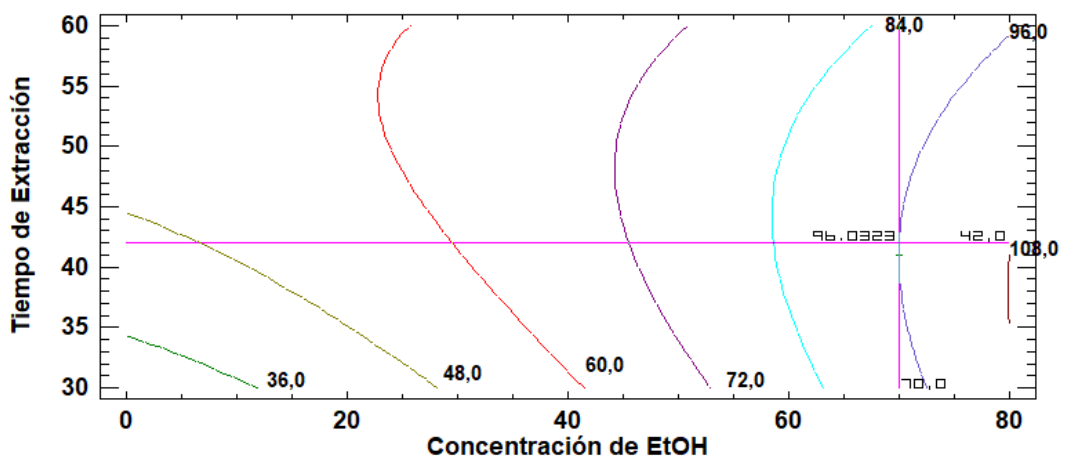
a)

Contornos de la Superficie de Respuesta Estimada



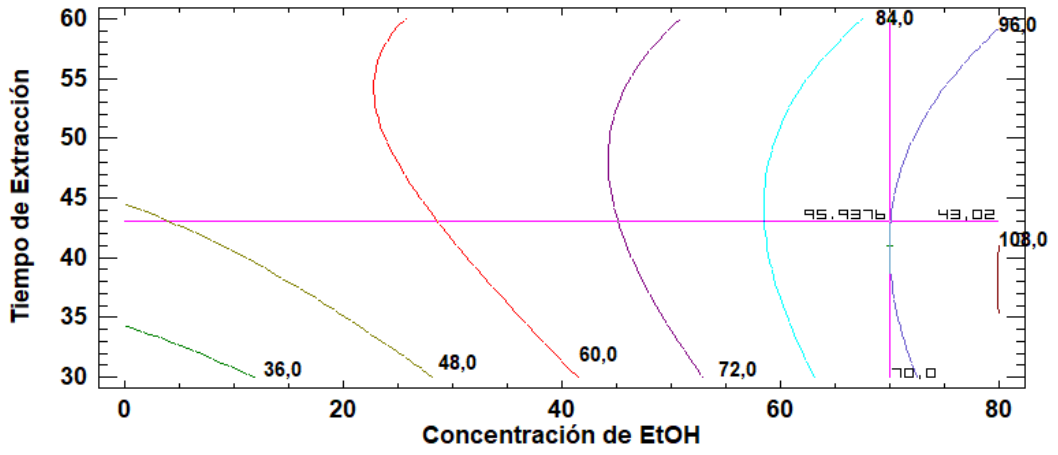
b)

Contornos de la Superficie de Respuesta Estimada



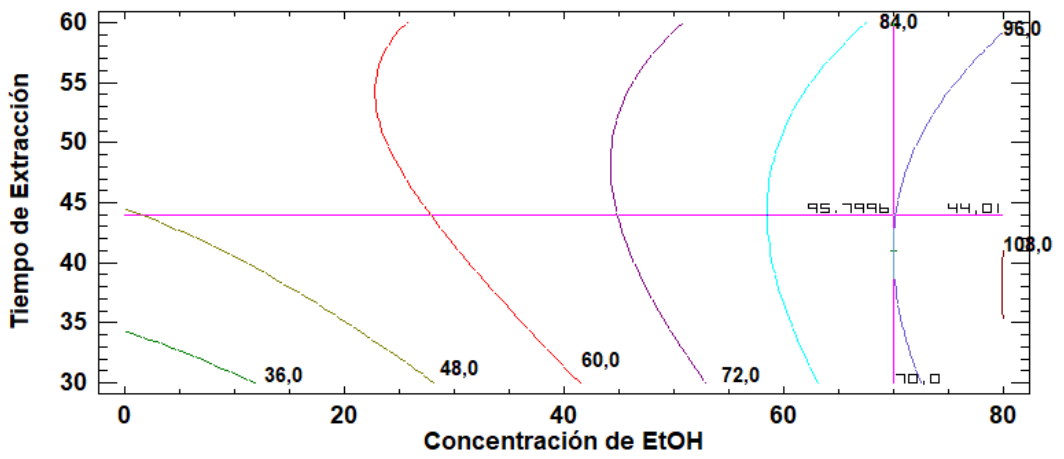
c)

Contornos de la Superficie de Respuesta Estimada



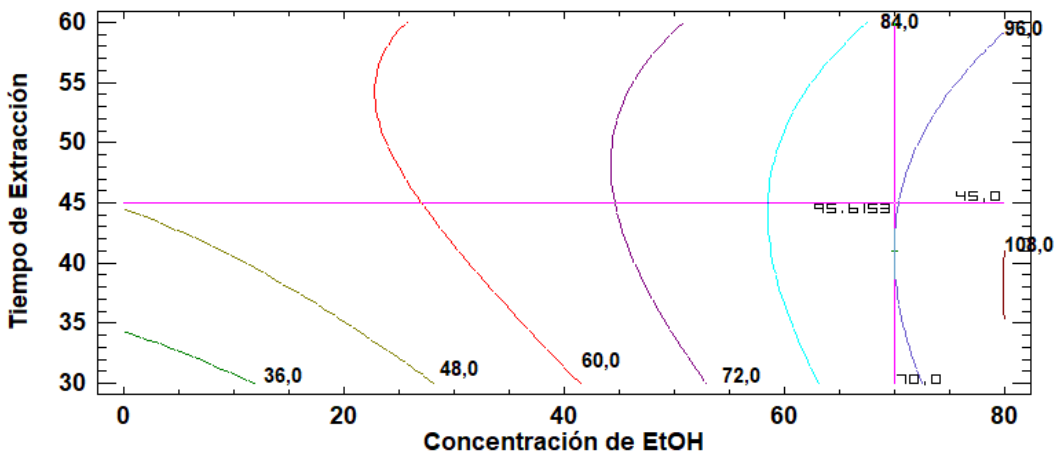
d)

Contornos de la Superficie de Respuesta Estimada



e)

Contornos de la Superficie de Respuesta Estimada



f)

**Nota:** Los resultados de las concentraciones de polifenoles fueron modelados con la ecuación generada por el programa estadístico: Concentración de Polifenoles = -46,778 + 0,971167\*Concentración de EtOH + 3,36614\*Tiempo de Extracción + 0,0057548\*Concentración de EtOH<sup>2</sup> - 0,0155723\*Concentración de EtOH\*Tiempo de Extracción - 0,0277596\*Tiempo de Extracción<sup>2</sup>

El tiempo de extracción es un factor importante para lograr una disminución de costos en la energía del proceso, puesto que el contenido de polifenoles tiende a aumentar a tiempos específicos dependientemente del material vegetal empleado (**Jovanović et al., 2021**). En la Figura 5b, se observa que se podría conseguir una mayor cantidad de polifenoles empleando tiempos oscilantes entre los 39,99-42,00 minutos, sin embargo, la variación de la concentración obtenida es inferior a 1 mg GAE/g base seca, variación que en escala industrial no representa mayor significancia. El aumento de los compuestos fenólicos empleando mayores tiempos puede ser causado por un incremento en la liberación de polifenoles durante la ebullición del extracto; por otra parte, la disminución puede ser atribuida a la desintegración de los polifenoles por el uso de tratamientos térmicos de alta gama o puede ser causada por una diferencia en la solubilidad de los compuestos presentes en el material vegetal, los cuales son los promotores de la lenta liberación de fenoles con respecto al tiempo (**Zargar et al., 2018**).

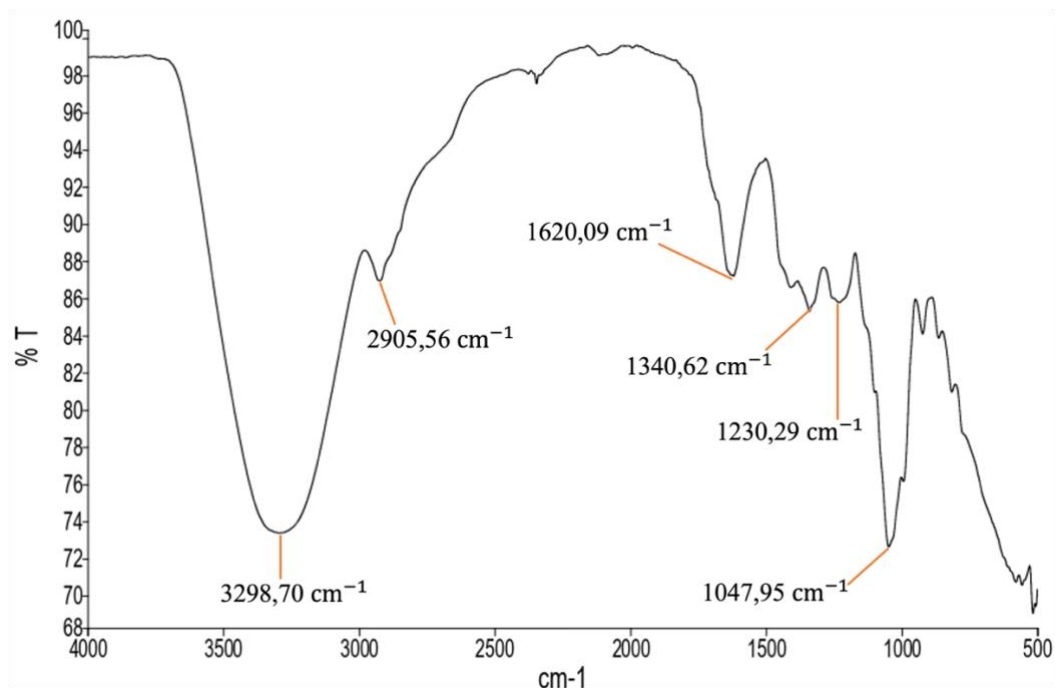
Finalmente, la temperatura a la que se llevó a cabo los procesos de extracción fue de 70 °C, esto debido a que en los procesos tradicionales de extracción de polifenoles, los mejores rendimientos se alcanzaron a temperaturas que oscilan entre los 60-80 °C (**Hernández-Carranza et al., 2016; Soquetta et al., 2018**), pues, se ha comprobado que al utilizar temperaturas mayores a 80-90 °C, los disolventes tienden a evaporarse rápidamente, pueden volverse menos estables o incluso podrían experimentar un cierto grado de descomposición (**Antony & Farid, 2022**).

### 3.1.2. Identificación de la mangiferina

El protocolo experimental se basó en el Análisis por espectroscopía infrarroja de la Transformada de Fourier (FT-IR), que permite identificar y localizar las especies químicas de las muestras que son sometidas a análisis (Hanna et al., 1979). FT-IR es una técnica sensible, selectiva y rápida, es decir, la generación de los resultados es inferior a 10 minutos, contrariamente a la cromatografía líquida de alta resolución (HPCL), técnica en la que se invierte más tiempo en los análisis y es necesario la preparación preliminar de una fase móvil (Ouhaddouch et al., 2019). En la Figura 6 se detallan las longitudes de onda de cada uno de los picos presentes en la muestra del extracto concentrado.

**Figura 6.**

*Espectro FT-IR del extracto concentrado.*

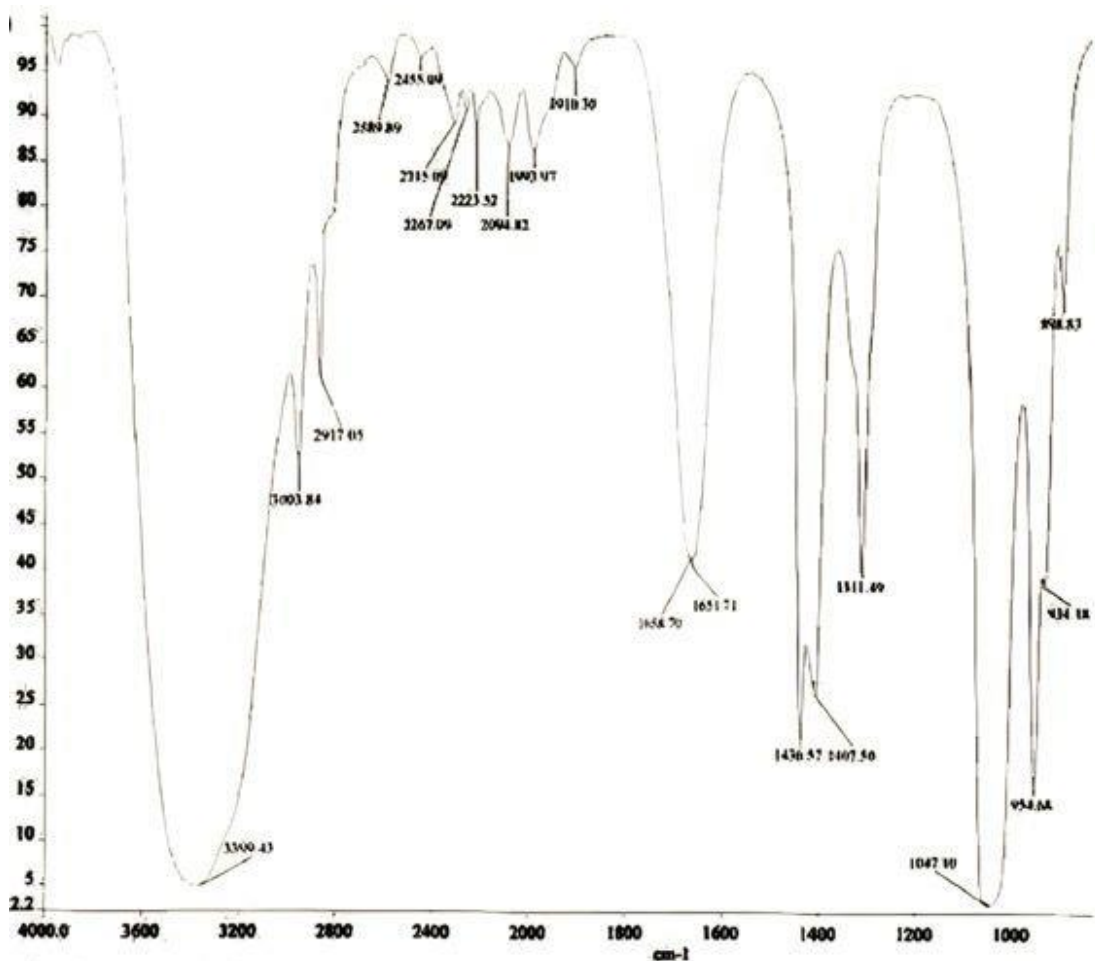


En la identificación del polifenol de interés se utilizó el espectro infrarrojo de una muestra de mangiferina estándar tomando como referencia el utilizado en el estudio

de **Kullu et al., (2014)**, comparando los grupos funcionales presentes en la estructura química de la mangiferina, los cuales poseen frecuencias vibracionales únicas asociadas (**Coates, 2000**).

**Figura 7.**

*Espectro de una muestra de mangiferina estándar.*



*Nota:* El espectro presentado fue extraído del estudio de **Kullu et al., (2014)**

En la Tabla 11 se comparó y se verificó que los valores generados en el espectro infrarrojo están dentro de los rangos en los que se localizan los grupos funcionales de la estructura química de la mangiferina.

**Tabla 11.**

*Comparación de los valores de los grupos funcionales del extracto y la mangiferina estándar.*

<b>Grupo Funcional</b>	<b>Longitud de onda (<math>cm^{-1}</math>) de la mangiferina extraída mediante infusión.</b>	<b>Longitud de onda (<math>cm^{-1}</math>) de la mangiferina estándar.</b>	<b>Rangos de longitudes de onda (<math>cm^{-1}</math>) de mangiferina.</b>
<b>O – H</b>	3,298.70	3,399.43	3600-3200
<b>C – H</b>	2,905.56	2,917.05	3100-3000
<b>(&gt; C = O)</b>	1,620.09	1,660.91	1740-1660
<b>C = C</b>	1,340.62	1,436.57	1650-1400
<b>C – O</b>	1,230.29	1,311.49	1300-1000
<b>C – O – C</b>	1,047.95	1,047	1050-1000

*Nota:* Los valores de mangiferina estándar fueron extraídos de la investigación de **Kullu et al., (2014)**; los rangos de longitud de onda de mangiferina fueron obtenidos del estudio de **Bangaru et al., (2020)**

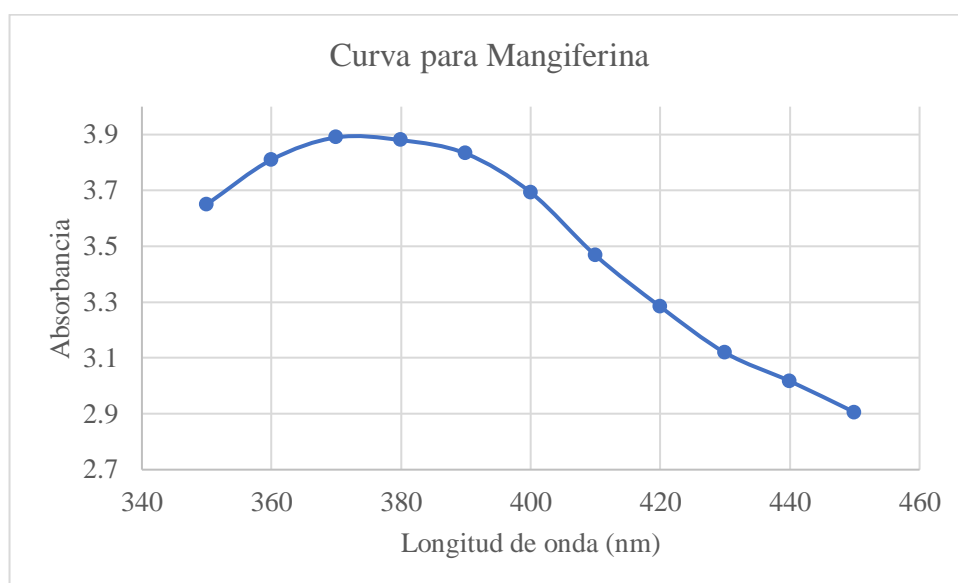
Sin embargo, a pesar de que con la información presentada en la Tabla 11 se puede deducir que el mayor polifenol presente en el extracto es la mangiferina, los valores obtenidos no son idénticos en contraste a los de la mangiferina estándar, esto se debe a que el extracto no está compuesto únicamente por éste polifenol, sino, es una agrupación de compuestos que mantienen una interacción constante, lo que resulta algo complejo realizar una intensa identificación de un compuesto específico (**Martínez-Olivo et al., 2023**).



Adicional a este análisis, se realizó un estudio de las absorbancias medidas mediante el espectro UV-Visible. Las absorbancias utilizadas fueron desde 350-450 nm. Donde, como se puede observar en la Figura 8, la máxima absorbancia se produce a 370 nm, valores que concuerdan con las absorbancias que presentan las moléculas xantonas, específicamente, la mangiferina (Forero & Pulido, 2016).

### Figura 8.

*Curva de absorbancia vs longitud de onda del extracto.*



### 3.1.3. Microencapsulación

La medición de la eficiencia es el factor más relevante en el proceso de la microencapsulación, debido a que se mide la cantidad de muestra de núcleo que se encapsula dentro de un material que funciona como pared, en contraste con la concentración del núcleo empleado para el proceso (Choudhury et al., 2021). La eficiencia de microencapsulación puede verse afectada por distintos factores tales como la solubilidad del polímero en el disolvente, la concentración del polímero, factores técnicos como las temperaturas de entrada y de salida del proceso, entre otros (Jyothi Sri et al., 2012).

En este estudio, el proceso de microencapsulación fue realizado con las especificaciones técnicas de **López & Peñaloza, (2022)**, investigación donde se estudiaron cuatro tratamientos empleando diferentes cargas de sólidos con distintas temperaturas de entrada, entre las cuales, el mejor tratamiento para el proceso fue el realizado con un 30% de sólidos totales en relación extracto-polímero-agua, a una temperatura de entrada de 150 °C; al ser parámetros para la microencapsulación de compuestos fenólicos de un material vegetal determinado (guayusa), los mismos se utilizaron para el proceso de encapsulación en la presente investigación.

### 3.1.4. Eficiencia cuantitativa de microencapsulación

En la Tabla 11 se presentan los resultados del cálculo de la eficiencia de la microencapsulación, realizado de manera cuantitativa mediante el método de F-C.

**Tabla 12.**

*Resultados de la eficiencia de microencapsulación.*

<b>Muestras</b>	<b>Concentraciones (mg GAE/ L)</b>	<b>Rendimiento (%)</b>	<b>Eficiencia (%)</b>
Microencapsulado disuelto en agua destilada	78,191 ± 4,946	77,51	95,146 ± 1,530
Microencapsulado disuelto en EtOH	3,727 ± 0,222		

Previamente se han realizado estudios acerca de la encapsulación de compuestos fenólicos del mango empleando diferentes metodologías y materiales vegetales. En el estudio de **El-Messery et al., (2020)** se utilizó cáscara de mango y ultrasonido como proceso de encapsulación empleando maltodextrina con un concentrado de proteína de suero (20:80) como material de revestimiento; (**Lim et al., 2019b**) empleó la semilla de la fruta y el secado por pulverización con maltodextrina; **Velderrain-Rodríguez et**

**al., (2019)** utilizó la cáscara y una emulsión doble polimérica (agua:aceite) asistida por ultrasonido; **Siacor et al., (2020)** utilizó la semilla y el secado por pulverización con maltodextrina, los cuales obtuvieron 80,99%; >60%; 98,65%; >60%, como resultado de la eficiencia de la encapsulación, respectivamente.

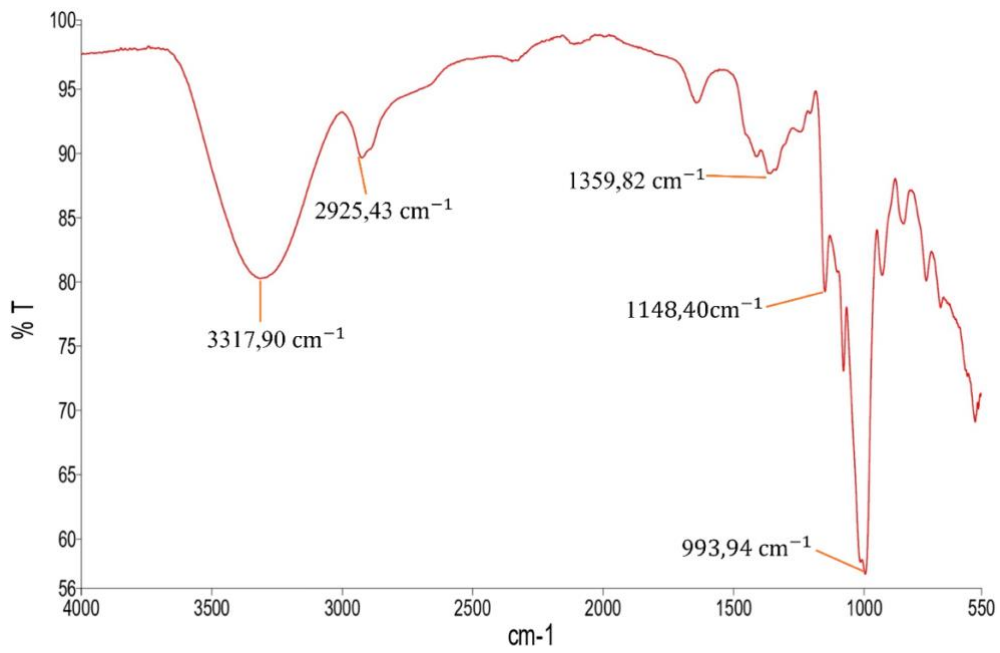
Dado que para obtener mayores porcentajes de eficiencia depende primordialmente de la concentración y las características del agente encapsulante empleado, además de como se ejecute el proceso de secado por aspersion (Mehta et al., 2022), en conjunción con los resultados obtenidos, el valor de la eficiencia de la microencapsulación del extracto rico en mangiferina expuesto en la Tabla 11 es de  $95,146 \pm 1,530$  %, el cual supera a los valores obtenidos en tres de las investigaciones mencionadas con anterioridad.

### **3.1.5. Eficiencia cualitativa de microencapsulación**

Para el estudio cualitativo de la eficiencia de microencapsulación se utilizó el análisis FT-IR. Se evaluaron los picos de los espectros junto con los valores de las longitudes de onda tomando en consideración la matriz polimérica utilizada y el extracto concentrado rico en mangiferina.

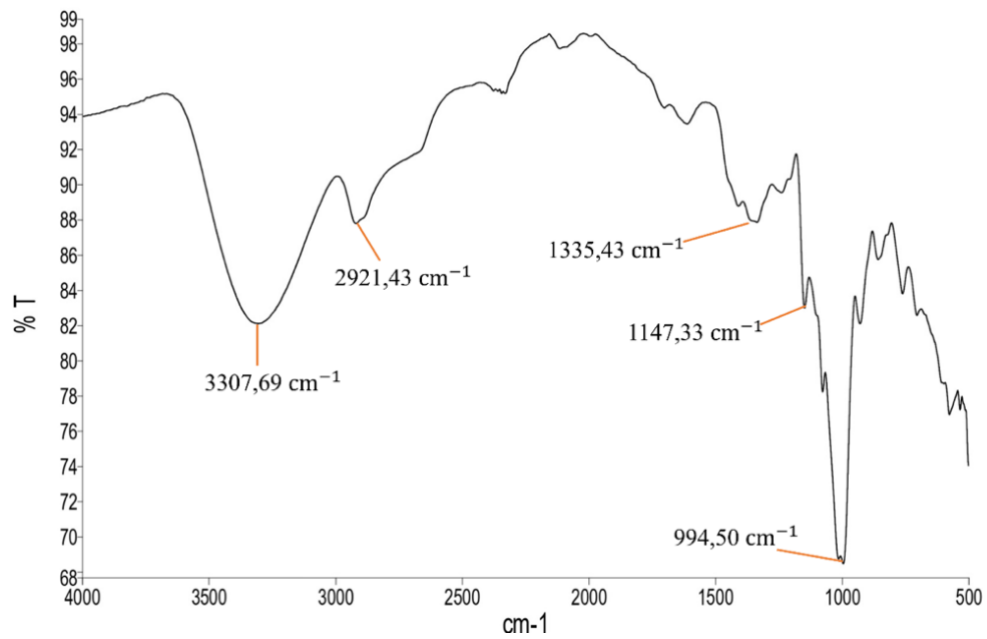
#### **Figura 9.**

*Espectro infrarrojo de la matriz polimérica (Maltodextrina).*



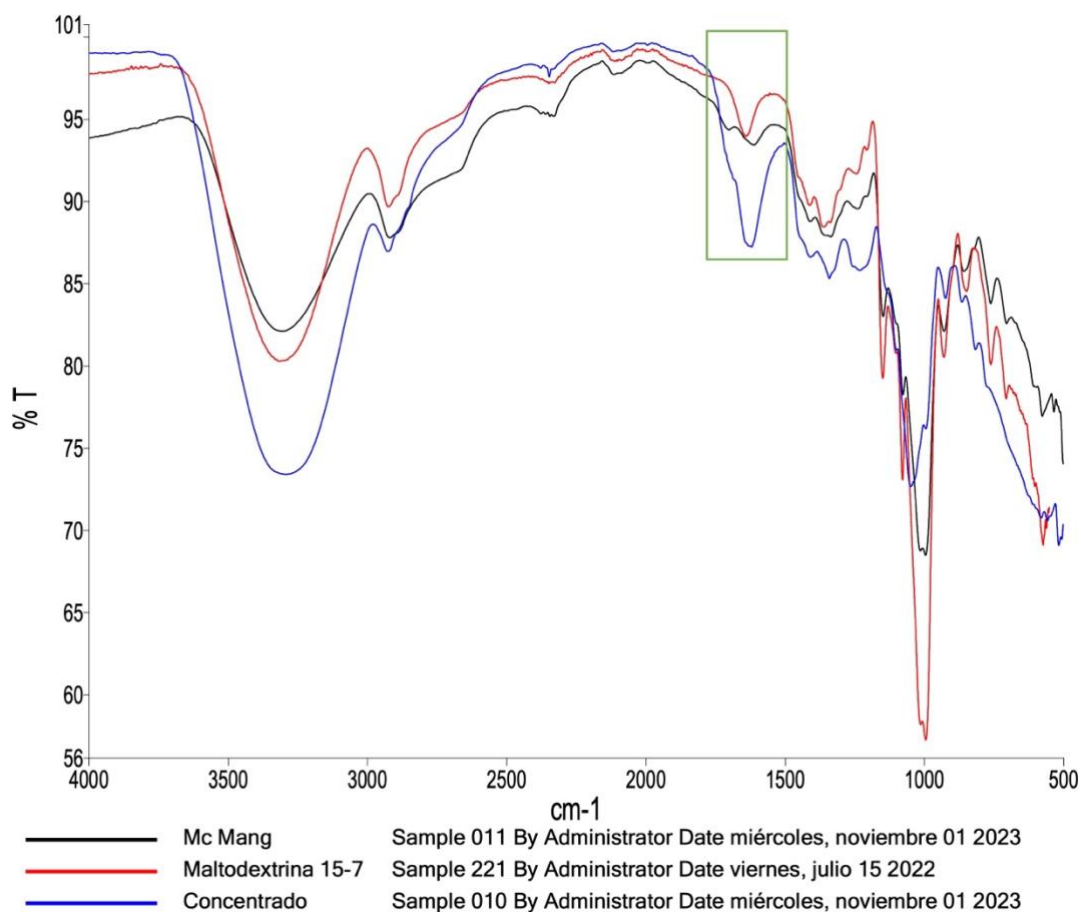
**Figura 10.**

*Espectro infrarrojo del microencapsulado rico en Mangiferina.*



**Figura 11.**

*Espectro infrarrojo del concentrado de mangiferina, maltodextrina y el microencapsulado de mangiferina*



La técnica FT-IR permitió analizar tanto los grupos funcionales y la naturaleza de las interacciones moleculares del polifenol (Abdin et al., 2021). Con los valores de las longitudes de onda presentados en la Figura 6, se confirmó la presencia de compuestos fenólicos en el extracto. Esto se debe a que en el pico que oscila alrededor de  $1600\text{ cm}^{-1}$  corresponde al grupo funcional  $C=C$ , en el cual se produjo un estiramiento del anillo aromático fenólico (Li et al., 2020). Sin embargo, se observó en la Figura 10 que el pico correspondiente al grupo funcional  $C=C$  se encuentra sumamente reducido y se encuentra semejante al pico de la misma posición presentado en la Figura 9, espectro que corresponde a la maltodextrina, el agente polimérico utilizado en el proceso de microencapsulación.

La similitud de los espectros pueden ser observadas de mejor manera en la Figura 11, en la cual se compararon las bandas características de la maltodextrina, el microencapsulado del extracto rico en mangiferina y del extracto concentrado. La región señalada en la Figura 11 indica la similitud mencionada anteriormente, la cual es causada por el proceso de encapsulación, es decir, el proceso de atomización empleando maltodextrina generó microesferas que confirman la presencia del extracto rico en mangiferina inmerso en el polímero (Ferreira et al., 2022).

### 3.1.6. Actividad Antioxidante

La actividad antioxidante de un extracto es otorgada en base al potencial de captura de radicales libres, tomando en cuenta que es la estructura molecular del compuesto la que confiere las capacidades de inhibición de radicales (posiciones de los grupos hidroxilos; naturaleza de las sustituciones que se dan en los anillos aromáticos) (Tirzitis & Bartosz, 2010). En el caso de los radicales libres, los antioxidantes pueden funcionar de tres maneras para incrementar la estabilidad de un radical: Transferencia de átomos de Hidrógeno (HAT), donde el antioxidante dona un átomo de hidrógeno al radical libre, Transferencia de un solo electrón (SET), donde se protona a un radical antioxidante; Modo mixto, sucede cuando debido a la comparabilidad de las tasas de transferencias de hidrógeno y de electrones, no es posible asignar la acción antioxidante a un solo mecanismo (Prenzler et al., 2021). En el presente estudio, los análisis de la actividad antioxidante tanto del extracto como del microencapsulado, fueron realizados mediante ensayo DPPH. En la Tabla 13, se expresaron los resultados logrados en porcentaje de inhibición del radical DPPH.

**Tabla 13.**

*Resultados del análisis de la actividad antioxidante mediante método DPPH.*

Muestra	Factor de Dilución	Porcentaje de Inhibición (%)	Concentración ( $\mu\text{mol E. Trolox } L^{-1}$ )
Extracto	10	88,373 $\pm$ 3,497	4937,124 $\pm$ 216,405
Microencapsulado	20	43,165 $\pm$ 4,253	4279,152 $\pm$ 526,327

En la Tabla 12 se evidencia que el porcentaje de inhibición del extracto es mayor al del microencapsulado, no obstante, al ajustar la cantidad de sólidos totales para ambos, la relación indica que, para que el proceso de microencapsulación sea exitoso, se debía obtener un valor de inhibición  $> 29,458 \%$ , esto indica que la matriz polimérica seleccionada ayuda al aumento de la biodisponibilidad del compuesto fenólico. Esto puede verse reflejado al comparar las concentraciones en  $\mu\text{mol E. Trolox } L^{-1}$ , donde la diferencia entre ambos no es altamente significativa, teniendo en cuenta que el porcentaje de inhibición del microencapsulado significa alrededor de la mitad del valor de inhibición del extracto crudo.

Para la microencapsulación se utilizó una concentración inicial de sólidos del 30% obteniendo  $43,165 \pm 4,253 \%$  de inhibición. **Siacor et al., (2020)**, inició su estudio empleando una concentración de sólidos del 15% junto con ligeros incrementos en el porcentaje de maltodextrina utilizado, donde acorde con los valores de inhibición resultantes, determinaron que al utilizar cantidades de sólidos totales mayores al 15% no se detectaron amplias diferencias significativas, sin embargo, debido a que se observó pequeños incrementos en la actividad antioxidante, se deduce que la adición de maltodextrina y el aumento de sólidos posee un cierto nivel de significancia en la inhibición de radicales debido al efecto que causan las diluciones, por tal motivo, se empleó un factor de dilución superior para el microencapsulado. Por otro lado, **Çam et al., (2014)**, sugieren que el utilizar cantidades altas del agente encapsulante ayuda a la reducción de polifenoles presentes en los contornos de la microcápsula, lo que resulta en una mayor estabilidad de éstas.

Además, se observó que el extracto líquido posee actividad antioxidante y dependientemente del agente encapsulante que se use, el valor puede variar. En el estudio de **Kathiman et al., (2020)**, se microencapsularon extractos de *Phaleria macrocarpa* (mangiferina y otros polifenoles) utilizando maltodextrina, goma arábiga y una mezcla de ambos, en los que se obtuvo  $94,22 \pm 1,2\%$ ;  $93,99 \pm 2,07\%$  ;  $91,41 \pm 2,3\%$ , respectivamente, partiendo de un extracto puro con  $70,26 \pm 0,07\%$  de capacidad de inhibición, concluyendo que el uso de maltodextrina como agente portador muestra

menor contenido de humedad y una mayor actividad antioxidante. En la Tabla 13 se puede observar que se obtuvo un  $88,373 \pm 3,497$  % de inhibición de radicales en el extracto puro, siendo levemente superior a la actividad antioxidante del estudio de **Kathiman et al., (2020)**, sin embargo, posterior a la microencapsulación, el valor de la concentración difirió entre el extracto crudo y el encapsulado, diferencia que, aunque no es significativa, se produjo a causa de la disminución de los polifenoles una vez concluido el proceso de secado, y en consecuencia, se redujo también la capacidad antioxidante del microencapsulado (**Ferreira et al., 2022**).

### **3.2.Verificación de Hipótesis**

$H_0 \neq 0$

Se rechaza la hipótesis nula.

$H_a = 0$

Se acepta la hipótesis alternativa y se concluye que se obtuvo un microencapsulado rico en mangiferina con capacidad antioxidante extraído de la cáscara del mango.



## CAPÍTULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1. Conclusiones

- Los extractos fenólicos de la cáscara del mango presentaron concentraciones levemente superiores en comparación con estudios similares y se comprobó mediante análisis FT-IR y UV-Vis que el mayor polifenol presente en el extracto es correspondiente a la estructura química de la Mangiferina. El extracto no se vió afectado mediante los procesos térmicos a los que fue sometido al momento de su extracción mediante infusión y microencapsulación, manteniendo una cantidad considerable de mangiferina durante los procesos mencionados, en consecuencia, tanto el extracto crudo como el microencapsulado presentaron niveles altos de inhibición de radicales.
- Se extrajo una mezcla de compuestos fenólicos rico en mangiferina con los parámetros adecuados. Se estudiaron los efectos de las variables independientes (concentración de disolvente y tiempo) en la variable de respuesta (concentración de polifenoles), ensayando un total de nueve tratamientos con la finalidad de maximizar la cantidad de compuestos fenólicos utilizando análisis de superficie de respuesta. Concluyendo que tanto el tiempo de extracción como la concentración del disolvente fueron factores con alto nivel de significancia, se maximizó la cantidad de polifenoles extraídos empleando una concentración de etanol del 70% a un tiempo de 41 minutos aproximadamente.
- El extracto del mejor tratamiento fue analizado mediante FT-IR y UV-Vis para la identificación de la mangiferina como el polifenol de mayor presencia en el grupo de compuestos fenólicos extraídos. Posteriormente, se llevó a cabo el proceso de microencapsulación empleando 30% de sólidos totales de una mezcla de extracto-maltodextrina-agua, a una temperatura de entrada y de salida de 150 °C y 80 °C, respectivamente, con lo cual se obtuvo una exitosa microencapsulación acorde las bandas de los espectros de los tratamientos analizados mediante FT-IR, proporcionando una eficiencia de microencapsulación del  $95,146 \pm 1,530$  %.

- El extracto y el microencapsulado presentaron una inhibición de radicales con un amplio potencial. La maltodextrina como agente encapsulante incrementó la actividad antioxidante del extracto microencapsulado rico en mangiferina. A pesar que el extracto fue sometido a procesos que implican sistemas térmicos elevados, la concentración tanto del extracto rico en mangiferina como su actividad antioxidante no se vieron afectadas significativamente. Es importante mencionar que el proceso de microencapsulación permanece siendo como una alternativa reproducible y viable para la conservación de la estabilidad de compuestos bioactivos en largos periodos de tiempo.

#### **4.2. Recomendaciones**

- Estudiar la influencia de otros factores que podrían influir en las concentraciones de los compuestos fenólicos extraídos con diferentes solventes pudiendo ser asistidos con otras metodologías y/o equipos.
- Comparar la influencia de la selección del porcentaje de sólidos totales previo a la microencapsulación con la finalidad de determinar una mejoría en la eficiencia de encapsulación y en posteriores análisis llevados a cabo con los microencapsulados.
- Evaluar el uso de diferentes matrices poliméricas en el proceso de encapsulación de un extracto rico en mangiferina.
- Determinar la estabilidad y la biodisponibilidad de los microencapsulados para la obtención de resultados mas viables.
- Aplicar diferentes técnicas de medición de la capacidad antioxidante.

## CAPÍTULO V.- MATERIALES DE REFERENCIA

### 5.1. Bibliografía

- Abdin, M., Salama, M. A., Riaz, A., Akhtar, H. M. S., & Elsanat, S. Y. (2021). Enhanced the entrapment and controlled release of *Syzygium cumini* seeds polyphenols by modifying the surface and internal organization of Alginate-based microcapsules. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(1). <https://doi.org/10.1111/jfpp.15100>
- Akalın, M. K., Tekin, K., Akyüz, M., & Karagöz, S. (2015). Sage oil extraction and optimization by response surface methodology. *Industrial Crops and Products*, 76, 829–835. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.08.005>
- Ali, S. S., Ahsan, H., Zia, M. K., Siddiqui, T., & Khan, F. H. (2020). Understanding oxidants and antioxidants: Classical team with new players. *Journal of Food Biochemistry*, 44(3). <https://doi.org/10.1111/jfbc.13145>
- Anbalagan, K., Kumar, M. M., Ilango, K., Mohankumar, R., & Priya, R. L. (2019). Prelusive scale extraction of mangiferin from *Mangifera indica* leaves: Assessing solvent competency, process optimization, kinetic study and diffusion modelling. *Industrial Crops and Products*, 140, 111703. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111703>
- Antony, A., & Farid, M. (2022). Effect of Temperatures on Polyphenols during Extraction. *Applied Sciences*, 12(4), 2107. <https://doi.org/10.3390/app12042107>
- Apolinario, R., Rodríguez, M., & Zambrano, L. (2022). La Cadena de Valor del Mango Ecuatoriano y su Competitividad Internacional. *Compendium*, 24(47). [https://www.redalyc.org/journal/880/88069714002/html/#redalyc\\_88069714002\\_ref12](https://www.redalyc.org/journal/880/88069714002/html/#redalyc_88069714002_ref12)

- Arroyo, E. (2020). *Utilización de los subproductos de mango (Mangifera indica L.) con tecnología cero desechos para la elaboración de productos aplicados a la industria cosmética y alimenticia* [Bachelor Thesis]. Universidad San Francisco de Quito.
- Bangaru, S., Manivannan, P., & Muthu, S. (2020). Spectroscopic investigations, quantum chemical calculations and molecular docking studies of Mangiferin—An anti-viral agent of H1N1 Influenza virus. *Chemical Data Collections*, 30, 100580. <https://doi.org/10.1016/j.cdc.2020.100580>
- Barakat, S., Nasr, M., Ahmed, R. F., Badawy, S., & Mortada, N. (2022). Recent Formulation Advances of Mangiferin. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 32(6), 871–882. <https://doi.org/10.1007/s43450-022-00297-z>
- Bhebhe, M., Füller, T. N., Chipurura, B., & Muchuweti, M. (2016). Effect of Solvent Type on Total Phenolic Content and Free Radical Scavenging Activity of Black Tea and Herbal Infusions. *Food Analytical Methods*, 9(4), 1060–1067. <https://doi.org/10.1007/s12161-015-0270-z>
- Burneo, N., Mora-Medina, M., & Figueroa, J. (2021). Optimización de la Deshidratación y Extracción de Compuestos Fenólicos de Piel de Mango. *Química Nova*. <https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170842>
- Çam, M., İcyer, N. C., & Erdoğan, F. (2014). Pomegranate peel phenolics: Microencapsulation, storage stability and potential ingredient for functional food development. *LWT - Food Science and Technology*, 55(1), 117–123. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.09.011>
- Castañeda-Valbuena, D., Ayora-Talavera, T., Luján-Hidalgo, C., Álvarez-Gutiérrez, P., Martínez-Galero, N., & Meza-Gordillo, R. (2021). Ultrasound extraction conditions effect on antioxidant capacity of mango by-product extracts. *Food and Bioprocess Processing*, 127, 212–224. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2021.03.002>

- Choudhury, N., Meghwal, M., & Das, K. (2021). Microencapsulation: An overview on concepts, methods, properties and applications in foods. *Food Frontiers*, 2(4), 426–442. <https://doi.org/10.1002/fft2.94>
- Coates, J. (2000). Interpretation of Infrared Spectra, A Practical Approach. In R. A. Meyers (Ed.), *Encyclopedia of Analytical Chemistry* (1st ed.). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9780470027318.a5606>
- Dippenaar, C., Shimbo, H., Okon, K., Miller, N., Joubert, E., Yoshida, T., & De Beer, D. (2022). Anti-Allergic and Antioxidant Potential of Polyphenol-Enriched Fractions from *Cyclopia subternata* (Honeybush) Produced by a Scalable Process. *Separations*, 9(10), 278. <https://doi.org/10.3390/separations9100278>
- Djafarzadeh, N., Zarei, M., Behjati, B., & Khataee, A. R. (2013). Optimization of the oxalate catalyzed photoelectro-Fenton process under visible light for removal of Reactive Red 195 using a carbon paper cathode. *Research on Chemical Intermediates*, 39(7), 3355–3369. <https://doi.org/10.1007/s11164-012-0848-7>
- Do Nascimento Oliveira, A., De Almeida Paula, D., Basílio De Oliveira, E., Henriques Saraiva, S., Stringheta, P. C., & Mota Ramos, A. (2018). Optimization of pectin extraction from Ubá mango peel through surface response methodology. *International Journal of Biological Macromolecules*, 113, 395–402. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.02.154>
- Dobry, D. E., Settell, D. M., Baumann, J. M., Ray, R. J., Graham, L. J., & Beyerinck, R. A. (2009). A Model-Based Methodology for Spray-Drying Process Development. *Journal of Pharmaceutical Innovation*, 4(3), 133–142. <https://doi.org/10.1007/s12247-009-9064-4>
- Eberhardt, T. L., Li, X., & Shupe, T. F. (2007). Chinese Tallow Tree (*Sapium sebiferum*) Utilization: Characterization of Extractives and Cell-Wall Chemistry. *Wood and Fiber Science*, 39, 319–324.
- El-Kady, T., Abd El-Rahman, M., A.O.Toliba, A. O. T., & Abo El-maty, S. (2017). Evaluation of Mango Seed kernel Extract as natural occurring phenolic rich

- antioxidant compound. *Bulletin of the National Nutrition Institute*, 48(1), 1–30. <https://doi.org/10.21608/bnni.2017.4239>
- El-Messery, T., El-Said, M., Salama, H. H., Mohammed, D., & Ros, G. (2020). Bioaccessibility of Encapsulated Mango Peel Phenolic Extract and its Application in Milk Beverage. *International Journal of Dairy Science*, 16(1), 29–40. <https://doi.org/10.3923/ijds.2021.29.40>
- Esfahani, A. R., Firouzi, A. F., Sayyad, Gh., Kiasat, A., Alidokht, L., & Khataee, A. R. (2014). Pb(II) removal from aqueous solution by polyacrylic acid stabilized zero-valent iron nanoparticles: Process optimization using response surface methodology. *Research on Chemical Intermediates*, 40(1), 431–445. <https://doi.org/10.1007/s11164-012-0975-1>
- Esquivel, B., Ochoa, L., & Rutiaga, O. (2015). Microencapsulación mediante secado por aspersión de compuestos bioactivos. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 16(2), 180–192.
- Ferreira, L. M. D. M. C., Pereira, R. R., Carvalho-Guimarães, F. B. D., Remígio, M. S. D. N., Barbosa, W. L. R., Ribeiro-Costa, R. M., & Silva-Júnior, J. O. C. (2022). Microencapsulation by Spray Drying and Antioxidant Activity of Phenolic Compounds from Tucuma Coproduct (*Astrocaryum vulgare* Mart.) Almonds. *Polymers*, 14(14), 2905. <https://doi.org/10.3390/polym14142905>
- Forero, F., & Pulido, A. P. (2016). Extracción, purificación y cuantificación de mangiferina en la corteza de algunos cultivares de mango (*Mangifera Indica* L.). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 10(2), 292–300. <https://doi.org/10.17584/rcch.2016v10i2.4652>
- Gelabert-Rebato, M., Wiebe, J. C., Martin-Rincon, M., Galvan-Alvarez, V., Curtelin, D., Perez-Valera, M., Habib, J. J., Pérez-López, A., Vega, T., Morales-Alamo, D., & Calbet, J. A. L. (2019). Enhancement of Exercise Performance by 48 Hours, and 15-Day Supplementation with Mangiferin and Luteolin in Men. *Nutrients*, 11(2), 344. <https://doi.org/10.3390/nu11020344>

- Grauzdytė, D., Pukalskas, A., El Kalamouni, C., & Venskutonis, P. R. (2020). Mangiferin Rich Products from *Aphloia theiformis* (Vahl) Benn Leaves: Extraction, Fractionation, Phytochemical Characterization, and Antioxidant Properties. *Molecules*, 25(9), 2081. <https://doi.org/10.3390/molecules25092081>
- Guevara. (2015). *Elaboración de pulpas, zumos, néctares, deshidratados, osmodeshidratados y fruta confitada* [Universidad Nacional Agraria La Molina.]. <http://www.lamolina.edu.pe/postgrado/pmdas/cursos/dpactl/lecturas/Separata%20Pulpas%20nèctares,%20merm%20desh,%20osmodes%20y%20fruta%20confitada.pdf>
- Guija, E., Inocente, M., Ponce, J., & Zarzosa, E. (2015). Evaluación de la técnica 2,2-Difenil-1-Picrilhidrazilo (DPPH) para determinar capacidad antioxidante. *Horizonte Médico (Lima)*, 15(1), 57–60.
- Gulcin, İ. (2020). Antioxidants and antioxidant methods: An updated overview. *Archives of Toxicology*, 94(3), 651–715. <https://doi.org/10.1007/s00204-020-02689-3>
- Hanna, A., Marshall, J. C. ., & Isenhour, T. L. (1979). A GC/FT-IR Compound Identification System. *Journal of Chromatographic Science*, 17(8), 434–440. <https://doi.org/10.1093/chromsci/17.8.434>
- Hernández-Carranza, P., Ávila-Sosa, R., Guerrero-Beltrán, J. A., Navarro-Cruz, A. R., Corona-Jiménez, E., & Ochoa-Velasco, C. E. (2016). Optimization of Antioxidant Compounds Extraction from Fruit By-Products: Apple Pomace, Orange and Banana Peel: Optimization of Bioactive Compounds from By-Product. *Journal of Food Processing and Preservation*, 40(1), 103–115. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12588>
- Huang, K., Yuan, Y., & Baojun, X. (2023). A Critical Review on the Microencapsulation of Bioactive Compounds and Their Application. *Food*

*Reviews International*, 39(5), 2594–2634.  
<https://doi.org/10.1080/87559129.2021.1963978>

Imran, M., Arshad, M. S., Butt, M. S., Kwon, J.-H., Arshad, M. U., & Sultan, M. T. (2017a). Mangiferin: A natural miracle bioactive compound against lifestyle related disorders. *Lipids in Health and Disease*, 16(1), 84. <https://doi.org/10.1186/s12944-017-0449-y>

Imran, M., Butt, M. S., Akhtar, S., Riaz, M., Iqbal, M. J., & Suleria, H. A. R. (2016b). Quantification of Mangiferin by High Pressure Liquid Chromatography; Physicochemical and Sensory Evaluation of Functional Mangiferin Drink: Mangiferin From Mango Peel. *Journal of Food Processing and Preservation*, 40(4), 760–769. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12657>

Instituto Nacional de Estadística y Censo. (2022). *Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua • ESPAC*. INEC. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/estadisticas-agropecuarias-2/>

Isique, J., & Mogrovejo, D. (2021). *Obtención y determinación de compuestos bioactivos (compuestos fenolicos, antocianinas y polifenoles) de papas nativas pigmentadas de la región Altoandina del Perú* [Bachelor Thesis, Universidad Católica de Santa María]. <https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/10537>

Jahurul, M. H. A., Zaidul, I. S. M., Ghafoor, K., Al-Juhaimi, F. Y., Nyam, K.-L., Norulaini, N. A. N., Sahena, F., & Mohd Omar, A. K. (2015). Mango (*Mangifera indica* L.) by-products and their valuable components: A review. *Food Chemistry*, 183, 173–180. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.03.046>

Jia, Z., Dumont, M.-J., & Orsat, V. (2016). Encapsulation of phenolic compounds present in plants using protein matrices. *Food Bioscience*, 15, 87–104. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2016.05.007>

Jovanović, A. A., Djordjević, V. B., Petrović, P. M., Pljevljakušić, D. S., Zdunić, G. M., Šavikin, K. P., & Bugarski, B. M. (2021). The influence of different



extraction conditions on polyphenol content, antioxidant and antimicrobial activities of wild thyme. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 25, 100328. <https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2021.100328>

Jyothi Sri, S., Seethadevi, A., Suria Prabha, K., Muthuprasanna, P., & Pavitra, P. (2012). Microencapsulation: A Review. *International Journal of Pharma and Bio Sciences*, 3(1), 509–531.

Kathiman, M. N., Abdul Mudalip, S. K., & Gimbin, J. (2020). Effect of encapsulation agents on antioxidant activity and moisture content of spray dried powder from Mahkota Dewa fruit extract. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 991(1), 012040. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/991/1/012040>

Kullu, J., Dutta, A., Constales, D., Chaudhuri, S., & Dutta, D. (2014). Experimental and modeling studies on microwave-assisted extraction of mangiferin from *Curcuma amada*. *3 Biotech*, 4(2), 107–120. <https://doi.org/10.1007/s13205-013-0125-5>

Kumar, N., Tripathi, N., Kumar, S., Kushwaha, M., Banerjee, C., & Dey, S. (2023). Mangiferin from *Enicostemma littorale* Blume with in silico and in vitro anti-inflammatory potential. *Journal of Biomolecular Structure and Dynamics*, 1–10. <https://doi.org/10.1080/07391102.2023.2253914>

Kurutas, E. B. (2015). The importance of antioxidants which play the role in cellular response against oxidative/nitrosative stress: Current state. *Nutrition Journal*, 15(1), 71. <https://doi.org/10.1186/s12937-016-0186-5>

Lakshminarayana, S., Subhadra, N. V., & Subramanyam, H. (1970). Some aspects of developmental physiology of the mango fruit. *Journal of Horticultural Science*, 45(2), 133–142. <https://doi.org/10.1080/00221589.1970.11514339>

Lebaka, V. R., Wee, Y.-J., Ye, W., & Korivi, M. (2021). Nutritional Composition and Bioactive Compounds in Three Different Parts of Mango Fruit. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(2), 741. <https://doi.org/10.3390/ijerph18020741>

- Ledet, G. A., Graves, R. A., Bostanian, L. A., & Mandal, T. K. (2015). Spray-Drying of Biopharmaceuticals. In D. Varshney & M. Singh (Eds.), *Lyophilized Biologics and Vaccines* (pp. 273–297). Springer New York. [https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2383-0\\_12](https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2383-0_12)
- Lerma-Torres, J. M., Navarro-Ocaña, A., Calderón-Santoyo, M., Hernández-Vázquez, L., Ruiz-Montañez, G., & Ragazzo-Sánchez, J. A. (2019). Preparative scale extraction of mangiferin and lupeol from mango (*Mangifera indica* L.) leaves and bark by different extraction methods. *Journal of Food Science and Technology*, *56*(10), 4625–4631. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03909-0>
- Li, D., Zhu, M., Liu, X., Wang, Y., & Cheng, J. (2020). Insight into the effect of microcapsule technology on the processing stability of mulberry polyphenols. *LWT*, *126*, 109144. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109144>
- Lim, K. J. A., Cabajar, A. A., Lobarbio, C. F. Y., Taboada, E. B., & Lacks, D. J. (2019a). Extraction of bioactive compounds from mango (*Mangifera indica* L. var. Carabao) seed kernel with ethanol–water binary solvent systems. *Journal of Food Science and Technology*, *56*(5), 2536–2544. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03732-7>
- Lim, K. J. A., Cabajar, A. A., Migallos, M. K. V., Lobarbio, C. F. Y., & Taboada, E. B. (2019b). Microencapsulation of Phenolic Compounds from Waste Mango Seed Kernel Extract by Spray Drying Technology. *Nature Environment and Pollution Technology*, *18*(3), 765–775.
- López, O., & Peñaloza, A. (2022). *Obtención y microencapsulación de un extracto rico en compuestos fenólicos con capacidad antioxidante de guayusa (Ilex guayusa)* [Bachelor Thesis, Universidad Técnica de Ambato]. <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/36571>
- Lourenço, S. C., Moldão-Martins, M., & Alves, V. D. (2019). Antioxidants of Natural Plant Origins: From Sources to Food Industry Applications. *Molecules*, *24*(22), 4132. <https://doi.org/10.3390/molecules24224132>

- Lü, J., Lin, P. H., Yao, Q., & Chen, C. (2010). Chemical and molecular mechanisms of antioxidants: Experimental approaches and model systems. *Journal of Cellular and Molecular Medicine*, *14*(4), 840–860. <https://doi.org/10.1111/j.1582-4934.2009.00897.x>
- Mahdavi, S. A., Jafari, S. M., Ghorbani, M., & Assadpoor, E. (2014). Spray-Drying Microencapsulation of Anthocyanins by Natural Biopolymers: A Review. *Drying Technology*, *32*(5), 509–518. <https://doi.org/10.1080/07373937.2013.839562>
- Martinez Chiguachi, J. A., Fajardo, A. G., Esquivel, J. S., González, D. M., Prieto, Á. G., & Rincón, D. (2020). Manejo integrado del cultivo de mango *Mangifera indica* L. *Ciencias agropecuarias*, *6*(1), 51–78. <https://doi.org/10.36436/24223484.267>
- Martínez-Olivo, A. O., Zamora-Gasga, V. M., Medina-Torres, L., Pérez-Larios, A., & Sánchez-Burgos, J. A. (2023). Formulation of double emulsions of mango seed extract (*Mangifera indica* L.) ‘Ataulfo’ incorporated into a mango by-product flour drink: Release kinetics, antioxidant capacity, and inhibition of cyclooxygenases. *Food Hydrocolloids for Health*, *3*, 100120. <https://doi.org/10.1016/j.fhfh.2023.100120>
- Masibo, M., & He, Q. (2009). Mango Bioactive Compounds and Related Nutraceutical Properties—A Review. *Food Reviews International*, *25*(4), 346–370. <https://doi.org/10.1080/87559120903153524>
- Mehta, N., Kumar, P., Verma, A. K., Umaraw, P., Kumar, Y., Malav, O. P., Sazili, A. Q., Domínguez, R., & Lorenzo, J. M. (2022). Microencapsulation as a Noble Technique for the Application of Bioactive Compounds in the Food Industry: A Comprehensive Review. *Applied Sciences*, *12*(3), 1424. <https://doi.org/10.3390/app12031424>
- Mistry, J., Biswas, M., Sarkar, S., & Ghosh, S. (2023). Antidiabetic activity of mango peel extract and mangiferin in alloxan-induced diabetic rats. *Future Journal of*

*Pharmaceutical Sciences*, 9(1), 22. <https://doi.org/10.1186/s43094-023-00472-6>

Neha, K., Haider, M. R., Pathak, A., & Yar, M. S. (2019). Medicinal prospects of antioxidants: A review. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 178, 687–704. <https://doi.org/10.1016/j.ejmech.2019.06.010>

Ngo, T. V., Scarlett, C. J., Bowyer, M. C., & Vuong, Q. V. (2019). Isolation and Maximisation of Extraction of Mangiferin from the Root of *Salacia chinensis* L. *Separations*, 6(3), 44. <https://doi.org/10.3390/separations6030044>

Ouhaddouch, H., Cheikh, A., Idrissi, M. O. B., Draoui, M., & Bouatia, M. (2019). FT-IR Spectroscopy Applied for Identification of a Mineral Drug Substance in Drug Products: Application to Bentonite. *Journal of Spectroscopy*, 2019, 1–6. <https://doi.org/10.1155/2019/2960845>

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, 494–506. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.07.205>

Pal, C. B. T., & Jadeja, G. C. (2022). Optimization and kinetics of polyphenol recovery from raw mango (*Mangifera indica* L.) peel using a glycerol-sodium acetate deep eutectic solvent system. *Biomass Conversion and Biorefinery*. <https://doi.org/10.1007/s13399-022-02550-w>

Par, M. (2019). Aplicación de los métodos de conservación de alimentos. *Revista de Ciencia e Ingeniería*, 1, 10–20.

Prenzler, P. D., Ryan, D., & Robards, K. (2021). Chapter 1. Introduction to Basic Principles of Antioxidant Activity. In P. D. Prenzler, D. Ryan, & K. Robards (Eds.), *Handbook of Antioxidant Methodology: Approaches to Activity Determination* (pp. 1–62). Royal Society of Chemistry. <http://ebook.rsc.org/?DOI=10.1039/9781839165337-00001>

- Quiñónez, L., Quiñónez, B., Custode, J., & Rodríguez, J. (2021). Diversificación geográfica de las exportaciones de mango ecuatoriano. *Revista de Ciencias Sociales, XXVII(3)*, 432–442. <https://doi.org/10.31876/rsc.v27i.36529>
- Rawdkuen, S., Sai-Ut, S., & Benjakul, S. (2016). Optimizing the Tyrosinase Inhibitory and Antioxidant Activity of Mango Seed Kernels with a Response Surface Methodology. *Food Analytical Methods, 9(11)*, 3032–3043. <https://doi.org/10.1007/s12161-016-0494-6>
- Ribeiro, S. M. R., & Schieber, A. (2010). Bioactive Compounds in Mango (*Mangifera indica* L.). In *Bioactive Foods in Promoting Health* (pp. 507–523). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374628-3.00034-7>
- Ruiz-Montañez, G., Ragazzo-Sánchez, J. A., Calderón-Santoyo, M., Velázquez-de La Cruz, G., Ramírez De León, J. A., & Navarro-Ocaña, A. (2014). Evaluation of extraction methods for preparative scale obtention of mangiferin and lupeol from mango peels (*Mangifera indica* L.). *Food Chemistry, 159*, 267–272. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.03.009>
- Safdar, M. N., Kausar, T., & Nadeem, M. (2017). Comparison of Ultrasound and Maceration Techniques for the Extraction of Polyphenols from the Mango Peel: The Potential of Ultrasound Against Maceration. *Journal of Food Processing and Preservation, 41(4)*, e13028. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13028>
- Salama, A. H. (2020). Spray drying as an advantageous strategy for enhancing pharmaceuticals bioavailability. *Drug Delivery and Translational Research, 10(1)*, 1–12. <https://doi.org/10.1007/s13346-019-00648-9>
- Samborska, K., Boostani, S., Geranpour, M., Hosseini, H., Dima, C., Khoshnoudi-Nia, S., Rostamabadi, H., Falsafi, S. R., Shaddel, R., Akbari-Alavijeh, S., & Jafari, S. M. (2021). Green biopolymers from by-products as wall materials for spray drying microencapsulation of phytochemicals. *Trends in Food Science & Technology, 108*, 297–325. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.01.008>

- Sánchez-Mesa, N., Sepúlveda-Valencia, J. U., Ciro-Velásquez, H. J., Meireles, M. A., & Universidad Nacional de Colombia. (2019). Bioactive compounds from mango peel (*Mangifera indica* L. Var. Tommy Atkins) obtained by supercritical fluids and pressurized liquids extraction. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 19(2), 755–767. <https://doi.org/10.24275/rmiq/Alim657>
- Santos, D., Maurício, A. C., Sencadas, V., Santos, J. D., Fernandes, M. H., & Gomes, P. S. (2018). Spray Drying: An Overview. In R. Pignatello & T. Musumeci (Eds.), *Biomaterials—Physics and Chemistry—New Edition*. InTech. <https://doi.org/10.5772/intechopen.72247>
- Shah, K., Patel, M., Patel, R., & Parmar, P. (2010). *Mangifera Indica* (Mango). *Pharmacognosy Reviews*, 4(7), 42. <https://doi.org/10.4103/0973-7847.65325>
- Shahidi, F., & Han, X. (1993). Encapsulation of food ingredients. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 33(6), 501–547. <https://doi.org/10.1080/10408399309527645>
- Shi, J., Lv, H., Tang, C., Li, Y., Huang, J., & Zhang, H. (2021). Mangiferin inhibits cell migration and angiogenesis via PI3K/AKT/mTOR signaling in high glucose- and hypoxia-induced RRCECs. *Molecular Medicine Reports*, 23(6), 473. <https://doi.org/10.3892/mmr.2021.12112>
- Siacor, F. D. C., Lim, K. J. A., Cabajar, A. A., Lobarbio, C. F. Y., Lacks, D. J., & Taboada, E. B. (2020). Physicochemical properties of spray-dried mango phenolic compounds extracts. *Journal of Agriculture and Food Research*, 2, 100048. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2020.100048>
- Siacor, F., Lobarbio, C., & Taboada, E. (2020). Optimizing the Extraction of Phenolic Compounds with High Antioxidant Activity from Mango Seed Kernel Wastes Using Response Surface Methodology. *Applied Environmental Research*, 60–76. <https://doi.org/10.35762/AER.2020.42.3.6>
- Sies, H., Belousov, V. V., Chandel, N. S., Davies, M. J., Jones, D. P., Mann, G. E., Murphy, M. P., Yamamoto, M., & Winterbourn, C. (2022). Defining roles of specific reactive oxygen species (ROS) in cell biology and physiology. *Nature*

*Reviews Molecular Cell Biology*, 23(7), 499–515.  
<https://doi.org/10.1038/s41580-022-00456-z>

Soquetta, M. B., Terra, L. D. M., & Bastos, C. P. (2018). Green technologies for the extraction of bioactive compounds in fruits and vegetables. *CyTA - Journal of Food*, 16(1), 400–412. <https://doi.org/10.1080/19476337.2017.1411978>

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

Sultana, B., Anwar, F., & Ashraf, M. (2009). Effect of Extraction Solvent/Technique on the Antioxidant Activity of Selected Medicinal Plant Extracts. *Molecules*, 14(6), 2167–2180. <https://doi.org/10.3390/molecules14062167>

Swaroop, A., Bagchi, Manashi, Moriyama, Hiroyoshi, & Bagchi, Debasis. (2018). Health Benefits of Mango (*Mangifera indica* L) and Mangiferin. *Japan Journal of Medicine*, 1(2), 149–154. <https://doi.org/10.31488/jjm.1000109>

Telang, M., Dhulap, S., Mandhare, A., & Hirwani, R. (2013). Therapeutic and cosmetic applications of mangiferin: A patent review. *Expert Opinion on Therapeutic Patents*, 23(12), 1561–1580. <https://doi.org/10.1517/13543776.2013.836182>

Tirzitis, G., & Bartosz, G. (2010). Determination of antiradical and antioxidant activity: Basic principles and new insights. *Acta Biochimica Polonica*, 57(2). [https://doi.org/10.18388/abp.2010\\_2386](https://doi.org/10.18388/abp.2010_2386)

Turkmen, N., Sari, F., & Velioglu, Y. S. (2006). Effects of extraction solvents on concentration and antioxidant activity of black and black mate tea polyphenols determined by ferrous tartrate and Folin–Ciocalteu methods. *Food Chemistry*, 99(4), 835–841. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.08.034>

Vaclavik, V. A., Christian, E. W., & Campbell, T. (2021). Food Preservation. In V. A. Vaclavik, E. W. Christian, & T. Campbell, *Essentials of Food Science* (pp.

327–346). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-46814-9\\_16](https://doi.org/10.1007/978-3-030-46814-9_16)

- Valavanidis, A., Vlachogianni, T., Fiotakis, K., & Loridas, S. (2013). Pulmonary Oxidative Stress, Inflammation and Cancer: Respirable Particulate Matter, Fibrous Dusts and Ozone as Major Causes of Lung Carcinogenesis through Reactive Oxygen Species Mechanisms. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *10*(9), 3886–3907. <https://doi.org/10.3390/ijerph10093886>
- Valková, V., Ďúranová, H., Falcimaigne-Cordin, A., Rossi, C., Nadaud, F., Nesterenko, A., Moncada, M., Orel, M., Ivanišová, E., Chlebová, Z., Gabríny, L., & Kačániová, M. (2022). Impact of Freeze- and Spray-Drying Microencapsulation Techniques on  $\beta$ -Glucan Powder Biological Activity: A Comparative Study. *Foods*, *11*(15), 2267. <https://doi.org/10.3390/foods11152267>
- Velderrain-Rodríguez, G. R., Acevedo-Fani, A., González-Aguilar, G. A., & Martín-Belloso, O. (2019). Encapsulation and stability of a phenolic-rich extract from mango peel within water-in-oil-in-water emulsions. *Journal of Functional Foods*, *56*, 65–73. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2019.02.045>
- Vural, N., Algan Cavuldak, Ö., Akay, M. A., & Anlı, R. E. (2020). Determination of the various extraction solvent effects on polyphenolic profile and antioxidant activities of selected tea samples by chemometric approach. *Journal of Food Measurement and Characterization*, *14*(3), 1286–1305. <https://doi.org/10.1007/s11694-020-00376-6>
- Wall-Medrano, A., Olivas-Aguirre, F. J., Ayala-Zavala, J. F., Domínguez-Avila, J. A., Gonzalez-Aguilar, G. A., Herrera-Cazares, L. A., & Gaytan-Martinez, M. (2020). Health Benefits of Mango By-products. In R. Campos-Vega, B. D. Oomah, & H. A. Vergara-Castañeda (Eds.), *Food Wastes and By-products* (1st ed., pp. 159–191). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119534167.ch6>



- Yadav, D., & Singh, S. (2017). Mango: History origin and distribution. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 6(6), 1257–1262.
- Yadav, D., Yadav, K. S., & Singh, S. (2018). *Mango: Taxonomy and botany*. 7(2), 3253–3258.
- Zargar, B., Majeed, D., Ganai, S. A., Mir, S. A., & Dar, B. N. (2018). Effect of different processing parameters on antioxidant activity of tea. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 12(1), 527–534. <https://doi.org/10.1007/s11694-017-9664-5>
- Zeb, A. (2020). Concept, mechanism, and applications of phenolic antioxidants in foods. *Journal of Food Biochemistry*, 44(9). <https://doi.org/10.1111/jfbc.13394>

## 5.2. Anexos

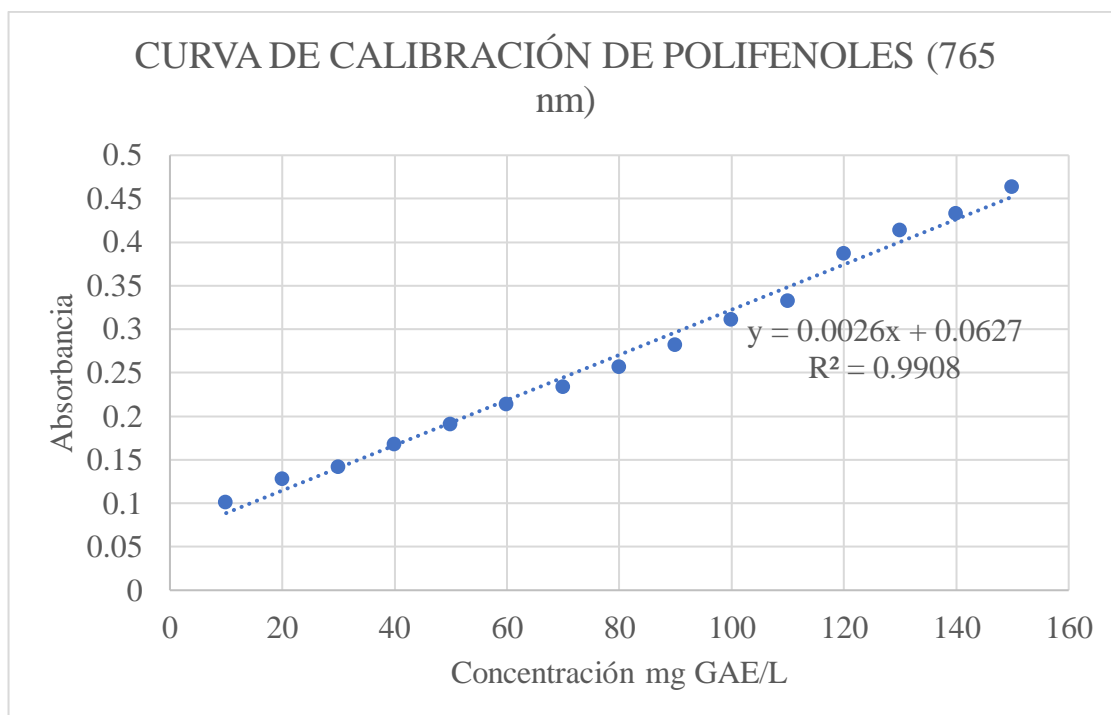
### Anexo 1.

*Porcentaje de sólidos totales de los tratamientos de extracción.*

Tratamiento	% Humedad	% Sólidos Totales
C1T1	92,42689785	7,573102153
C1T2	96,37049779	3,629502206
C1T3	95,63698691	4,363013095
C2T1	96,91865743	3,081342566
C2T2	95,58392997	4,416070026
C2T3	96,42451901	3,575480991
C3T1	96,46329861	3,536701386
C3T2	96,98129558	3,018704416
C3T3	96,28118857	3,718811427

### Anexo 2.

*Curva estándar de ácido gálico.*



### Anexo 3.

#### Análisis de Varianza para Concentración de Polifenoles

Fuente	Suma de Cuadrados	G l	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Concentración de EtOH	29983,5	1	29983,5	260,28	0,0000
B: Tiempo de Extracción	1230,12	1	1230,12	10,68	0,0017
AA	561,727	1	561,727	4,88	0,0307
AB	2553,48	1	2553,48	22,17	0,0000
BB	702,205	1	702,205	6,10	0,0161
Bloques	81,2084	8	10,1511	0,09	0,9994
Error total	7718,13	6	115,196	-	-
		7			
Total (corr.)	42106,8	8	-	-	-
		0			

R-cuadrada = 81,6701 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 78,1136 por ciento

Error estándar del est. = 10,7329

Error absoluto medio = 8,22577

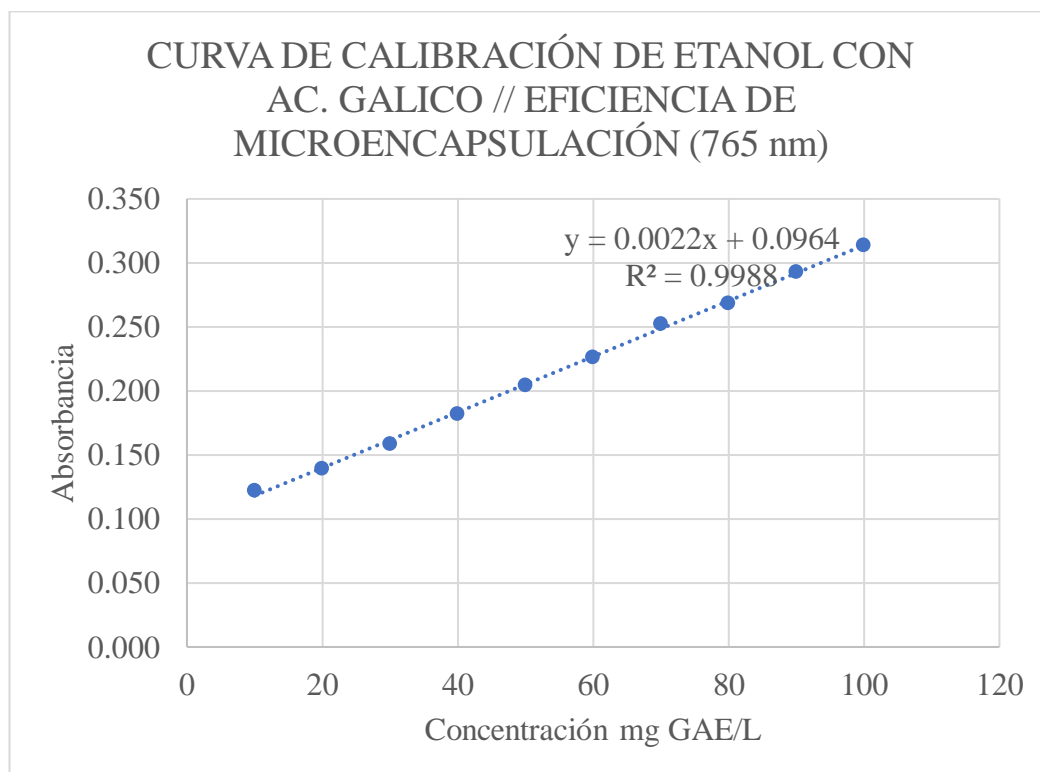
Estadístico Durbin-Watson = 3,47497 (P=1,0000)

Autocorrelación residual de Lag 1 = -0,745839

**Nota:** Información extraída de la versión prueba del software Statgraphics.

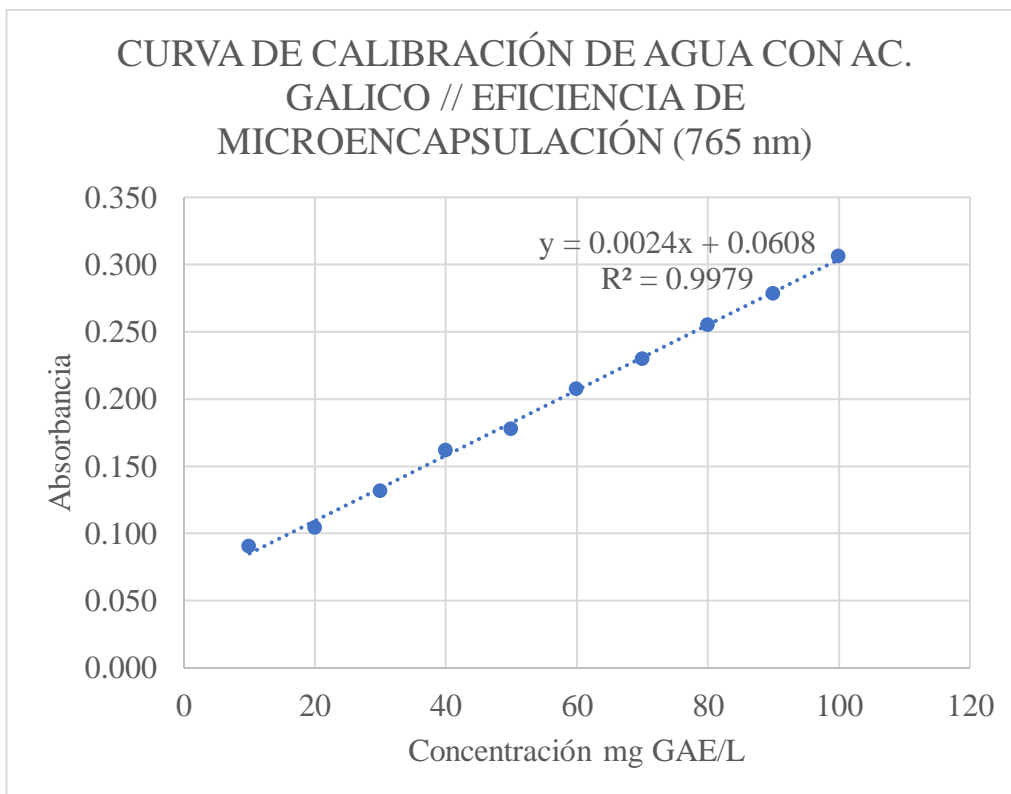
#### **Anexo 4.**

*Curva estándar de ácido gálico con etanol.*



#### **Anexo 5.**

*Curva estándar de ácido gálico con agua.*



#### Anexo 6.

*Curva estándar de solución tampón Trolox.*

