UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERÍA EN ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGÍA

CARRERA DE BIOTECNOLOGÍA

Evaluación de la capacidad antioxidante y antiinflamatoria de polifenoles microencapsulados procedentes de los residuos de tamarindo (*Tamarindus indica*)

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

Autor: Damaris Katiusca Mendoza García

Tutor: Dr. Orestes Darío López Hernández

Ambato - Ecuador

Agosto - 2024

APROBACIÓN DEL TUTOR

Dr. Orestes Darío López Hernández

CERTIFICA:

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

Ambato, 28 de junio de 2024

Firmado electrónicamente por:
ORESTES DARIO LOPEZ HERNANDEZ

Dr. Orestes Darío López Hernández

1754784864

TUTOR

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Damaris Katiusca Mendoza García, 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 Ingeniera Biotecnóloga son absolutamente originales, auténticos y personales; a excepción de las citas bibliográficas.



Damaris Katiusca Mendoza García

1400975247

AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

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

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



Damaris Katiusca Mendoza García

1400975247

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 Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología de la Universidad Técnica de Ambato.

Para constancia firman:

Firmado electrónicamente por:
CRISTIAN FERNANDO GALARZA GALARZA

Presidente del Tribunal

Firmado electrónicamente por:
SANTIAGO CASADO ROJO

Dr. Santiago Casado Rojo

1759126954

Firmado electrónicamente por:
LANDER VINICIO PEREZ ALDAS

Mg. Lander Vinicio Perez Aldaz

1802706596

Ambato, 02 de Agosto de 2024

DEDICATORIA

A Dios, por ser mi fortaleza y
guía a lo largo de este camino.

En especial a mis padres, Augusto y Mirian,
por todo su amor y apoyo incondicional.

A mis hermanas, Silvana, Karol, Belén y
Tayri, por ser mis compañeras de vida.

A mis angelitos de cuatro patas,
que me han brindado paz.
Los llevo siempre en el corazón

Con amor,
Damaris

AGRADECIMIENTO

Culminar esta etapa tan importante de mi vida no habría sido posible sin el apoyo de muchas personas a quienes quiero expresar mi más profundo agradecimiento.

A mis padres, quienes me han poyado incondicionalmente. Gracias por sus sacrificios incalculables. Gracias por creer en mi incluso cuando yo dudaba, por ser mi mayor fuente de inspiración y fortaleza. Todo lo que soy se los debo a ustedes. Los amo con todo mi corazón.

A mis queridas hermanas, Silvana y Karol, mis hermanas mayores, gracias por ser un ejemplo de fortaleza y perseverancia. Admiro su valentía y dedicación. Mis pequeñas, Belén y Tayri, ustedes han llenado mi vida de alegría. Sus risas y abrazos han sido mi refugio en los momentos difíciles. Las amo infinitamente.

A mi tutor, Dr. Orestes López, por su invaluable guía, paciencia y apoyo constante. Su experiencia y conocimiento fueron fundamentales para el desarrollo de este trabajo.

A la Universidad Técnica de Ambato, en especial a la Faculta de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología, por abrirme sus puertas y ser mi segundo hogar durante estos años. Por brindarme la oportunidad de conocer personas excepcionales que hoy forman parte muy importante de mi vida.

Y finalmente, pero no menos importante, quiero agradecer a las personas que hicieron de esta etapa universitaria algo verdaderamente memorable, que estuvieron conmigo en los momentos más difíciles, pero también llenaron mi vida de risas y recuerdos que atesoraré por siempre. A Choss, Bibi, Fer y Antho les agradezco infinitamente por su amistad, por ser esos rayitos de luz que iluminaban mis días, por compartir conmigo su tiempo y enseñarme maneras diferentes de ver la vida. Me encuentro profundamente agradecida con Dios y la vida por haberme permitido conocerlos. Gracias por siempre estar.

¡Muchas gracias a todos!

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL TUTOR ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN iii
DERECHOS DE AUTOR iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO v
DEDICATORIA vi
AGRADECIMIENTO vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS viii
ÍNDICE DE TABLAS xi
ÍNDICE DE FIGURAS xii
ÍNDICE DE ANEXOS xiii
RESUMEN EJECUTIVO xiv
ABSTRACT xv
CAPÍTULO I.- MARCO TEÓRICO 1
1.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS 1
1.1.1. Justificación 1
1.1.2. Tamarindo (*Tamarindus indica*) 2
1.1.2.1. Generalidades 2
1.1.2.2. Origen y distribución 2
1.1.2.3. Requerimientos agroecológicos 2
1.1.2.4. Descripción morfológica 3
1.1.2.5. Taxonomía 4
1.1.2.6. Composición 4
1.1.2.7. Usos 6
1.1.3. Residuos 7
1.1.3.1. Residuos agroindustriales de *T. indica* 7
1.1.4. Antioxidantes 8
1.1.4.1. Estrés oxidativo 8
1.1.4.2. Actividad antioxidante 8
1.1.5. Antiinflamatorios 9

1.1.5.1. Respuesta inflamatoria 9
1.1.5.2. Actividad antiinflamatoria 9
1.1.6. Polifenoles 10
1.1.6.1. Generalidades 10
1.1.6.2. Capacidad antioxidante de polifenoles 11
1.1.6.3. Capacidad antiinflamatoria de polifenoles 11
1.1.7. Microencapsulación 11
1.1.7.1. Generalidades 11
1.1.7.2. Microencapsulación de secado por aspersión 12
1.1.7.3. Microencapsulación de compuestos polifenólicos 13
1.2. OBJETIVOS 13
1.2.1. Objetivo general 13
1.2.2. Objetivos específicos 13
1.3. HIPÓTESIS 14
1.3.1. Hipótesis nula 14
1.3.2. Hipótesis alternativa 14
1.4. VARIABLES 14
1.4.1. Variables independientes 14
1.4.2. Variables dependientes 14
CAPÍTULO II.- METODOLOGÍA 15
2.1. MATERIALES 15
2.1.1. Reactivos 15
2.1.2. Material fungible 16
2.1.3. Equipos 16
2.2. MÉTODOS 17
2.2.1. Obtención y desinfección de la materia prima 17
2.2.2. Secado y pulverizado de los residuos de tamarindo 17
2.2.3. Obtención del extracto vegetal 17
2.2.4. Cálculo de sólidos totales (SST) del extracto 18
2.2.5. Determinación de los polifenoles totales (TPC) 18

2.2.6. Microencapsulación del extracto mediante secado por aspersión 19
2.2.7. Análisis cualitativo de la eficiencia de la microencapsulación 19
2.2.8. Determinación cuantitativa de la eficiencia de la microencapsulación 19
2.2.9. Método de DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazil) 20
2.2.10. Desnaturalización de albúmina de huevo 20
2.2.11. Desnaturalización de albúmina de suero bovino (BSA) 21
2.2.12. Análisis estadístico de datos 22
CAPÍTULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN 23
3.1. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS 23
3.1.1. Determinación cuantitativa de polifenoles 23
3.1.2. Microencapsulación 28
3.1.3. Evaluación de la capacidad antioxidante 34
3.1.4. Evaluación de la capacidad antiinflamatoria 36
3.2. VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS 39
CAPÍTULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 40
4.1. CONCLUSIONES 40
4.2. RECOMENDACIONES 41
MATERIALES DE REFERENCIA 42
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 42
ANEXOS 55

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación taxonómica del tamarindo. 4
Tabla 2. Composición mineral de la semilla y la pulpa de tamarindo. 5
Tabla 3. Composición química de la semilla y la pulpa de tamarindo. 5
Tabla 4. Variables independientes en el proceso de extracción. 14
Tabla 5. Listado de reactivos de laboratorio para el proyecto de investigación. 15
Tabla 6. Listado de material fungible para el proyecto de investigación. 16
Tabla 7. Listado de equipos de laboratorio para el proyecto de investigación. 16
Tabla 8. Tratamientos de extracción. 18
Tabla 9. Contenido polifenólico de cada tratamiento de extracción. 23
Tabla 10. Optimización de respuesta para la concentración de polifenoles. 26
Tabla 11. Concentración de polifenoles totales para el tratamiento óptimo. 27
Tabla 12. Eficiencia de la microencapsulación. 33
Tabla 13. Resultados obtenidos en la evaluación de la capacidad antioxidante *in vitro*. 35
Tabla 14. Actividad antiinflamatoria empleando albúmina de huevo. 36
Tabla 15. Actividad antiinflamatoria utilizando albúmina de suero bovino (BSA). 37

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Morfología botánica de *Tamarindus indica*. 3
Figura 2. Principales componentes bioactivos identificados en los subproductos *T. indica* (cáscara y semilla)..... 6
Figura 3. Diagrama de Pareto estandarizada de las variables de análisis. 24
Figura 4. Gráfica de superficie de respuesta estimada. 26
Figura 5. Espectroscopía infrarroja del extracto concentrado con polifenoles de los residuos de..... 29
Figura 6. Espectroscopía infrarroja del microencapsulado con polifenoles de los residuos de *T. indica*. 30
Figura 7. Espectroscopía infrarroja de la matriz polimérica (maltodextrina). 31
Figura 8. Espectroscopía infrarroja de la comparación del extracto concentrado con polifenoles de los residuos de *T. indica*, el microencapsulado y la matriz polimérica (maltodextrina) 32

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Porcentaje de sólidos totales en cada uno de los extractos..... 55
Anexo 2. Compuestos polifenólicos totales de cada tratamiento de extracción. 56
Anexo 3. Curva estándar de ácido gálico para la cuantificación de polifenoles. 57
Anexo 4. Análisis de Varianza para Concentración de Polifenoles. 57
Anexo 5. Curva estándar de ácido gálico con etanol para establecer la eficiencia de la microencapsulación..... 58
Anexo 6. Curva estándar de ácido gálico con agua para establecer la eficiencia de la microencapsulación..... 58
Anexo 7. Curva estándar de Trolox para evaluar la capacidad antioxidante. 59
Anexo 8. Proceso de microencapsulación del extracto concentrado de *T. indica.* 59

RESUMEN EJECUTIVO

Tamarindus indica es una fruta ampliamente utilizada en la elaboración de diversos productos comerciales generando una gran cantidad de residuos agroindustriales por año. Las semillas del tamarindo representan una fuente de obtención de compuestos bioactivos de interés como los polifenoles. El presente estudio busca aprovechar estos desechos mediante la determinación de las condiciones óptimas de extracción y la microencapsulación de los polifenoles para evaluar su capacidad antioxidante y antinflamatoria. Se estudió la influencia del tiempo de extracción y la concentración del disolvente en la obtención de polifenoles. Las mejores condiciones de extracción fueron a una concentración del disolvente de 53 por ciento durante un tiempo de 80 minutos, proporcionando un contenido de polifenoles de 516,521 mg GAE por gramo de material vegetal. La microencapsulación de secado por aspersión utilizando maltodextrina como agente encapsulante evidenció un porcentaje de eficiencia del 87.066 por ciento. La eficiencia de la microencapsulación también fue evaluada por medio de espectroscopia infrarroja (FT-IR). Se aplicó el método de DPPH para establecer el potencial antioxidante del extracto y el microencapsulado, alcanzando valores de 80,085 por ciento y 48,916 por ciento, respectivamente. Finalmente, la actividad antiinflamatoria se determinó a través del porcentaje de inhibición de la desnaturalización de albumina de huevo y de suero bovino (BSA), obteniendo porcentajes de inhibición en cada una de las concentraciones estudiadas. Los resultados obtenidos en esta investigación evidencian el potencial de los residuos de tamarindo con actividades biológicas y su posible aplicación en diferentes industrias.

Palabras clave: Tamarindo, residuos agroindustriales, polifenoles, microencapsulación, actividad antioxidante, actividad antiinflamatoria.

ABSTRACT

Tamarindus indica is a fruit widely used in the production of various commercial products, generating a large amount of agroindustrial waste per year. Tamarind seeds represent a source for obtaining bioactive compounds of interest such as polyphenols. The present study seeks to take advantage of these wastes by determining the optimal conditions for extraction and microencapsulation of polyphenols to evaluate their antioxidant and anti-inflammatory capacity. The influence of extraction time and solvent concentration on obtaining polyphenols was studied. The best extraction conditions were at a solvent concentration of 53 percent for a time of 80 minutes, providing a polyphenol content of 516.521 mg GAE per gram of plant material. Spray-drying microencapsulation using maltodextrin as the encapsulating agent evidenced a percentage efficiency of 87.066. The efficiency of microencapsulation was also evaluated by means of infrared spectroscopy (FT-IR). The DPPH method was applied to establish the antioxidant potential of the extract and microencapsulation, reaching values of 80.085 percent and 48.916 percent, respectively. Finally, the anti-inflammatory activity was determined through the percentage of inhibition of the denaturation of egg albumin and bovine serum albumin (BSA), obtaining inhibition percentages in each of the concentrations studied. The results obtained in this research show the potential of tamarind residuals with biological activities and their possible application in different industries.

Key words: Spray-drying, extraction, tamarind, phenolic compounds, antioxidant activity, anti-inflammatory activity, maltodextrin.

CAPÍTULO I.- MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes investigativos

1.1.1. Justificación

Los residuos o subproductos agroindustriales provenientes de alimentos representan una gran cantidad de las emisiones de gases de efecto invernadero a nivel mundial **(Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura [FAO], 2022).** El procesamiento de frutas como el tamarindo (*Tamarindus indica*) genera alrededor del 50 al 70 % de residuos que incluyen partes como cáscaras, fibras y semillas **(Mota *et al.*, 2020).** En la mayoría de los casos, estos no son desechados de forma adecuada, lo que contribuye a la contaminación del medioambiente y representa una pérdida en cuanto a su potencial y compuestos bioactivos de interés **(Kandemir *et al.*, 2022).** *T. indica* es considerada una planta multipropósito con propiedades farmacológicas y actividades antioxidantes y antinflamatorias, además de componentes nutricionales como proteínas, minerales y compuestos polifenólicos **(Cvetanovic *et al.*, 2020; Thamaraiselvi *et al.*, 2013).**

La actividad antioxidante representa un amplio campo de interés en la comunidad científica debido a que neutraliza los radicales libres en la célula evitando que se genere un daño **(Abuajah *et al.* 2015).** De esta manera, ayuda a combatir el avance de enfermedades cardiovasculares, cardiacas, neurodegenerativas, cancerígenas y la inflamación, pues potencia el sistema inmunológico **(Zehiroglu & Ozturk, 2019).** En la investigación de **Sajid *et al.*, (2019)** se destaca el perfil polifenólico que poseen las semillas de *T. indica* evidenciando un valor nutricional y nutracéutico a un costo reducido. La conservación de estos componentes bioactivos se puede lograr mediante la microencapsulación que es una técnica que ha ganado relevancia en la última década, debido a que ayuda a capturar los compuestos sólidos protegiéndolos de factores como el oxígeno, luz y humedad que pueden degradarlos **(Kulandasamy *et al.*, 2023).** Por tal motivo, el aprovechamiento de estos residuos es fundamental para la transición hacia sistemas agroalimentarios sostenibles que contribuyan con el uso eficiente de los recursos reduciendo su impacto en el planeta **(FAO, 2022).**

Por lo tanto, considerando lo expuesto anteriormente, el presente estudio busca dar solución a la problemática planteada por medio del aprovechamiento de los compuestos bioactivos que poseen los residuos de *T. indica* mediante la microencapsulación y el análisis de su capacidad antioxidante y antinflamatoria con la finalidad de establecer posibles aplicaciones en diferentes ámbitos industriales.

1.1.2. Tamarindo (*Tamarindus indica*)

1.1.2.1. Generalidades

T. indica es una especie leguminosa perteneciente a la familia Fabaceae, subfamilia Caesalpinioideae, su fruta posee una pulpa de color marrón con sabor característico agridulce **(Rodrigues et al., 2018)**. El nombre tamarindo proviene del vocablo árabe que significa "dátil de la India", su árbol brinda una sombra extensa y generalmente se planta en parques abiertos y como árbol de camino en zonas tropicales. Aunque, todas las partes de la planta como la madera, raíces, hojas, corteza y sus frutos son utilizados para el comercio, especialmente para la subsistencia de poblaciones rurales **(Abdalbasit, 2019).**

1.1.2.2. Origen y distribución

La planta de tamarindo es autóctona de África tropical, fue conocida en Asia por los comerciantes árabes debido a su sabor. Más tarde el tamarindo llegó al nuevo mundo desde África Occidental. Sin embargo, se ha extendido por todo el mundo debido a su fácil adaptabilidad y su rápida polinización de semillas, encontrándola así, en el sur de Asia, el norte de Australia y Oceanía. Actualmente se produce comercialmente en diferentes estados de México. Asimismo, el tamarindo crece en todas las islas del Caribe como Jamaica y Cuba. Existen plantaciones comerciales Brasil y en naciones latinoamericanas como Perú, Venezuela, Ecuador, entre otros **(Abdalbasit, 2019).**

1.1.2.3. Requerimientos agroecológicos

Los árboles de tamarindo se adaptan a condiciones tropicales semiáridas, aunque se desarrollan también en zonas tropicales húmedas con elevadas precipitaciones estacionales. Los árboles jóvenes pueden ser afectados por las heladas, pero los árboles maduros resistirán breves periodos de -2 °C sin sufrir daños graves. Se desarrolla en diferentes tipos de suelos y tolera temperaturas de hasta 47 °C. El clima seco es importante durante la etapa de maduración de los frutos **(Rodrigues et al., 2018).**

1.1.2.4. Descripción morfológica

Es un árbol de hojas perennes y una copa extendida que puede llegar a medir hasta 24 m de altura (Figura 1A). El tallo está compuesto por una corteza rugosa de color gris (Figura 1B). Sus hojas están distribuidas de forma alterna, con foliolos opuestos y pelos finos en el peciolo y el raquis (Figura 1C). El racimo de la inflorescencia es pequeño, de 5 a 10 cm de largo, es de color verde claro o naranja amarillento (Figura 1D) **(Pal & Mukherjee, 2020).** El fruto es una vaina subcilíndrica aterciopelada de forma irregular que contiene en su interior de 3 a 10 semillas duras y brillantes (Figura 1E) **(Komakech et al., 2019).** En su interior se encuentra la pulpa de color marrón oscuro (Figura 1F). Su estructura se divide en cuatro partes: la cáscara, de color marrón que posee grietas horizontales y verticales; fibras leñosas que se fijan a la pulpa; la pulpa de color marrón, dulce o ácida; y las semillas, ubicadas en el interior de forma ovalada y larga que miden entre 1,6 cm de largo y 0,6 cm de ancho aproximadamente (Figura 1G) **(Azad, 2018).**

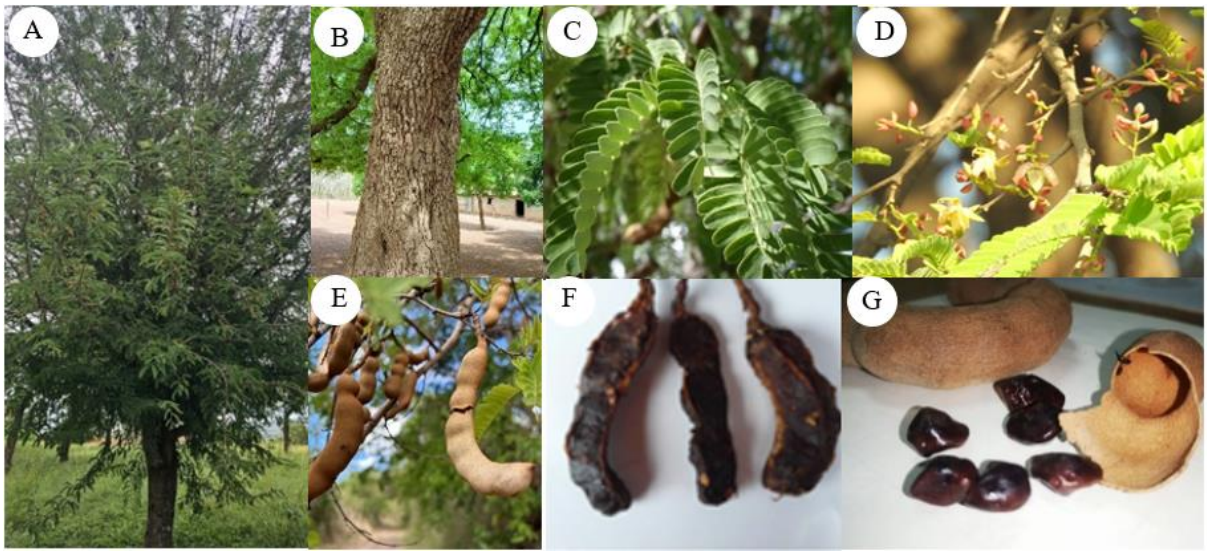


Figura 1. Morfología botánica de *Tamarindus indica.*

Nota: Figura adaptada del Sistema Global de Información sobre Biodiversidad [GBIF] (2024).

1.1.2.5. Taxonomía

En la Tabla 1 se describe la clasificación taxonómica de *T. indica.*

Tabla 1.

Clasificación taxonómica del tamarindo.

Dominio	Eukaryota
Reino	Plantae
División	Tracheophyta
Clase	Magnoliopsida
Subclase	Rosidae
Orden	Fabales
Familia	Fabaceae
Subfamilia	Caesalpinoideae
Tribu	Detarieae
Género	*Tamarindus*
Especie	*Tamarindus indica*

Nota: Información extraída de GBIF (2023).

1.1.2.6. Composición

T. indica es considerada como una fuente natural de varios macrominerales y oligoelementos, como se aprecia en la Tabla 2 y Tabla 3, pues en diferentes partes de la planta como las semillas se encuentran minerales tales como Mg, Na, Ca, Fe, Zn y P, carbohidratos, ácidos, proteínas y vitaminas A y C. Mientras que la pulpa contiene entre el 30 y 40 % de azúcares reductores, ácido tartárico y trazas de minerales. Esta composición puede variar dependiendo de la fertilidad del suelo y condiciones de cultivo **(Okello et al., 2018).** En cuanto a la composición química de esta especie, se ha corroborado la presencia de aminoácidos y ácidos grasos en diferentes partes de la planta. Es posible que estos valores difieran debido a la etapa de madurez en la que fueron cosechadas las partes de la planta, las condiciones de crecimiento aplicadas, técnicas de recolección y manipulación **(Mansingh et al., 2021).** Varias investigaciones han determinada un alto contenido de proteínas en la semilla del tamarindo, a diferencia de otras partes del fruto, este hecho se debe a la presencia de una elevada cantidad de aminoácidos esenciales y no esenciales, entre los cuales se destacan la metionina, serina, triptófano, isoleucina, lisina, histidina, ácido aspártico, fenilalanina, leucina, treonina, arginina, tirosina, entre otros **(Martins et al., 2020).**

A continuación, en la Tabla 2 y Tabla 3 se detallan la composición mineral y química de *T. indica.*

Tabla 2.

Composición mineral de la semilla y la pulpa de tamarindo.

Minerales	Semilla (mg/100g)	Pulpa (mg/100g)
Zinc (Zn)	13,2	3,3
Hierro (Fe)	37,0	15,6
Magnesio (Mg)	196,0	84,7
Fósforo (P)	21,8	13,8
Sodio (Na)	168,4	80,8
Potasio (K)	11,3	20,9
Calcio (Ca)	161,1	117,1

Nota: Información extraída de Mansingh et al. (2021).

Tabla 3.

Composición química de la semilla y la pulpa de tamarindo.

Constituyentes	% Semilla de tamarindo	% Pulpa de tamarindo
Humedad	30,0	3,5 – 8,8
Ácido tartárico	13,0	8,7 – 11,1
Proteínas	13,3	2,4
Almidón	-	20,0 – 41,3
Cenizas	2,1	2,1 – 3,3
Grasa	2,9	0,14
Energía Kcal/100g	324,1	216,8

Nota: Información extraída de Manmohan et al. (2016).

Los nutrientes de una matriz vegetal pueden ser utilizados como fuente de energía, mientras que los compuestos bioactivos tienen diferentes aplicaciones potenciales. Los compuestos bioactivos de interés asociados al tamarindo se identifican en la Figura 2, donde se aprecian los componentes presentes en las partes de la cáscara y de la semilla, entre ellos se encuentran los fenoles, polifenoles, ácidos grasos, saponinas y polisacáridos **(Bubalo et al., 2018).** En un estudio realizado se demostró que los polifenoles se encuentran en altas concentraciones en las semillas del tamarindo, identificando principalmente flavonoides como la epicatequina **(Prakash et al., 2019).** Por otro lado, en la investigación desarrollada por **Natukunda et al. (2015)** se determinó que los principales antioxidantes fenólicos de las semillas del tamarindo corresponden a 3,4-dihidroxibenzoato de metilo, 3,4 -acetato de dihidroxifenilo y 2-

hidroxi-3′,4′-dihidroxiacetofenona. A continuación, en la Figura 2, se detallan los principales compuestos bioactivos encontrados en el Tamarindo

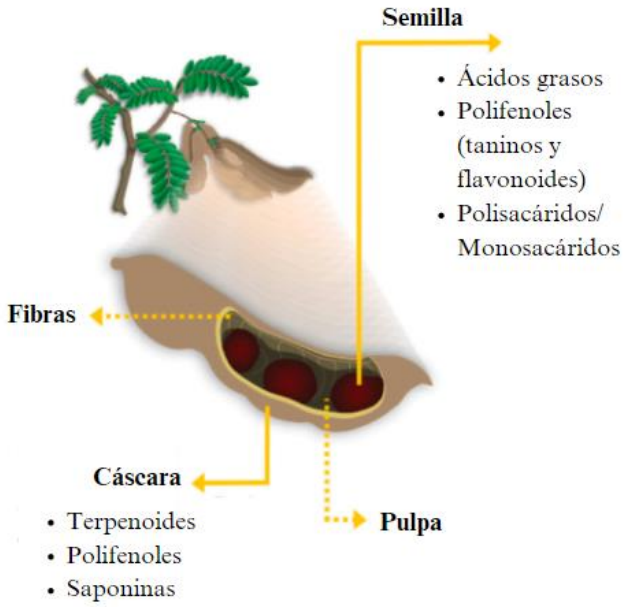


Figura 2. Principales componentes bioactivos identificados en los subproductos *T. indica* (cáscara y semilla).

Nota: Figura adaptada de Martins et al. (2020).

1.1.2.7. Usos

El tamarindo ha sido ampliamente utilizado, pues varias partes de la planta incluidos los frutos, hojas, semillas y corteza son empleadas para el tratamiento de una variedad de afecciones como el asma, diabetes, sarampión, lepra, picaduras de insectos y serpientes, inflamación, entre otros. **(Kaur et al., 2023).** Resulta efectivo como medicamento para regular los niveles de azúcar en la sangre, ayudando a tratar enfermedades cardíacas. La fruta se utiliza para curar afecciones intestinales y reducir la fiebre. Además, presenta propiedades antioxidantes, antifúngicas, antimicrobianas, antibacterianas, antiinflamatorias y antidiabéticas **(Rodrigues et al., 2018).**

También es usada como especia, pues contiene azúcares reductores y ácido tartárico, que le conceden su característico sabor **(Rao & Mathew, 2012).** Además, se emplea en la elaboración de varios productos de interés comercial como pulpa congelada, jugos, frutas deshidratadas, dulces y gelatinas **(De Caluwé et al., 2010).** Estos subproductos representan una fuente valiosa de nutrientes, debido a su contenido en minerales, proteínas, carbohidratos y vitaminas **(Mota et al., 2020).** El tamarindo es usado

como materia prima para la elaboración de varios productos industriales como pectina, alcohol, la semilla de tamarindo en polvo que se utiliza como conservante, adhesivo de papel, estampado textil y tejido y la fabricación de productos de yute. La semilla también es utilizada como relleno adhesivo en la industria del contrachapado y como estabilizador en las industrias ladrilleras **(Rodrigues et al., 2018).**

1.1.3. Residuos

1.1.3.1. Residuos agroindustriales de *T. indica*

En la actualidad, los subproductos generados por la industria alimentaria representan una fuente de contaminación ambiental crítica, pues existen pérdidas de alimentos durante toda la cadena de suministro, produciendo así, un aproximado de 1.300 millones de toneladas anuales. Una gran parte de los desechos agroindustriales son procedentes del procesamiento de frutas y verduras, utilizadas específicamente en la elaboración de jugos y otros productos, donde se incluyen pulpas, cáscaras, hojas, frutas de descarte y semillas **(Marcillo et al., 2021).** Una de estas frutas es el tamarindo, que genera un aproximado del 50 al 70 % de residuos correspondientes a semillas, fibra y cáscara **(Mota et al., 2020).** En la mayoría de los casos, estos no son desechados de forma adecuada, lo que contribuye a la contaminación del medioambiente y representa una pérdida en cuanto a su potencial y compuestos bioactivos de interés **(Qdais et al., 2019).**

En la actualidad existen métodos de gestión de residuos agroindustriales deficientes, pues la gran mayoría se descartan en el medio ambiente, siendo eliminados en vertederos o incineradores **(Mir-Cerdà et al., 2023).** Este hecho ocasiona un impacto ambiental significativo, debido a que se generan emisiones de gases como el metano y el dióxido de carbono. Una de las actividades postproducción es la eliminación de residuos de sistemas agroalimentarios que representan un tercio del total de las emisiones de gases de efecto invernadero **(FAO, 2023).**

En este contexto, el Objetivo 12 de Desarrollo Sostenible se basa en garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles, con principal interés en el aumento de la eficiencia de recursos y promover estilos de vida sostenibles. Esto se relaciona con el aprovechamiento de los residuos agroindustriales de *T. indica* para fomentar el consumo sostenible mediante la elaboración de nuevos productos **(Naciones Unidas, 2023).** La transformación de estos desechos en productos alimenticios de alto valor podría contribuir con la mitigación de las pérdidas de subproductos agroindustriales, debido a que, pueden ser aprovechados como una fuente de compuestos bioactivos de interés **(Socaci, 2017).**

1.1.4. Antioxidantes

1.1.4.1. Estrés oxidativo

El estrés oxidativo es ocasionado por un desequilibrio en la producción de especies reactivas de oxígeno (ROS) entre las cuales se encuentran los radicales superóxido (O_2^-), el oxígeno singlete ($^1O_2$), el peróxido de hidrógeno (H_2O_2) y los radicales hidróxido (-OH), estos se generan como subproductos metabólicos a partir de sistemas biológicos. Al aumentar la producción de ROS, se evidencian efectos nocivos en las estructuras de las células importantes como las proteínas, ácidos nucleicos y lípidos **(Pizzino et al., 2017).** Diversos procesos dependen de una adecuada producción de ROS, como la activación de factores transcripcionales, la apoptosis, la fosforilación de proteínas, la inmunidad y la diferenciación, además, es importante que se encuentre en un nivel bajo dentro de las células para evitar el daño celular. Se conoce que las reacciones de radicales libres con participación de radicales oxidativos están involucradas en varios procesos biológicos que causan daño a membranas celulares **(Wu et al., 2013).** Diferentes estudios demuestran que el estrés oxidativo es capaz de influir en la progresión de varias enfermedades como el cáncer, lesiones inflamatorias, enfermedades cardiovasculares, diabetes, aterosclerosis y trastornos metabólicos **(Taniyama & Griendling, 2003).**

1.1.4.2. Actividad antioxidante

Los antioxidantes son grupos de compuestos que poseen la capacidad para atrapar y neutralizar las especies reactivas de oxígeno y los radicales libres presentes en las células **(Abuajah et al. 2015).** De esta manera, ayudan a combatir el avance de enfermedades cardiovasculares, cardiacas, neurodegenerativas, cancerígenas y la inflamación, pues potencia el sistema inmunológico **(Zehiroglu & Ozturk, 2019).** Los antioxidantes se clasifican en antioxidantes naturales y sintéticos. Sin embargo, es importante mencionar que varios de los antioxidantes sintéticos han demostrado ser tóxicos a largo plazo ocasionando efectos secundarios no deseados. Por tal motivo, es esencial la búsqueda de antioxidantes naturales que puedan ser utilizados de forma segura. Principalmente se han investigado extractos de algunas plantas medicinales con una fuerte actividad antioxidante que pueden ser aplicadas en la prevención y tratamiento de enfermedades vinculadas con el estrés oxidativo **(Mo et al., 2021).**

1.1.5. Antiinflamatorios

1.1.5.1. Respuesta inflamatoria

La inflamación es una reacción de defensa ante la generación de estímulos dañinos que incluyen traumas físicos, infecciones o irritaciones, sustancias químicas perjudiciales, virus y bacterias **(Villagómez et al., 2019).** La inflamación en niveles descontrolados conduce al desarrollo de enfermedades neurodegenerativas inflamatorias, artritis reumatoide, diabetes, aterosclerosis, hepatitis crónica y asma **(Baek et al., 2020).** En este proceso biológico intervienen el sistema inmunológico innato y adaptativo. La inflamación comienza con la migración de las células inmunitarias desde los vasos sanguíneos y la liberación de mediadores, a continuación, se acumulan las células inflamatorias y se secretan las especies reactivas de oxígeno (ROS), especies reactivas de nitrógeno (RNS) y citoquinas proinflamatorias **(Tsvetanova, 2024).**

Las especies reactivas de oxígenos (ROS) se definen como metabolitos de oxígeno parcialmente reducidos que poseen una elevada capacidad oxidativa. Desempeñan un papel importante en la progresión de trastornos inflamatorios. Son una clase de sustancias químicas producidas después de la reducción incompleta del oxígeno molecular. En niveles moderados, las ROS actúan como una molécula de señalización y mediadora de la inflamación. Sin embargo, en niveles elevados, las ROS causan efectos tóxicos, dañan el ADN y oxidan directamente macromoléculas biológicas, como proteínas, ácidos nucleicos y lípidos **(Mittal et al., 2014).**

1.1.5.2. Actividad antiinflamatoria

La actividad antiinflamatoria es la capacidad que presenta una sustancia o tratamiento para disminuir la inflamación en el cuerpo, a través de mediadores inflamatorios que se sintetizan y secretan durante las respuestas inflamatorias y la inhibición de enzimas que inducen esta condición. Generalmente, los medicamentos empleados para su tratamiento son antiinflamatorios no esteroides (AINE) y los esteroides **(Gonfa et al., 2023).** Sin embargo, estos pueden ocasionar efectos secundarios graves, por lo tanto, se requiere la creación de alternativas antiinflamatorias nuevas y confiables. Los extractos de plantas se consideran como una excelente fuente de compuestos biológicamente activos que puede actuar como agentes antiinflamatorios y han sido utilizados como materia prima para el desarrollo de sustancias puras que ayuden a tratar diferentes enfermedades **(Villagómez et al., 2019).**

1.1.6. Polifenoles

1.1.6.1. Generalidades

Los compuestos polifenólicos pertenecen a una amplia categoría de compuestos químicos que destacan por sus estructuras complejas, caracterizadas por contener al menos un anillo aromático y uno o más sustituyentes hidroxilo **(Esquivel et al., 2015).** Están formados por un monómero fundamental que es el anillo fenólico, a su vez, estos se clasifican en ácidos y alcoholes fenólicos **(Ye et al., 2024).** Se han identificado alrededor de 8000 compuestos fenólicos diferentes, que pueden ser clasificados en cuatro categorías de acuerdo con su estructura química: flavonoides y no flavonoides, de acuerdo con el número de anillos aromáticos que posee, el esqueleto de carbono y la estructura química básica **(Gutiérrez & Nollet, 2018).**

Estos compuestos se presentan de manera natural principalmente en verduras, frutas y cereales. Es posible encontrarlos en diversas frutas como las cerezas, bayas, uvas, peras y manzanas. Los productos que son elaborados a partir de estas frutas poseen una cantidad importante de polifenoles **(Pandey & Rizvi, 2009).** Los compuestos polifenólicos como flavonoides están presentes en casi todas las partes de la planta de tamarindo incluyendo sus hojas, pulpa, semillas y corteza, lo que convierte a *T. indica* en una potencial fuente para la obtención de fenoles **(Ganesapillai et al., 2017).** De igual manera, se han aislado diferentes fitoquímicos activos de varias partes del árbol de tamarindo, entre estos compuestos fenólicos resaltan triterpenos como lupanona y lupeol; componentes de aceites como b-sitosterol y n-hexacosano; ácido tartárico, ácido 1-(-)málico, ácidos grasos y proteínas **(Rana & Sharma, 2018).**

Existen diferentes procesos para la extracción de polifenoles que son aplicados dependiendo de las propiedades físicas y químicas por las cuales este compuesta la matriz vegetal. Generalmente, el procedimiento más empleado es la extracción con disolventes orgánicos, por su simplicidad y versatilidad, debido a que utilizan temperaturas no muy elevadas durante menores periodos de tiempo, proporcionando un mayor rendimiento en la cantidad de polifenoles extraídos **(Sridhar et al., 2021).** De igual manera se han aplicado otros métodos no convencionales que incluyen la extracción asistida por ultrasonido, extracción asistida por microondas, extracción con fluidos supercríticos, alta presión hidrostática, entre otros. No obstante, el uso de estas tecnologías suele representar un mayor costo de inversión **(Oroian & Escriche, 2015).** Los compuestos polifenólicos han demostrado poseer una amplia gama de actividades biológicas que incluyen propiedades antiinflamatorias y antioxidantes **(Tavanappanavara et al., 2023).**

1.1.6.2. Capacidad antioxidante de polifenoles

Estos compuestos han sido objeto de estudio durante los últimos años, pues presentan múltiples beneficios, uno de ellos es su capacidad antioxidante, misma que se ha demostrado en diferentes investigaciones. Las propiedades antioxidantes de los polifenoles se deben principalmente a su potencial redox, puesto que, actúan como agentes reductores, donadores de hidrógeno, quelantes de metales y captadores de oxígeno singlete. **(Sookying et al., 2022).** Los estudios realizados han evaluado el contenido de polifenoles a través del uso de diferentes materiales vegetales, tal es el caso de *Limnophila aromatica* **(Diem et al., 2014)**, *Euterpe edulis M.* **(Silva et al., 2017)**, *Ocimum basilicum* L. **(Złotek et al., 2016)**, *Castanea sativa* Mill. **(Vella et al., 2017)**, *Physalis peruviana L.* **(Torres-Ossandón et al., 2018)**, entre otros. En ellos se corrobora que los polifenoles extraídos de diferentes fuentes naturales presentan una elevada capacidad antioxidante, puesto que, previenen la formación de radicales libres, y pueden ser utilizados en diferentes industrias como la alimenticia, farmacéutica, químicas y cosmética para el desarrollo de diferentes productos de interés **(Tril et al., 2014).**

1.1.6.3. Capacidad antiinflamatoria de polifenoles

Los polifenoles son capaces de inhibir el proceso inflamatorio, puesto que, intervienen en los sistemas enzimáticos y de señalización involucradas en la respuesta inflamatoria. Existen múltiples investigaciones que han estudiado la actividad antiinflamatoria de los polifenoles de origen natural a través de ensayos *in vivo* e *in vitro* empleando especies vegetales como *Antirhea borbónica* **(Veeren et al., 2021)**, *Curcuma longa* **(Sangiovanni & Dell'Agli, 2021)**, *Matricaria* ***chamomilla*** **(Drummond et al., 2012)**, Cydonia oblonga **(Yahfoufi et al., 2018)**, *Hibiscus sabdariffa* L. **(Kao et al., 2009)**, entre otros. Estos estudios respaldan el potencial efecto antiinflamatorio de los polifenoles, pues se ha comprobado satisfactoriamente que presentan la capacidad de modular la respuesta inmune, activar factores de transcripción que combaten la inflamación y bloquear citocinas proinflamatorias.

1.1.7. Microencapsulación

1.1.7.1. Generalidades

La microencapsulación es una técnica que permite almacenar compuestos sensibles por medio de un agente encapsulante que crea una barrera física que los recubre, reduciendo así la reacción con agentes externos, permitiendo una liberación controlada **(Gaonkar et al., 2014).** Se utiliza principalmente para la protección de ingredientes activos, evitando su degradación como resultado de la exposición a

factores ambientales como luz, agua, oxígeno y calor, además mejora la vida útil del material activo **(Özkan et al., 2019).**

La selección del material de pared empleado en la microencapsulación es de gran importancia, pues determina la eficiencia de la encapsulación y la estabilidad de las microcápsulas **(Schoubben et al., 2010).** El material debe contar con una baja viscosidad en concentraciones más altas, capacidad de formación de película para la funcionalidad requerida, alta solubilidad y emulsión considerable **(Gharsallaoui et al., 2007).** Los materiales de pared más relevantes y comunes incluyen compuestos a base de polisacáridos, gomas de polisacáridos naturales y compuestos a base de proteínas **(Samborska et al., 2021).** Entre ellos se encuentra la maltodextrina que mejora el aroma, sabor y color de los compuestos bioactivos aportando una mayor estabilidad (**Xiao et al., 2022).** Por lo tanto, la microencapsulación es una tecnología prometedora aplicada en diversas industrias como la farmacéutica, química, alimentaria, cosmética y agrícola, garantizando efectos eficientes y seguros, puesto que, permite la microencapsulación de agentes biológicos, complementos alimenticios, enzimas y antibióticos **(Tomaro-Duchesneau et al., 2013).**

1.1.7.2. Microencapsulación de secado por aspersión

El secado por aspersión consiste en atomizar el líquido a través de una corriente caliente de aire para la obtención de un polvo seco de pequeñas partículas. Es decir que, se basa en la disolución de un compuesto bioactivo en una matriz polimérica, esta formulación líquida es bombeada por medio de una boquilla fina, produciendo la atomización en la cámara de secado, donde se transforma en un spray de gotas muy pequeñas. El aire caliente que entra fluye alrededor de las gotas, ocasionando la evaporación del disolvente de forma rápida y dando como resultado la formación de micropartículas solidas **(Piñón-Balderrama et al., 2020).** Este proceso consta de diversas etapas que incluyen: la alimentación del flujo, secado del medio, formación de partículas, y, finalmente, la separación del producto del aire de secado. Las características del producto obtenido van a depender de forma directa de todas las etapas, incluyendo las condiciones de operación **(Mohammed et al., 2020).**

Este método presenta ventajas como una producción a gran escala con bajos costos, simplicidad, reproducibilidad, alta velocidad, adaptabilidad de las condiciones de operación y la disponibilidad a escala industrial y de laboratorio **(Baltrusch et al., 2022).** Debido al posible deterioro de compuestos extremadamente termosensibles, es esencial controlar la temperatura de entrada de aire (150 a 220 °C), caudal, velocidad y temperatura del material de entrada, así como enfriamiento luego de la evaporación de la capa líquida en la que la temperatura debe ser inferior a 100 °C **(Zuidam & Shimoni, 2010).**

1.1.7.3. Microencapsulación de compuestos polifenólicos

Los compuestos polifenólicos son inestables y de fácil degradación durante su almacenamiento y procesamiento, debido a que son sustancias sensibles al calor y sus propiedades biológicas pueden resultar afectadas por condiciones elevadas de temperatura. Por lo tanto, es necesario el uso de una alternativa que brinde una solución eficaz para mejorar su estabilidad y garantizar que su mecanismo de acción sea efectivo. En este contexto, es posible aplicar la técnica de microencapsulación de secado por aspersión para dar solución a esta problemática, pues, ayuda a capturar los compuestos sólidos protegiéndolos de factores externos que pueden degradarlos **(Xu et al., 2019).** Además, contribuye a optimizar las propiedades bioadhesivas, que resultará en una mayor bioaccesibilidad al interactuar con micropartículas de mayor tamaño **(Shishir & Chen, 2017).**

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

- Evaluar la capacidad antioxidante y antiinflamatoria de polifenoles microencapsulados procedentes de los residuos de tamarindo (*Tamarindus indica*).

1.2.2. Objetivos específicos

- Realizar la microencapsulación de un extracto con polifenoles mediante secado por aspersión.
- Analizar la actividad antioxidante *in vitro* de los compuestos polifenólicos microencapsulados.
- Determinar el potencial antiinflamatorio *in vitro* de los compuestos polifenólicos microencapsulados.

1.3. Hipótesis

1.3.1. Hipótesis nula

El extracto y microencapsulado con compuestos polifenólicos procedentes de los residuos de tamarindo no presentan actividad antioxidante ni antiinflamatoria.

1.3.2. Hipótesis alternativa

El extracto y microencapsulado con compuestos polifenólicos procedentes de los residuos de tamarindo presentan actividad antioxidante y antiinflamatoria.

1.4. Variables

1.4.1. Variables independientes

En la Tabla 4 se establecen las variables independientes aplicadas en el proceso de extracción de polifenoles de *T. indica.*

Tabla 4.

Variables independientes en el proceso de extracción.

Variables	Niveles
Concentración de etanol	30 %
	50 %
	70 %
Tiempo de extracción	20 min
	50 min
	80 min

1.4.2. Variables dependientes

Concentración de polifenoles, eficiencia de la microencapsulación, porcentaje de inhibición del radical DPPH, porcentaje de inhibición de la desnaturalización de albúmina.

CAPÍTULO II.- METODOLOGÍA

2.1. Materiales

El presente trabajo de titulación fue de tipo experimental y se llevó a cabo en los laboratorios académicos de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología de la Universidad Técnica de Ambato. En la Tabla 5, Tabla 6 y Tabla 7, se enlistan los reactivos, material fungible y equipos que se utilizaron durante la investigación.

2.1.1. Reactivos

Tabla 5.

Listado de reactivos de laboratorio para el proyecto de investigación.

Reactivos	Cantidad
Etanol (96 %)	4 L
Carbonato de sodio (Na_2CO_3)	10 g
Ácido gálico	5 g
Reactivo de Folin-Ciocalteu	10 mL
DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidracilo)	1 g
Maltodextrina	100 g
Goma arábiga	100 g
Trolox ($C_{14}H_{18}O_4$)	1 g
Tampón fosfato	100 mL
Diclofenaco sódico	150 mg

2.1.2. Material fungible

Tabla 6.

Listado de material fungible para el proyecto de investigación.

Material fungible	Cantidad
Vasos de precipitación (500 mL)	3 u
Varilla de agitación	1 u
Botellas ámbar (1000 mL)	2 u
Probeta volumétrica (100 mL)	1 u
Tubos Eppendorf (1.5 mL)	6 u
Tubos de centrífuga (45 mL)	6 u
Tubos de ensayo (10 ml)	4 u
Embudo de filtración	1 u
Balones de aforo (100 mL)	1 u
Termómetro	1 u
Micropipeta (20-200; 1000 µL)	1 u
Puntas de micropipeta (20-200; 1000 µL)	1 caja
Papel filtro	1 paquete
Papel aluminio	1 paquete
Bolsas Ziploc de aluminio	1 paquete

2.1.3. Equipos

Tabla 7.

Listado de equipos de laboratorio para el proyecto de investigación.

Equipos	Cantidad
Deshidratador por convección	1
Molino	1
Plancha de calentamiento (Corning G PC- 6200)	1
Balanza analítica (OHAUS Adventurer-Pro)	1
Balanza de humedad (KERN MLS 50-3)	
Rotoevaporador (IKA HB10)	1
Incubadora	1
Mini Spray Dryer LabPlant (SD-Basic)	1
Espectrofotómetro UV-VIS (Fisher scientific Accuskan Go)	1

Centrífuga (Rotina 380)	1
Espectroscopio Infrarrojo Transformada Fourier (FTIR) (Perkin Elmer Spectrum Two)	1
Refrigerador	1

2.2. Métodos

2.2.1. Obtención y desinfección de la materia prima

Los residuos de tamarindo fueron obtenidos de la empresa Inalpev ubicada en la ciudad de Ambato, provincia de Tungurahua. Los residuos se almacenaron en bolsas ziploc a temperatura ambiente. Posteriormente, se realizó un lavado minucioso con agua para la eliminación de componentes contaminantes y se separaron las semillas del resto de residuos, estas se conservaron en refrigeración a 4 °C **(Gaitonde & Ramesh, 2018).**

2.2.2. Secado y pulverizado de los residuos de tamarindo

El proceso de secado se realizó por medio de un deshidratador durante un ciclo de 48 horas a una temperatura de 50 °C para la eliminación de la humedad existente en el material vegetal. A continuación, se trituraron los residuos secos por medio de un molino hasta obtener un polvo fino que se almacenó en bolsas ziploc para protegerlo de la humedad **(Panicker & Sahu, 2021).**

2.2.3. Obtención del extracto vegetal

Para la obtención del extracto se emplearon soluciones acuosas de etanol a diferentes concentraciones (%v/v): 30, 50 y 70. En este caso se utilizó una relación 1:20, es decir, una parte de los residuos y veinte partes de la solución de etanol, por lo tanto, se pesaron 5 g del material vegetal en 100 mL de disolvente, con una agitación de 400 min^{-1} a la temperatura de 60 °C **(Cardoso et al., 2016; Cvetanović et al., 2020).** Por medio de este procedimiento se evaluó el rendimiento de la extracción a diferentes tiempos: 20, 50 y 80 min, para cada una de las concentraciones. Los tratamientos aplicados se detallan en la Tabla 8.

Tabla 8.

Tratamientos de extracción.

Interacción	Tratamiento
A1B1	Relación 1:20; etanol 30 %; 20 min
A1B2	Relación 1:20; etanol 30 %; 50 min
A1B3	Relación 1:20; etanol 30 %; 80 min
A2B1	Relación 1:20; etanol 50 %; 20 min
A2B2	Relación 1:20; etanol 50 %; 50 min
A2B3	Relación 1:20; etanol 50 %; 80 min
A3B1	Relación 1:20; etanol 70 %; 20 min
A3B2	Relación 1:20; etanol 70 %; 50 min
A3B3	Relación 1:20; etanol 70 %; 80 min

Nota: En la presente tabla se describen las condiciones aplicadas en cada uno de los tratamientos de extracción.

2.2.4. Cálculo de sólidos totales (SST) del extracto

Para la estimación de los sólidos totales que se encuentran en el extracto obtenido, se utilizó una balanza de humedad, donde se colocaron 4,5 mL de cada extracto de los residuos del tamarindo por triplicado y se recolectaron los valores proporcionados por la balanza **(Torun et al., 2015).** El cálculo del porcentaje de SST se determinó por medio de la siguiente ecuación:

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

2.2.5. Determinación de los polifenoles totales (TPC)

El análisis del contenido de polifenoles totales (TPC) se llevó a cabo mediante el reactivo Folin-Ciocalteu que se basa en la capacidad que presentan los compuestos fenólicos para reaccionar con agentes oxidantes. En una placa de 96 pocillos se colocaron 130 µL de agua destilada, 10 µL del extracto y 10 µL de la solución Folin-Ciocalteu, luego se llevó incubación en oscuridad por 6 min a temperatura ambiente para que el reactivo actúe de manera adecuada. Posteriormente, se añadieron 100 µL de carbonato de sodio y se colocó nuevamente en incubación por 90 min. Después, por medio del espectrofotómetro se medió la absorbancia de las muestras a una longitud de onda de 765 nm. Se realizó una curva de calibración con ácido gálico (50 a 500 mg/mL) para determinar el contenido de polifenoles mediante la ecuación de la recta proporcionada. Para el contenido de polifenoles totales se tomó en cuenta la determinación de sólidos totales de cada una de las muestras y se expresó en miligramos de

ácido gálico equivalentes por gramo de material vegetal (mg GAE/g material vegetal) **(Saravanan & Parimelazhagan, 2014; Alara et al., 2020).**

2.2.6. Microencapsulación del extracto mediante secado por aspersión

Una vez establecido el extracto con un mayor contenido de polifenoles, se realizó una extracción a mayor escala, luego se concentró la solución por medio de un rotavapor a una temperatura de 70 °C a 230 min^{-1}. El extracto concentrado de los residuos de tamarindo obtenido se almacenó en un frasco ámbar en refrigeración a 4 °C **(Cvetanović et al., 2020).**

Para el proceso de microencapsulación se aplicó el método de secado por aspersión, para lo cual se preparó una mezcla del extracto concentrado, maltodextrina como agente encapsulante y agua destilada, se utilizó una proporción de 20:80 de la solución activa y el polímero, respectivamente. Luego, con ayuda de una varilla se agitó para disolver el polímero y obtener una mezcla homogénea. Seguidamente, se encendió el equipo Mini Spray Dryer LabPlant (SD-Basic) y se colocó la mezcla que alimentó la cámara de secado, con un flujo de aire de 600 L/h, se configuró la temperatura de entrada (150 °C) y salida (80 °C). Finalmente, el microencapsulado obtenido se almacenó en bolsas herméticas a temperatura ambiente **(Baltrusch et al., 2022**; **Gbur et al., 2023).**

2.2.7. Análisis cualitativo de la eficiencia de la microencapsulación

En esta sección se determinó la eficiencia de la microencapsulación mediante espectroscopía infrarroja (FTIR), se analizaron las muestras del microencapsulado obtenido, del extracto vegetal concentrado y la matriz del polimérica de maltodextrina, para poder comparar los espectros obtenidos **(Pashazadeh, 2021).**

2.2.8. Determinación cuantitativa de la eficiencia de la microencapsulación

Para la determinación de la eficiencia de la microencapsulación de forma cuantitativa se tomaron en cuenta los compuestos polifenólicos totales y los compuestos polifenólicos superficiales. En el caso de los fenoles totales se realizó una mezcla con una solución de agua destilada y el microencapsulado, mientras que, para los compuestos polifenólicos superficiales se preparó una solución de etanol y el microencapsulado luego se llevó a centrifugación por 5 min a 3000 min^{-1} y se extrajo el sobrenadante. Posteriormente, la cuantificación de los polifenoles se realizó a través de la técnica de Folin Ciocalteu (**Baltrusch et al., 2022)**.

La eficiencia de microencapsulación (EM) se determinó aplicando la siguiente ecuación.

$$\% \, EM = \frac{CF_{totales} - CF_{superficiales}}{CF_{totales}} \times 100$$

Donde:

$CF_{totales}$= concentración de fenoles totales

$CF_{superficiales}$= concentración de fenoles superficiales

2.2.9. Método de DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazil)

Para el análisis de la capacidad antioxidante se utilizó el método de DPPH (2,2 difenil-1-picrihidracilo). Se realizó una curva de calibración de Trolox utilizando diferentes concentraciones de 50 a 500 µmol/L. Se preparó una solución stock a una concentración de 150 µmol/L de DPPH con 100 mL de metanol al 80 %. A continuación, el proceso se desarrolló en una placa de 96 pocillos en la cual se colocó la muestra con 180 µL de la solución de DPPH y 20 µL de extracto en diluciones de 1:50, 1:100 y 1:500 con el objetivo de evaluar qué concentración está acorde a la curva de concentración de Trolox. Para la preparación del blanco se añadieron 180 µL de metanol-agua y 20 µL de agua destilada. Mientras que, para el control se utilizaron 180 µl de DPPH y 20 µL de agua destilada. La placa terminada se agitó durante 60 segundos y se llevó a incubación a temperatura ambiente por 40 minutos. Posteriormente se colocó la placa en el espectrofotómetro para medir la absorbancia a 515 nm (**Bobo-García et al., 2015; Sirivibulkovit et al., 2018).** El porcentaje de inhibición se determinó por medio de la siguiente fórmula:

$$\% \, Inhibición \, DPPH = \left[1 - \left(\frac{A_{muestra} - A_{blanco}}{A_{control} - A_{blanco}}\right)\right] \times 100$$

Donde:

$A_{muestra}$= absorbancia de la muestra

A_{blanco}= absorbancia del blanco

$A_{control}$= absorbancia del control

2.2.10. Desnaturalización de albúmina de huevo

En primer lugar, para obtener la ovoalbúmina se extrajo la clara de un huevo y se mezcló con 100 mL de agua destilada en un vaso de precipitación. Posteriormente la muestra se llevó a centrifugación a

4000 min^{-1} durante 10 min y se conservó el sobrenadante **(Rajesh et al., 2019).** Cabe recalcar que se utilizó como control una solución de diclofenaco sódico que corresponde a un fármaco antiinflamatorio. Por lo tanto, se prepararon concentraciones de 100, 200, 500 y 1000 µg/mL del extracto, el microencapsulado y del fármaco. Se mezcló en tubos de ensayo, 2 mL de la muestra (extracto o diclofenaco sódico), 2,8 mL de tampón fosfato PBS (pH 6,4) preparado previamente y 0,2 mL de albúmina de huevo. Se utilizó agua destilada como control. Se dejó reaccionar en incubación durante 15 min a 37 °C. A continuación, se indujo la desnaturalización de las muestras sometiéndolas a un baño térmico a una temperatura de 70 °C durante 10 min y se dejó enfriar por 15 min. Finalmente se midió la absorbancia a 660 nm **(Nguyen, 2023).**

Para calcular el porcentaje de la inhibición de la desnaturalización de la albúmina se utilizó la siguiente ecuación descrita por **Adekola et al., (2022).**

$$\%\ Inhibición = \left(1 - \frac{OD_2 - OD_1}{OD_3 - OD_1}\right) \times 100\%$$

Donde:

OD_1= absorbancia de la muestra antes de la desnaturalización

OD_2= absorbancia de la muestra después de la desnaturalización

OD_3= absorbancia del control después de la desnaturalización

2.2.11. Desnaturalización de albúmina de suero bovino (BSA)

Se prepararon concentraciones de 100, 200, 500 y 1000 µg/mL del extracto, el microencapsulado y del fármaco. Se mezcló en tubos de ensayo, 2 mL de la muestra (extracto o diclofenaco sódico), 0,05 mL de tampón fosfato PBS (pH 6,4) preparado previamente y 0,45 mL de albúmina bovina. Se utilizó agua destilada como control. Se dejó reaccionar en incubación durante 15 min a 37 °C. A continuación, se indujo la desnaturalización de las muestras sometiéndolas a un baño térmico a una temperatura de 70 °C durante 5-10 min y se dejó enfriar por 10 min. Finalmente se determinó la absorbancia a 660 nm **(Varghese et al., 2024).** El efecto protector de las muestras contra la desnaturalización de BSA se presentó como porcentajes de inhibición calculados mediante la siguiente fórmula:

$$\%\ Inhibición = \left(1 - \frac{OD_2 - OD_1}{OD_3 - OD_1}\right) \times 100\%$$

Donde:

OD_1= absorbancia de la muestra antes de la desnaturalización

OD_2= absorbancia de la muestra después de la desnaturalización

OD_3= absorbancia del control después de la desnaturalización

2.2.12. Análisis estadístico de datos

Para el análisis de los datos obtenidos sobre el proceso de extracción se desarrolló un diseño experimental 3^2, mediante el cual se estudiaron los efectos de las dos variables independientes aplicadas: la concentración del disolvente y el tiempo de extracción con tres niveles diferentes en cada uno de ellos, sobre la variable de respuesta. De tal forma, fue posible determinar cómo afectan estos factores a la variable dependiente correspondiente a la concentración de compuestos polifenólicos presentes en el extracto de los residuos de tamarindo. Para ello, se analizaron 9 tratamientos de extracción y 9 repeticiones en cada caso. Se aplicó un análisis ANOVA de los datos obtenidos, que permitió establecer como influyen las variables independientes y sus interacciones, y si existen diferencias significativas entre los tratamientos, demostrando así, cuál de ellos resulta ser más efectivo. Además, los resultados fueron representados en un gráfico de superficie de respuesta donde se detallan las condiciones óptimas de extracción. Para este análisis se empleó la versión de prueba de 30 días del programa estadístico Statgraphics.

CAPÍTULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Análisis y discusión de los resultados

3.1.1. Determinación cuantitativa de polifenoles

Durante el proceso de extracción de polifenoles a partir de residuos agroindustriales de *T. indica*, se realizaron diversos tratamientos para determinar las condiciones óptimas de extracción. Se evaluaron dos factores: la concentración del disolvente y el tiempo de extracción, manteniendo una proporción de 1:20 de material vegetal. Mediante el diseño experimental aplicado, se cuantificó el contenido total de polifenoles en mg equivalentes de ácido gálico por gramo de material seco (mg GAE/g de material vegetal). La Tabla 9 indica la media del contenido de polifenoles para cada tratamiento.

Tabla 9.

Contenido polifenólico de cada tratamiento de extracción.

Tratamiento	Concentración de etanol (% v/v)	Tiempo de extracción (min)	TPC (mg GAE/g material vegetal)
A1B1	30	20	430,31 ± 19,34
A1B2	30	50	444,51 ± 11,90
A1B3	30	80	471,18 ± 24,49
A2B1	50	20	503,90 ± 11,84
A2B2	50	50	463,82 ± 20,86
A2B3	50	80	532,09 ± 13,41
A3B1	70	20	509,59 ± 18,05
A3B2	70	50	472,36 ± 18,71
A3B3	70	80	494,81 ± 11,17

Nota: En esta tabla se presentan los promedios ± desviación estándar del contenido de polifenoles totales (TPC) determinado en cada tratamiento a través del método de Folin-Ciocalteu.

De acuerdo con los resultados de la cuantificación de compuestos polifenólicos, se obtuvieron valores que oscilan entre 430,31 ± 19,349 y 532,09 ± 13,411 mg GAE/g material vegetal. Estos valores pueden compararse con estudios previos que indican rango de 222,16 mg GAE/g **(Cvetanovic et al., 2020)**

hasta 742,919 ± 50,360 mg GAE/g **(Ha et al., 2022).** Se considera que los estudios cualitativos y cuantitativos de compuestos bioactivos empleando materiales vegetales dependen en gran medida del método de extracción seleccionado **(Sasidharan et al., 2011).** Los factores más comunes que inciden en los procesos de extracción son las condiciones de temperatura, el disolvente y las propiedades de la matriz vegetal. Por lo tanto, el contenido polifenólico total puede variar de acuerdo con el tipo de disolvente utilizado, la concentración y el residuo de tamarindo empleado. De igual manera, la cantidad de polifenoles en *T. indica* puede cambiar ampliamente de acuerdo con la parte de la planta, las condiciones ambientales y geográficas. Por lo general, las semillas poseen un contenido polifenólico mayor en comparación con la pulpa. Adicionalmente, los factores agroecológicos tienen un impacto significativo, debido a que el tamarindo cultivado en zonas más cálidas y secas tiende a tener una mayor cantidad de polifenoles **(Amararathna et al., 2015).**

Los datos obtenidos fueron ingresados en el programa estadístico para su respectivo análisis. A continuación, en la Figura 3 se muestra el diagrama de Pareto donde se incluyen los efectos estandarizados con base en los valores absolutos de la tabla ANOVA (Anexo 4).

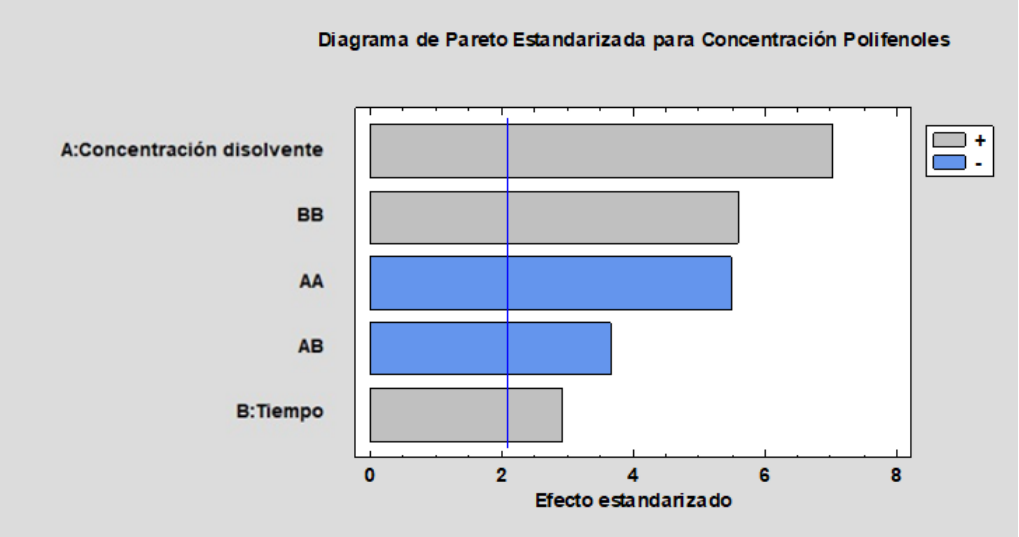


Figura 3. Diagrama de Pareto estandarizado de las variables de análisis.
Nota: En esta figura se presenta el efecto de los factores que influyen en el proceso de extracción de compuestos polifenólicos: la concentración del disolvente y el tiempo. Donde AA y BB son las interacciones de cada factor, mientras que AB corresponde a la interacción entre estos dos factores. Imagen obtenida de Statgraphics.

Se realizó una comparación de los efectos desde el menor hasta el mayor rango de significancia, además, se visualiza una línea azul de referencia para indicar los efectos que son estadísticamente significativos.

De acuerdo con el diagrama, se infirió que tanto el tiempo de extracción como la concentración del disolvente tienen un nivel elevado de importancia y, por lo tanto, la relación entre ambos factores es determinante en el contenido polifenólico. La significancia estadística de las variables fue corroborada por medio de los datos del *P-value* en la tabla ANOVA, pues se obtuvieron valores menores a 0,05, lo que indica que tienen influencia significativa para un nivel de confianza del 95,0 %.

En el proceso de extracción y determinación cuantitativa de los polifenoles se utilizó como disolvente una mezcla de agua y etanol, en base al análisis de los datos se estableció que la variabilidad en las concentraciones utilizadas afecta de forma significativa, obteniendo así valores que sobrepasan los 500 mg GAE/ g material vegetal empleando una concentración de etanol del 50 %. Referente a ello, en un estudio donde se analizó el contenido polifenólico de extractos utilizando como disolventes etanol y agua, se determinó que el rendimiento de la extracción tendió a aumentar con la polaridad del disolvente. Los extractos acuosos presentaron mayores rendimientos, seguidos de los etanólicos, debido a que el agua al ser más polar que el etanol tiene la capacidad de formar puentes de hidrógeno fuertes **(Garmus et al., 2014).**

Reforzando esta premisa, en el estudio de **Riaño et al. (2020)** se estableció que al utilizar agua como disolvente se obtuvo una mejor cinética de extracción, puesto que, se crea un medio con mayor polaridad que facilita el proceso de extracción de compuestos polifenólicos. Sin embargo, una mezcla de agua y etanol en concentraciones no muy elevadas pueden solubilizar una mayor cantidad de polifenoles. Por el contrario, si se utiliza una concentración alta de etanol podría ocasionar la desnaturalización de los compuestos bioactivos, impidiendo la disolución de los polifenoles e influyendo en la extracción **(Carciochi et al., 2018).** En el mismo sentido, en la investigación de **Socaci et al. (2018)** se encontró que al aumentar la concentración de etanol del 60 % al 68 %, aproximadamente, el contenido polifenólico aumentó, mientras que, al exceder el 68 % en la concentración de etanol, desencadenó en una disminución gradual de la cantidad de polifenoles.

Para analizar los factores de la concentración del disolvente y el tiempo de extracción y determinar su influencia en la obtención de los polifenoles, se evaluaron diferentes componentes, y de esta manera se logró obtener una respuesta optimizada, como se observa en la Tabla 10, donde se muestra la combinación de los niveles de los factores, la cual maximiza la concentración de polifenoles.

Tabla 10.

Optimización de respuesta para la concentración de polifenoles.

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Concentración de etanol	30,0	70,0	52,6
Tiempo de extracción	20,0	80,0	80,0

Nota: La meta de este análisis es maximizar la concentración de polifenoles, obteniendo un valor óptimo de 519,5 mg GAE/g material vegetal.

La influencia de los factores anteriormente mencionados también se puede observar en la Figura 4, presentada a continuación, que corresponde al gráfico de superficie de respuesta, el cual es utilizado generalmente para demostrar la relación entre una variable respuesta de interés y dos o más variables independientes y de esta manera poder optimizar procesos o sistemas complejos. De tal manera, se determinó que las condiciones adecuadas para obtener un mayor contenido en la extracción de polifenoles de *T. indica* es durante 80 min a una concentración de etanol del 53 % aproximadamente.

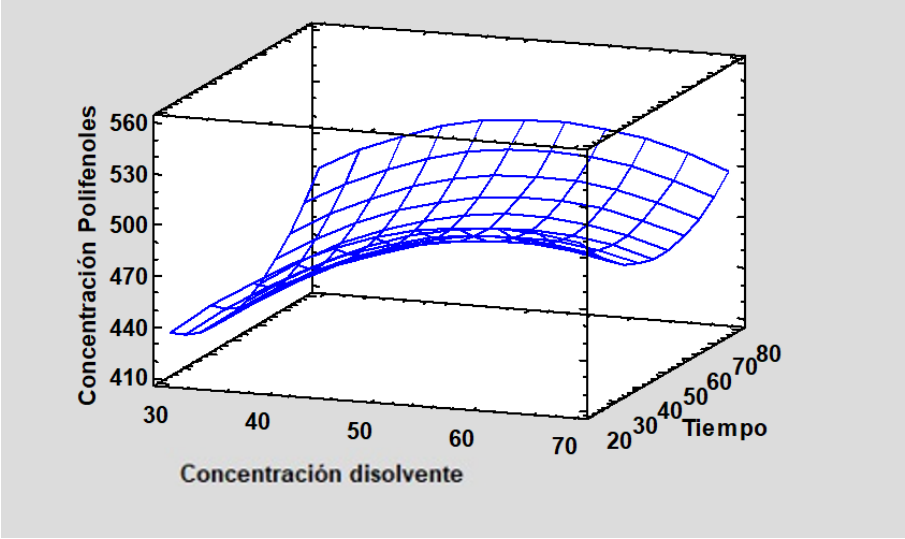


Figura 4. Superficie de respuesta estimada.

Nota: En esta figura se presenta la influencia de las variables de extracción, el tiempo y la concentración del disolvente con respecto a la concentración de polifenoles en cada uno de los tratamientos para optimizar el contenido polifenólico.

Es importante mencionar que, para comprobar los resultados proporcionados por el paquete estadístico sobre la optimización del proceso, se realizó la determinación del contenido de polifenoles totales a la concentración y tiempos establecidos (Tabla 11).

Tabla 11.

Concentración de polifenoles totales para el tratamiento óptimo.

Concentración de etanol (% v/v)	Tiempo de extracción (min)	TPC (mg GAE/g material vegetal)
53	80	516,521 ± 11,30

El tiempo es un factor de gran relevancia que influye considerablemente en el proceso de extracción de polifenoles y su contenido total. Además, representa un parámetro de interés que debe ser establecido minuciosamente para minimizar los costos energéticos que requiere el proceso. En diferentes estudios se ha demostrado que los tiempos de extracción más prolongados, por lo general, conducen a la obtención de un mayor rendimiento de polifenoles. La influencia negativa o positiva del tiempo dependerá también de la solubilidad del disolvente y la estabilidad que presente el compuesto de interés. Este hecho resalta la importancia de optimizar el tiempo de extracción **(Jovanović et al., 2021).**

En el estudio de **DruBbżyńska et al. (2024)** se muestra la influencia de diferentes tiempos de extracción, obteniendo que los valores más elevados de polifenoles se alcanzaron en 60 min, mientras que las concentraciones menores se obtuvieron en un tiempo de 20 min. Adicionalmente, **Zargar et al. (2017)** mencionan que el aumento en la obtención del contenido polifenólico corresponde a la capacidad de liberación de polifenoles hasta llegar al punto de ebullición, mientras que la disminución del contenido polifenólico puede ser atribuido a la aplicación de temperaturas elevadas, lo que desencadena la degradación de estos compuestos. También puede deberse a que las sustancias fenólicas presentan una diferente solubilidad ocasionando que estos sean liberados de forma lenta durante el tiempo de extracción.

Por otro lado, la temperatura utilizada también influye en el proceso de extracción, puesto que, varios estudios han demostrado que a altas temperaturas los compuestos bioactivos se pueden degradar y alterar su estructura, mientras que las temperaturas bajas contribuyen a conservarlos y retarda el proceso de liberación **(Zakaria & Kamal, 2016).** En el caso de este trabajo experimental se utilizó una temperatura de 60 °C debido a que, comúnmente, en los procesos de extracción se ha determinado un mayor rendimiento de polifenoles al trabajar con un rango de temperatura de 50 °C a 70 °C **(Antony & Farid, 2022).** De igual manera, se ha corroborado que el hecho de utilizar temperaturas superiores a 80 °C el rendimiento polifenólico tiende a disminuir, demostrando así a sensibilidad al calor de estos compuestos ocasionando reacciones de oxidación en ciertos casos **(Juhaimi et al., 2018).**

3.1.2. Microencapsulación

En diferentes industrias farmacéuticas, cosméticas y de alimentos se ha aplicado la microencapsulación como un método para proteger compuestos sensibles incorporando una sustancia de interés (componente bioactivo) a un sistema de recubrimiento o material de pared (agente encapsulante) **(De Meneses Costa Ferreira et al., 2022**). Por lo tanto, la microencapsulación se ha convertido en una alternativa prometedora que permite brindar una protección a los compuestos bioactivos de interés como los polifenoles por medio del uso de una matriz polimérica **(Otálora et al., 2022).**

En la presente investigación, el proceso de microencapsulación se realizó mediante secado por aspersión utilizando como agente encapsulante la maltodextrina. Esta técnica permite transformar una suspensión fluida en partículas secas mediante la atomización **(Da Silva Júnior et al., 2023).** Se empleó una mezcla del extracto concentrado de polifenoles de *T. indica*, agua destilada y maltodextrina, además se establecieron las condiciones de operación necesarias en cuanto a las temperaturas de entrada y de salida que fueron de 150 °C y 80 °C respectivamente, obteniendo así las microesferas con el compuesto bioactivo de interés en su interior. **Mohammed et al. (2020)** mencionan que la temperatura del aire de entrada en este proceso, generalmente se encuentra en un rango de 150 a 200 °C produciendo una evaporación instantánea. Es importante considerar que las bajas temperaturas de entrada generan una baja tasa de evaporación lo que conlleva a la obtención de microesferas con características poco deseadas como baja fluidez, densidad elevada, alto contenido de humedad y aglomeraciones. Este hecho conduciría a la obtención de un bajo porcentaje de eficiencia, pues las partículas presentarían facilidad para adherirse a la pared interna de la cámara de secado. Por el contrario, temperaturas de entrada de aire demasiado elevadas ocasionan una vaporización extrema generando aberturas en las membranas provocando una liberación precoz de los compuestos y degradándolos **(Gharsallaoui et al., 2007).**

La eficiencia de la microencapsulación es un aspecto importante a considerar, puesto que, evalúa la cantidad de material que ha sido encapsulado de manera correcta y se encuentra dentro de las microesferas, en comparación con la cantidad total de material utilizado al inicio del proceso. Existen varios factores que influyen directamente en la eficiencia de la microencapsulación, entre ellos se destacan los parámetros del proceso de secado por aspersión donde se incluyen la temperatura de aire de entrada y salida, las condiciones de humedad, las propiedades que presenta la emulsión de alimentación que debe permanecer estable todo el tiempo del procesamiento y las características de los materiales de pared y del núcleo **(Mohammed et al., 2020).**

Una vez obtenido el microencapsulado, es posible evaluar la eficiencia de la microencapsulación a través de varias técnicas, una de ellas es la Espectroscopía Infrarroja por la Transformada de Fourier

(FT-IR) que se implementa comúnmente en este tipo de procesos. Pues que, es un método donde se emplea la Transformada de Fourier para la obtención de espectros, los cuales corresponden a una representación gráfica que se genera al registrar la cantidad de luz absorbida por una muestra en un rango de frecuencias. Este espectro se considera único de cada muestra, por lo que es posible identificarlo y caracterizarlo **(Fadlelmoula et al., 2022).** Además, FT-IR proporciona información acerca de la estructura molecular o enlaces químicos que conforman la muestra analizada por medio de la determinación de la absorbancia vibratoria de los grupos funcionales **(Shi et al., 2010).**

La técnica de Espectroscopía Infrarroja por la Transformada de Fourier (FT-IR) ha sido ampliamente utilizada por la comunidad científica, pues se ha convertido en una alternativa a otros métodos tradicionales de mayor complejidad como la cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) que requiere de una preparación más extensa de la muestra y un mayor tiempo de para analizarla, mientras que FT-IR presenta facilidad para evaluar muestras tanto líquidas como sólidas, siendo una técnica rápida que requiere de una mínima cantidad de muestra y tiempo para su evaluación **(Popa et al., 2021).** Es por esta razón, que en la presente investigación experimental se realizó un análisis de espectroscopía infrarroja utilizando un Espectroscopio Infrarrojo (FTIR) Perkin Elmer para determinar de forma cualitativa la eficiencia de la microencapsulación. De tal manera, se evaluó el extracto concentrado con polifenoles de *T. indica* y la matriz polimérica empleada. Este análisis permitió comparar las bandas de los espectros y las frecuencias obtenidas en cada caso. En la Figura 5 se visualiza el espectro con las longitudes de onda obtenidas para el extracto concentrado con polifenoles, de esta forma se identificaron los grupos funcionales presentes y sus tipos de enlaces.

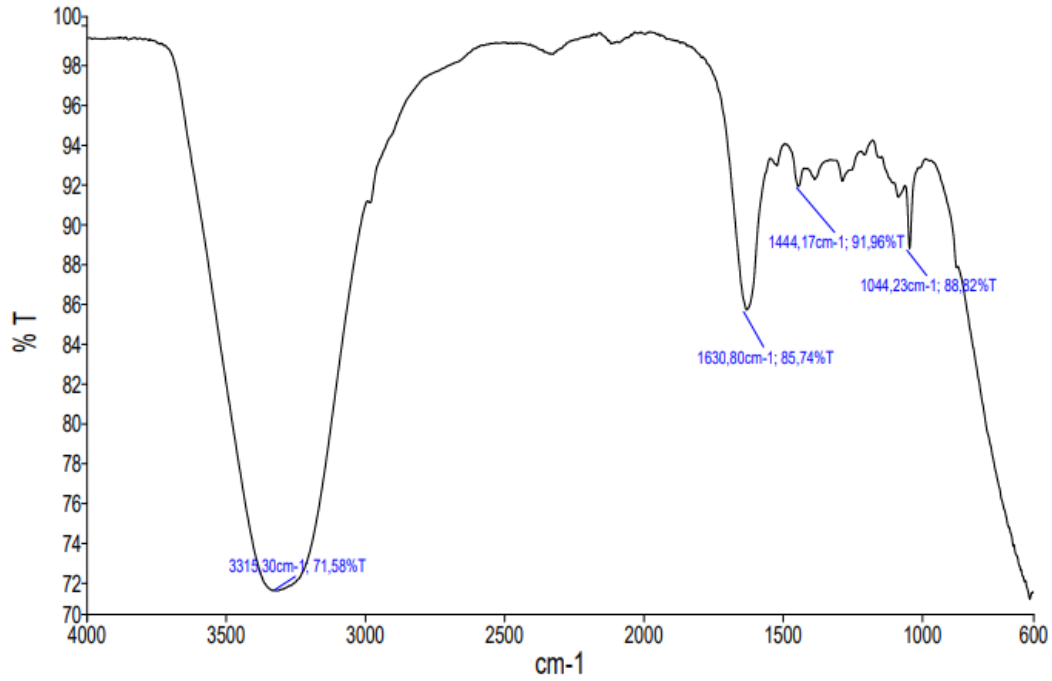


Figura 5. Espectroscopía infrarroja del extracto concentrado con polifenoles de los residuos de *T. indica.*

La banda presentada en uno de los picos adquirió un valor de frecuencia de 3315,30 cm^{-1}, esta se asocia con la vibración de estiramiento correspondiente al grupo hidroxilo (O–H) debido a que se halla dentro del rango de 3600 – 3200 cm^{-1}. Por otro lado, una de sus bandas obtuvo un valor de longitud de onda de 1630,80 cm^{-1}, que se encuentra en el rango de 1800 – 1600 cm^{-1}, por lo tanto, se puede relacionar con la presencia del grupo aromático (C=C), teniendo en cuenta el estiramiento de estas bandas, se es posible asociarlo principalmente con la presencia de compuestos fenólicos **(Santos et al., 2019).** Estos valores fueron comparados con otra investigación donde se realizó la evaluación de compuestos fenólicos en polvo de moringa por medio del FT-IR obteniendo picos alrededor de 3427 y 3317 cm^{-1} que se relaciona la presencia del grupo funcional hidroxilo (O–H) y de 1613 cm^{-1} correspondiente al estiramiento (C=C), lo que confirma la presencia de compuestos fenólicos en las muestras analizadas, debido a que se encuentran dentro de los rangos establecidos **(Joshi et al., 2021).**

Asimismo, se obtuvo el espectro del FT-IR correspondiente al microencapsulado con polifenoles de los residuos de *T. indica* que se observa en la Figura 6.

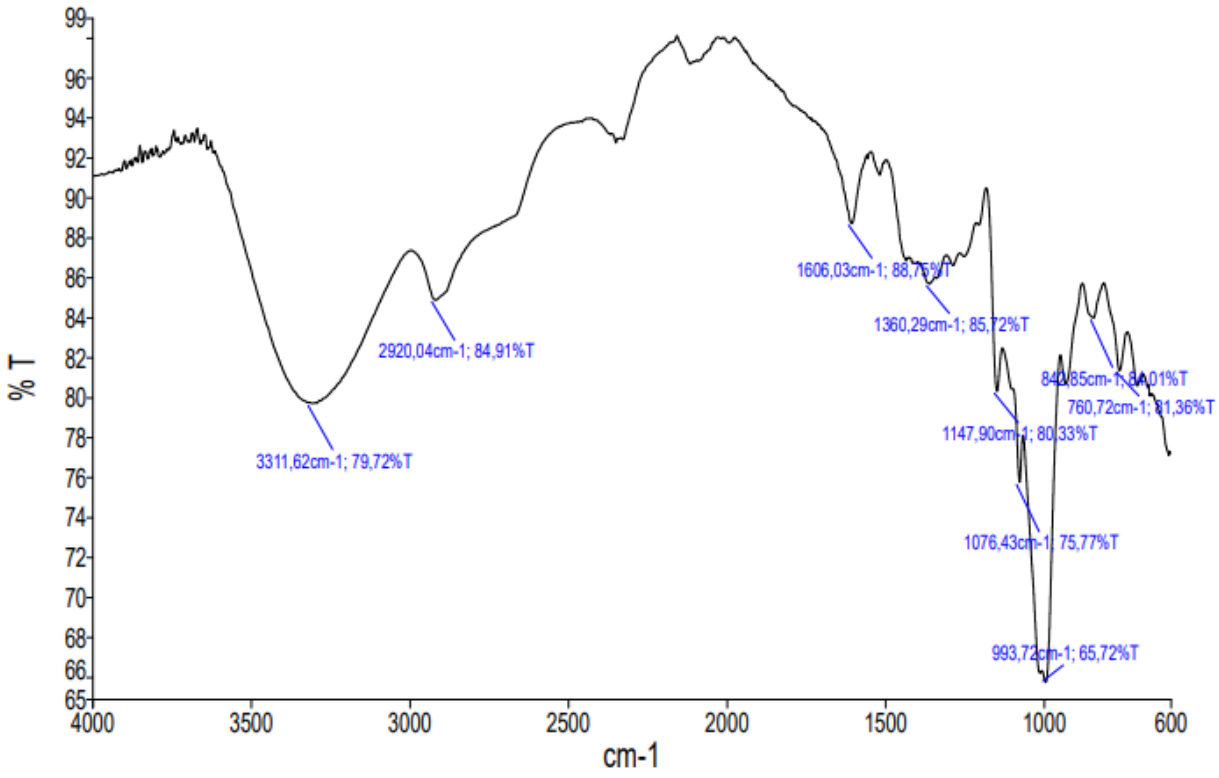


Figura 6. Espectroscopía infrarroja del microencapsulado con polifenoles de los residuos de *T. indica.*

Al realizar una comparación del espectro correspondiente al microencapsulado con el extracto concentrado sin microencapsular de la Figura 5, se determinó que tanto el extracto líquido como el microencapsulado mostraron bandas relacionadas con la presencia de polifenoles. Esto se reflejó en los picos que alcanzaron una longitud de onda alrededor de 1600 cm^{-1} lo que se debe a la vibración del grupo funcional C=C producido por el estiramiento del anillo aromático fenólico **(Escobar-Avello et al., 2021).**

En la Figura 7, presentada a continuación, se detallan las longitudes de onda que corresponden al espectro obtenido para la matriz polimérica empleada.

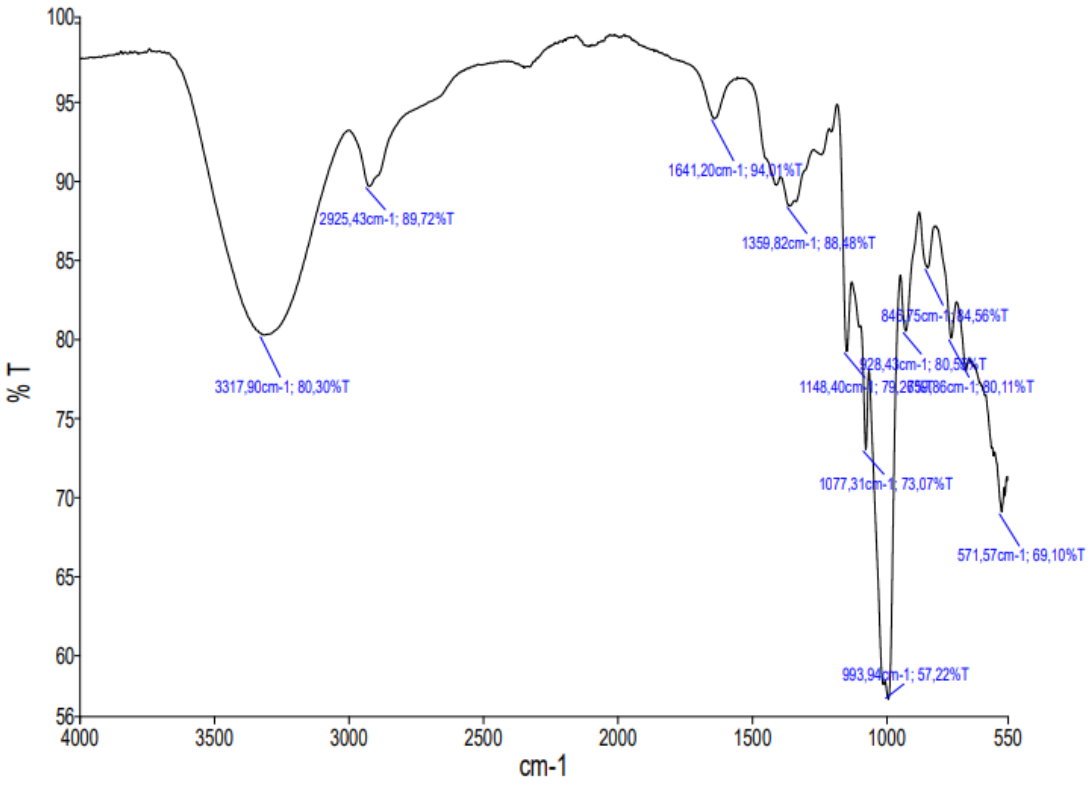


Figura 7. Espectroscopía infrarroja de la matriz polimérica (maltodextrina).

Con respecto al gráfico del espectro del polímero que se observa en la Figura 7, se obtuvieron valores de frecuencias característicos de 3317,90 cm^{-1} (estiramiento del grupo hidroxilo O–H), 2925,43 cm^{-1} (estiramiento del grupo carboxilo C-H) y 1641,20 cm^{-1} (estiramiento del grupo carbonilo C=O). Estos valores se compararon con los resultados obtenidos por **Tatasciore et al. (2024),** donde se determinaron picos con frecuencias de 3320 cm^{-1}, 2925 cm^{-1} y 1644 cm^{-1}, respectivamente. Estos resultados son muy similares a los obtenidos en la presente investigación.

La eficiencia cualitativa del proceso de microencapsulación se determinó mediante la comparación de los espectros obtenidos. Mediante este análisis se obtuvo que el espectro correspondiente al microencapsulado de la Figura 6 se encuentra más cercano y similar al del polímero empleado en la Figura 7, a diferencia del extracto concentrado, con el cual se identifica una diferencia entre bandas. Esto se produjo debido a que los compuestos bioactivos han sido recubiertos con el polímero durante el proceso de microencapsulación.

Por lo tanto, al comparar de mejor manera en la Figura 8, donde se presentan las bandas obtenidas para el extracto concentrado, la maltodextrina y el microencapsulado es posible observar que existen picos similares en el caso de la matriz polimérica y del microencapsulado, lo que demuestra de microencapsulación se ha llevado a acabo de forma correcta. De igual manera, las semejanzas entre estos espectros son producidas por los compuestos polifenólicos residuales que se hallan en la superficie de las microesferas **(López Hernández et al., 2022).**

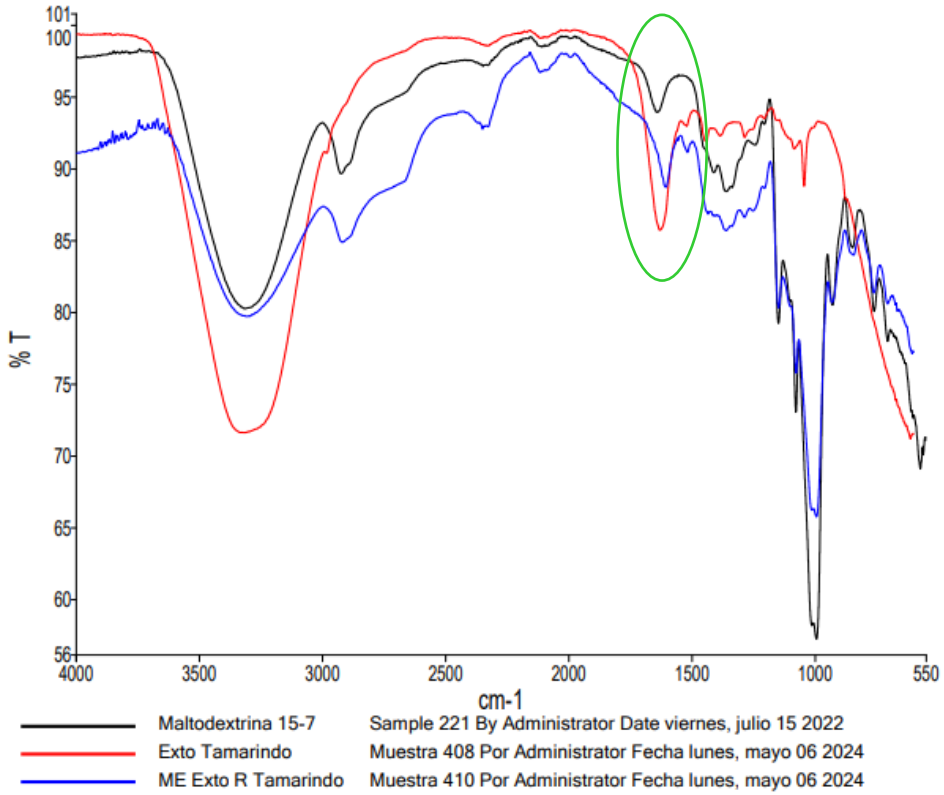


Figura 8. Espectroscopía infrarroja de la comparación del extracto concentrado con polifenoles de los residuos de *T. indica* (rojo), el microencapsulado (azul) y la matriz polimérica (negro).

La eficiencia de la microencapsulación también se determinó de forma cuantitativa a través del método de Folin-Ciocalteu, obteniendo los valores presentados en la Tabla 12 donde se observan los resultados del contenido de polifenoles en el microencapsulado disuelto con agua y con etanol.

Tabla 12.

Eficiencia de la microencapsulación.

Muestra	Concentraciones (mg GAE/ L)	Eficiencia (%)
Microencapsulado + agua	92.496 ± 0.824	87.066 ± 0,699
Microencapsulado + etanol	11.966 ± 0.715	

Como resultado de la eficiencia de la microencapsulación, se aprecia en la Tabla 12 que la concentración de polifenoles en el microencapsulado con agua fue de 92,496 ± 0,824 mg GAE/ L, mientras que, para el microencapsulado con etanol el valor determinado fue de 11,966 ± 0,715 mg GAE/ L. La diferencia entre estos valores radica en que el polímero utilizado, es decir, la maltodextrina, es soluble en agua permitiendo que se liberen los compuestos polifenólicos, obteniendo así un valor mayor, mientras que, tiene una mínima capacidad para disolverse en etanol, recubriendo la pared de las microesferas **(Alpizar-Reyes et al., 2022).** De esta manera fue posible determinar de forma cuantitativa la eficiencia de la microencapsulación.

El porcentaje de eficiencia de la microencapsulación determinado fue del 87,066 ± 0,699 % empleando como agente encapsulante la maltodextrina, el cual es un valor que se encuentra dentro del rango establecido para la eficiencia de la microencapsulación que va del 70 al 90 % **(Tolun et al., 2016).** En la investigación de **Mohammed et al. (2020)** se destacan los beneficios de la maltodextrina como un material de pared, debido a que mejora la estabilidad del encapsulado, proporciona una barrera fuerte evitando la oxidación de los componentes bioactivos y previene su degradación por la acción de factores externos como la humedad.

Previamente se han desarrollado diferentes metodologías para la microencapsulación de polifenoles del tamarindo. De acuerdo con la investigación de **Alpizar-Reyes et al. (2022)** se realizó el proceso de microencapsulación mediante secado por aspersión utilizando el mucílago de la semilla de tamarindo y aceite de sésamo, utilizando como encapsulante maltodextrina, obteniendo una eficiencia del 81,22 %. Por otro lado, en el estudio de **Bhusari et al. (2014)** se empleó la pulpa del tamarindo y se realizaron diferentes ensayos utilizando como materiales de revestimiento maltodextrina, goma arábiga y

concentrado de proteína de suero a diferentes concentraciones, lo que proporción como resultado una eficiencia que osciló entre 68,08 % y 79,63 %. Por otro lado, se obtuvo un valor similar en la eficiencia de la microencapsulación de polifenoles de *Vaccinium*, de igual manera se usó maltodextrina como agente encapsulante y los porcentajes de eficiencia se encontraron entre 79 % y 81 % **(Ștefănescu et al., 2022).**

3.1.3. Evaluación de la capacidad antioxidante

Se considera que los compuestos polifenólicos presentan una fuerte capacidad antioxidante debido a que permiten neutralizar los radicales libres mediante la donación de un electrón o de un átomo de hidrógeno **(Yang et al., 2020).** Los antioxidantes pueden eliminar los radicales libres como el DPPH mediante tres diferentes mecanismos: el primero se refiere a la transferencia de átomos de hidrógeno en un solo paso (HAT) donde se dona un átomo de hidrógeno por parte del antioxidante al radical libre; el segundo consiste en transferir un solo electrón seguido de la transferencia de protones (SET-PT) y el tercero consiste en la trasferencia de forma secuencial de electrones con pérdida de protones **(Craft et al., 2012).**

Los polifenoles actúan suprimiendo la producción de radicales libres, lo cual se logra al inhibir la formación o desactivar las especies reactivas de oxígeno y precursores de los radicales libres, disminuyendo así el margen de oxidación **(Tsao, 2010).** Cabe destacar que la capacidad antioxidante de los polifenoles es conferida por las estructuras moleculares que posee, dependiendo del número y la posición de los grupos hidroxilo, así como la naturaleza de las sustituciones de los anillos aromáticos. El sistema altamente conjugado y algunos patrones de hidroxilación, como el grupo denominado 3-hidroxi que se encuentra en ciertos polifenoles, son considerados relevantes en la actividad antioxidante. Generalmente, intervienen captando los radicales directos provenientes de las reacciones en cadena de peroxidación lipídica. Los rompedores de cadenas donan un electrón al radical libre, consiguiendo neutralizar los radicales y transformándose ellos mismos en radicales estables, es decir, menos reactivos, lo que permite detener las reacciones en cadena **(Yamauchi et al., 2024).**

En la presente investigación se realizó el análisis de la capacidad antioxidante *in vitro* mediante el método de DPPH, tanto para el extracto concentrado con polifenoles de tamarindo como para el microencapsulado. En la Tabla 13 se detallan los resultados obtenidos expresados como porcentaje de inhibición del radical DPPH.

Tabla 13.

Resultados obtenidos en la evaluación de la capacidad antioxidante *in vitro.*

Muestra	% de Inhibición	Concentración (µmol Equivalente Trolox/L)
Extracto	80,085 ± 0,262	472,671 ± 1,707
Microencapsulado	48,916 ± 0,880	269,484 ± 5,735

Nota: En esta tabla se muestran los porcentajes de inhibición utilizando el método de DPPH, para el extracto y el microencapsulado de tamarindo.

En la Tabla 13 se aprecia que el porcentaje correspondiente al microencapsulado de *T. indica* es de 48,916 ± 0,880 % equivalente a 269,484 ± 5,735 µmol Trolox/L, el cual es menor al porcentaje obtenido del extracto. Sin embargo, se debe considerar que el porcentaje de carga de polifenoles utilizado para la microencapsulación fue del 20 %, lo que indica que está demostrando mayor actividad en comparación con el extracto. Estableciendo una relación con el porcentaje obtenido del extracto concentrado, se esperaba que el microencapsulado presentara un valor de 16,01 % de inhibición del radical, sin embargo, el valor obtenido fue de 48,916 ± 0,880 %, es decir, que el proceso de microencapsulación incrementó la actividad antioxidante esperada. Es importante mencionar que la microencapsulación de compuestos polifenólicos se considera como una mejor opción a largo plazo, pues permite conservar estos compuestos bioactivos, generando una mayor estabilidad y ayudando a conservar su calidad funcional. Además, contribuye a incrementar la vida útil de los compuestos microencapsulados en condiciones adecuadas de almacenamiento **(Bellucci et al., 2022).**

El porcentaje de inhibición obtenido para el extracto concentrado fue de 80,085 ± 0,262 % equivalente a 472,671 ± 1,707 µmol Trolox/L, es posible comparar este resultado con la investigación realizada por **Bayoï et al. (2021)**, en la cual se evaluaron diferentes extractos de hoja de tamarindo, obteniendo un porcentaje de inhibición del radical DPPH de 41,4 ± 0,01%. En este caso, el porcentaje de inhibición es menor al porcentaje obtenido en el presente estudio, este hecho puede ser atribuido a las condiciones empleadas para la extracción. De tal manera que, al realizar el método de DPPH se identificó el cambio de coloración morada a amarilla, producido por los compuestos polifenólicos que se hayan en el tamarindo, los cuales actúan como agentes reductores de este radical, proporcionando electrones que lo neutralizan **(Munteanu & Apetrei, 2021).**

El agente encapsulante utilizado para la microencapsulación es un factor relevante que influye en la actividad antioxidante, debido a que les permite estabilizar los compuestos bioactivos, reduciendo la susceptibilidad a reacciones de oxidación que podrían desencadenar la reducción de la capacidad

antioxidante **(Hussain et al., 2018).** En el análisis de **De Meneses Costa Ferreira et al. (2022**) se microencapsularon extractos con compuestos fenólicos del coproducto de almendras de tucuma (*Astrocaryum vulgare* Mart) mediante secado por aspersión, utilizando maltodextrina, donde se obtuvo como resultado un porcentaje de inhibición del 40,14 ± 0,31 % para el extracto crudo y 61,87 ± 1,25 % en el microencapsulado, concluyendo así que la maltodextrina como agente encapsulante brindó protección a los compuestos fenólicos propensos a degradarse y mantuvo la actividad biológica. Mientras mayor sea la proporción del grupo hidroxilo en la muestra analizada con la capacidad de donar hidrógeno, su capacidad antioxidante será mayor. En este sentido, es importante mencionar que una proporción adecuada del agente encapsulante permite minimizar el contenido de polifenoles presentes en la superficie de las microesferas, aumentando la estabilidad de estas **(Medfai et al., 2023).**

3.1.4. Evaluación de la capacidad antiinflamatoria

La actividad antiinflamatoria *in vitro* se determinó por medio del ensayo de inhibición de la desnaturalización de proteínas que presentan tanto el microencapsulado como el extracto concentrado de tamarindo, utilizando como control, el diclofenaco sódico que es un fármaco antinflamatorio estandarizado. Este análisis se realizó empleando albúmina de huevo y también albúmina de suero bovino (BSA). En las Tabla 14 y Tabla 15 se aprecian los resultados obtenidos para este método, expresados como porcentaje de inhibición de la desnaturalización de albúmina de huevo y de albúmina se suero bovino.

Tabla 14.

Actividad antiinflamatoria empleando albúmina de huevo.

Concentración	**% de Inhibición**		
(µg/mL)	**Diclofenaco sódico**	**Extracto**	**Microencapsulado**
1000	96,889 ^{a} ± 1,03	68,723^{a} ± 1,11	56,355^{a} ± 0,49
500	72,928 ^{b} ± 0,64	39,326^{b} ± 1,54	30,491^{b} ± 0,84
200	52,173^{c} ± 1,46	27,553^{c} ± 1,87	19,304^{c} ± 0,95
100	32,408^{d} ± 0,72	15,891^{d} ± 1,48	11,458^{d} ± 0,44

Nota: Se presentan los resultados del extracto concentrado y microencapsulado de los residuos de *T. indica*, así como del fármaco estándar. Los valores reportados corresponden a los promedios ± la desviación estándar, $^{a, b, c, d}$ Valores con letras diferentes presentan diferencias estadísticamente significativas entre las diferentes concentraciones empleadas sobre la actividad antiinflamatoria, trabajando a un nivel de confianza del 95 % ($p < 0,05$).

Tabla 15.

Actividad antiinflamatoria utilizando albúmina de suero bovino (BSA).

Concentración (µg/mL)	% de Inhibición		
	Diclofenaco sódico	**Extracto**	**Microencapsulado**
1000	$92{,}114^{a}$ ± 0,75	$63{,}672^{a}$ ± 0,31	$51{,}616^{a}$ ± 0,93
500	$69{,}233^{b}$ ± 1,31	$36{,}272^{b}$ ± 0,25	$23{,}638^{b}$ ± 0,72
200	$47{,}195^{c}$ ± 0,57	$23{,}345^{c}$ ± 0,27	$16{,}145^{c}$ ± 0,76
100	$28{,}307^{d}$ ± 0,48	$11{,}708^{d}$ ± 0,52	$6{,}354^{d}$ ± 0,56

Nota: Se presentan los resultados del extracto concentrado y microencapsulado de los residuos de *T. indica*, así como del fármaco estándar. Los valores reportados corresponden a los promedios ± la desviación estándar. [a, b, c, d] Valores con letras diferentes presentan diferencias estadísticamente significativas entre las diferentes concentraciones empleadas sobre la actividad antiinflamatoria, trabajando a un nivel de confianza del 95 % ($p < 0{,}05$).

Por medio de la metodología aplicada para ambos casos se determinó la capacidad que presentan el extracto y el microencapsulado provenientes de los residuos del tamarindo para inhibir la desnaturalización de los dos tipos de proteínas utilizando temperaturas elevadas que simulan condiciones de estrés. De acuerdo con los resultados obtenidos en la Tabla 14 y Tabla 15 se observó que existe una actividad antiinflamatoria para cada una de las concentraciones analizadas (100, 200, 500 y 1000 µg/ml). Los resultados evidencian que el diclofenaco alcanzó el porcentaje mayor en comparación con el extracto y el microencapsulado, debido a que se trata de un antiinflamatorio no esteroideo (AINE) que ha sido ampliamente utilizado y su mecanismo de acción se encuentra bien establecido, por lo tanto, fue posible comparar la eficacia de los polifenoles de los residuos de *T. indica* empleando este estándar de referencia como control positivo **(Ahmed et al., 2020).**

Los porcentajes máximos de inhibición de la desnaturalización para la albúmina de huevo (Tabla 14) fueron obtenidos a una concentración de 1000 µg/ml, para el extracto concentrado el valor fue de 68,723 ± 1,11 % y para el microencapsulado fue de 56,355 ± 0,49 %, mientras que el diclofenaco sódico presentó un porcentaje más elevado de 96,889 ± 1,03 %. De igual manera, en el caso de la desnaturalización de la albúmina de suero bovino (Tabla 15), los porcentajes de inhibición más altos se obtuvieron a la concentración de 1000 µg/ml, para el extracto concentrado la inhibición fue de 63,672 ± 0,31%, para el microencapsulado fue de 51,616 ± 0,93 % y para el diclofenaco sódico fue de 92,114 ± 0,75 %. Al analizar estos datos, es posible apreciar que el porcentaje de inhibición es directamente proporcional a la concentración utilizada, puesto que, al aumentar la concentración, aumenta el porcentaje. Es preciso mencionar que la diferencia obtenida entre los porcentajes de inhibición de la proteína, entre el extracto y el microencapsulado, se debe a que se ha utilizado un 20 %

de carga de polifenoles, lo que sugiere que el microencapsulado presenta una actividad antiinflamatoria mayor en contraste con el extracto. Con base en lo expuesto anteriormente, estos valores indican que tanto el extracto concentrado con polifenoles procedentes de los residuos del tamarindo como el microencapsulado presentan capacidad antinflamatoria, destacando la técnica de microencapsulación, pues resulta efectiva a largo plazo, favorece la biodisponibilidad y la conservación de los compuestos bioactivos **(Lescano et al., 2015).**

La desnaturalización de las proteínas de la albúmina de huevo y de la albúmina de suero bovino es un proceso en el cual la estructura tridimensional sufre una alteración debido a la acción de factores externos como temperaturas altas, cambios en el pH o la adición de agentes químicos como una base o ácido fuerte, ocasionando la ruptura de los enlaces débiles que mantienen estas estructuras **(Kumarasinghe et al., 2018).** Al inducir un cambio elevado de temperatura en las muestras, se produjo la ruptura de los enlaces no covalentes correspondientes a los puentes de hidrógeno e interacciones hidrofóbicas. A su vez, este hecho ocasiona que se vea afectada la estructura inicial de la proteína convirtiéndola en insoluble, lo cual se evidenció en la coagulación de la proteína **(Madhuranga & Samarakoon, 2023).**

La capacidad antiinflamatoria de *T. indica* puede ser atribuida a los polifenoles como los flavonoides y taninos. Los flavonoides identificados incluyen catequinas, luteolina y procianidinas. Estos compuestos son capaces de disminuir las reacciones inflamatorias, puesto que, inhiben la enzima 5-lipoxigenasa, la cual es fundamental para suprimir la biosíntesis de leucotrienos que amplifican y prologan la respuesta inflamatoria **(Komakech et al., 2019).** De igual manera, los taninos han demostrado una potente capacidad para inhibir la producción o la acción de mediadores proinflamatorios, mediante la supresión de vías de señalización y proteínas quinasas activadas por mitógenos **(Park et al., 2013).**

En este trabajo de investigación se aplicaron dos métodos para determinar la capacidad antiinflamatoria con la finalidad de obtener resultados más robustos, pues la ovoalbúmina proveniente de la albúmina de huevo puede presentar una estructura inicial con mayor susceptibilidad a sufrir desnaturalización más fácilmente en determinadas condiciones, lo que podría desencadenar en la obtención de un porcentaje mayor de inhibición **(Chaiya et al., 2022).** Esto se ve reflejado en los resultados obtenidos, pues estos varían entre un 3 % a 7 % más con respecto a los obtenidos por la desnaturalización de la albúmina de suero bovino. Mientras que, la BSA al ser un reactivo estandarizado, posee una estructura bien definida y caracterizada, además, sus funciones son ampliamente conocidas, lo que permite que los resultados obtenidos puedan ser reproducibles y comparables. Sin embargo, gracias a su gran

estabilidad podría requerir condiciones más severas que puedan provocar su desnaturalización **(Belahcene et al., 2023).**

Es importante destacar que la actividad antiinflamatoria también se encuentra relacionada de manera directa con la actividad antioxidante, pues el estrés oxidativo es capaz de producir respuestas inflamatorias. Se ha demostrado que los polifenoles pueden disminuir la inflamación, debido a que tienen la capacidad de neutralizar las especies reactivas de oxígeno y los radicales libres debido a la actividad antioxidante que presentan **(Goryanin et al., 2022).** Este hecho se comprobó en la presente investigación donde se determinó que tanto el extracto concentrado como el microencapsulado presentan una mayor capacidad antioxidante lo que y se evidenció el potencial antiinflamatorio en cada una de las concentraciones evaluadas. Por otro lado, en el estudio desarrollado por **Aly et al., (2022),** se analizó la actividad antiinflamatoria de diferentes partes de la planta de *T. indica* como corteza, hojas, semillas y frutos, obteniendo un porcentaje de inhibición de 53,97 ± 5,89 %, el cual es un valor similar al obtenido en la presente investigación. Este resultado refuerza la premisa de que los residuos provenientes de diferentes partes del tamarindo pueden ser aprovechados en beneficio de la salud humana en lugar de ser descartados.

3.2. Verificación de Hipótesis

Ho ≠ 0 Se rechaza la hipótesis nula.

Ha = 0 Se acepta la hipótesis alternativa y se concluye que el extracto y microencapsulado con compuestos polifenólicos procedentes de los residuos de tamarindo presentan actividad antioxidante y antiinflamatoria.

CAPÍTULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- El extracto concentrado con compuestos polifenólicos y el microencapsulado obtenidos a partir de los residuos de *T. indica* muestran porcentajes significativos en cuanto a su actividad antioxidante y antinflamatoria. Los valores de inhibición obtenidos fueron ligeramente superiores en comparación con estudios similares. La microencapsulación demostró ser eficiente, preservando los compuestos bioactivos de interés, y aumentando la actividad antioxidante y antiinflamatoria, de tal manera, esta técnica presenta un gran potencial para ser aplicada en el desarrollo de productos en las industrias farmacéutica y alimentaria, ofreciendo una alternativa valiosa para el aprovechamiento de desechos agroindustriales.
- Se evaluó la influencia de las variables independientes, tanto la concentración del disolvente como el tiempo de extracción sobre la variable de respuesta correspondiente al contenido total de polifenoles, obteniendo que ambos factores presentan un nivel elevado de significancia y, por lo tanto, son determinantes en el proceso de extracción de estos compuestos. Las condiciones óptimas para la extracción se establecieron en un tiempo de 80 minutos y una concentración del disolvente del 53 %. La eficiencia de la microencapsulación se demostró cualitativa y cuantitativamente a través de FT-IR, identificando los espectros de las bandas para el extracto, el microencapsulado y la matriz polimérica, presentando una eficiencia de la microencapsulación de 87,066 ± 0,699 %.
- El extracto concentrado con polifenoles y el microencapsulado demostraron un significativo porcentaje de inhibición del radical DPPH, indicando un amplio potencial antioxidante. El uso de la maltodextrina como agente encapsulante durante el proceso de microencapsulación aumentó la actividad antioxidante. Es importante destacar que la microencapsulación representa una alternativa viable a largo plazo para conservar la actividad biológica y estabilidad de los compuestos bioactivos.
- Se determinó la actividad antiinflamatoria del extracto concentrado y del microencapsulado de *T. indica* mediante su capacidad para inhibir la desnaturalización de la albúmina de huevo y la albúmina de suero bovino (BSA), utilizando diclofenaco sódico como control. El extracto mostró un porcentaje de inhibición de la desnaturalización de albúmina de huevo del 68,72 % y el microencapsulado del 56,35 % a una concentración de 1000 µg/mL. En el caso de la BSA, los porcentajes de inhibición fueron del 63,67 % para el extracto y del 51,61 % para el microencapsulado. La comparación entre estos dos métodos proporcionó resultados más robustos, demostrando la eficacia antiinflamatoria tanto del extracto como del microencapsulado.

4.2. Recomendaciones

- Comparar la influencia de factores como la relación del material vegetal y el tipo de disolvente utilizado en el proceso de extracción de polifenoles.
- Evaluar la actividad antioxidante por medio de técnicas como ABTS y FRAP que permitan establecer si existen diferencias con los porcentajes de inhibición obtenidos.
- Realizar el proceso de microencapsulado utilizando diferentes agentes encapsulantes, tanto naturales como sintéticos, para analizar como influyen en la eficiencia del proceso.
- Analizar la capacidad antiinflamatoria del extracto y del microencapsulado mediante el uso de ensayos *in vivo* que contribuyan con la obtención de resultados robustos y de relevancia para el desarrollo de productos con posibles aplicaciones terapéuticas.
- Establecer el tiempo de vida útil y la estabilidad del microencapsulado con la finalidad de garantizar la conservación de sus propiedades y características durante su almacenamiento.

MATERIALES DE REFERENCIA

Referencias Bibliográficas

Abdalbasit, A. (2019). *Wild Fruits: Composition, Nutritional Value and Products.* Springer International Publishing.

Abuajah, C., Ogbonna, A. & Osuji, C. (2015). Componentes funcionales y propiedades medicinales de los alimentos: una revisión. *J Tecnología de ciencia alimentaria. 52*: 2522–2529. https://doi.org/10.1007%2Fs13197-014-1396-5

Adekola, M., Areolab, J., Fagbohun, O., Asaolu, F., Ogundepo, G., Fajobi, A. & Babalola, O. (2022). Actividades antioxidantes y antiinflamatorias *in vitro* del extracto etanólico de corteza de tallo de Blighia sapida KD Koenig. *Revista de análisis farmacéutico, 12*(2), 350-354. https://doi.org/10.1016/j.jpha.2021.04.002

Ahmed, T., Archie, R., Faruk, A., Chowdhury, F. A., Shoyaib, A., & Ahsan, R. (2020). Evaluation of the Anti-Inflammatory Activities of Diclofenac Sodium, Prednisolone and Atorvastatin in Combination with Ascorbic Acid. *Anti-inflammatory And Anti-allergy Agents In Medicinal Chemistry, 19*(3), 291-301. https://doi.org/10.2174/1871523018666190514112048

Alara, O., Abdurahman, N. & Olalerem O. (2020). Ethanolic extraction of flavonoids, phenolics and antioxidants from *Vernonia amygdalina* leaf using two-level factorial design. *Journal of King Saud University – Science, 32,* 7-16- https://doi.org/10.1016/j.jksus.2017.08.001

Alpizar-Reyes, E., Cortés-Camargo, S., Román-Guerrero, A., & Pérez-Alonso, C. (2022). Tamarind gum as a wall material in the microencapsulation of drugs and natural products. *Elsevier eBooks*. 347-382. https://doi.org/10.1016/b978-0-323-90986-0.00016-9

Amararathna, D., Weerakkody, W., Madhujith, T., & Eeswara, J. (2015). Agro-ecological region based variations in the antioxidant activity of tamarind (*Tamarindus indicaL.*) fruit pulp. *Acta Horticulturae, 1106,* 67-72. https://doi.org/10.17660/actahortic.2015.1106.11

Antony, A., & Farid, M. (2022). Effect of Temperatures on Polyphenols during Extraction. *Applied Sciences, 12(*4), 2107. https://doi.org/10.3390/app12042107

Azad, M. S. (2018). Tamarindo – *Tamarindus indica*. In S. Exotic Fruits reference guide. 403-412. http://refhub.elsevier.com/S1466-8564(20)30464-1/rf0045

Badria, A. (2021). *Phenolic Compounds: Classification, Chemistry, and Updated Techniques of Analysis and Synthesis.* IntechOpen. 10.5772/intechopen.98958

Baek, S., Park, T., Kang, M., & Park, D. (2020). Anti-Inflammatory Activity and ROS Regulation Effect of Sinapaldehyde in LPS-Stimulated RAW 264.7 Macrophages. *Molecules Annual, 25*(18), 4089. https://doi.org/10.3390/molecules25184089

Baltrusch, K., Torres, M., Domínguez, H. & Flórez-Hernández, N. (2022). Spray-drying microencapsulation of tea extracts using green starch, alginate or carrageenan as carrier

materials. *International Journal of Biological Macromolecules, 203,* 417-42. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.01.129

Bayoï, J. R., Foundikou, B. Y., & Etoa, F. (2021). In vitro bioactive properties of the tamarind (*Tamarindus indica*) leaf extracts and its application for preservation at room temperature of an indigenous roselle (*Hibiscus sabdariffa*)-based drink. *Journal Of Agriculture And Food Research, 6,* 100241. https://doi.org/10.1016/j.jafr.2021.100241

Belahcene, S., Kebsa, W., Omoboyowa, A., Alshihri, A., Alelyani, M., Bakkour, Y., & Leghouchi, E. (2023). Unveiling the Chemical Profiling Antioxidant and Anti-Inflammatory Activities of Algerian Myrtus communis L. Essential Oils, and Exploring Molecular Docking to Predict the Inhibitory Compounds against Cyclooxygenase-2. *Pharmaceuticals, 16*(10), 1343. https://doi.org/10.3390/ph16101343

Bellucci, E., Bis-Souza, V., Domínguez, R., Bermúdez, R., & Da Silva Barretto, C. (2022). Addition of Natural Extracts with Antioxidant Function to Preserve the Quality of Meat Products. *Biomolecules, 12*(10), 1506. https://doi.org/10.3390/biom12101506

Bhusari, S., Muzaffar, K., & Kumar, P. (2014). Effect of carrier agents on physical and microstructural properties of spray dried tamarind pulp powder. *Powder Technology, 266,* 354-364. https://doi.org/10.1016/j.powtec.2014.06.038

Bobo-García, G., Davidov-Pardo, G., Arroqui, C., Vírseda, P., Marín-Arroyo, R., & Navarro, M. (2015). Intra-laboratory validation of microplate methods for total phenolic content and antioxidant activity on polyphenolic extracts, and comparison with conventional spectrophotometric methods. *Journal of the Science of Food and Agriculture, 95*(1), 204–209. https://doi.org/10.1002/jsfa.6706

Bubalo, C., Vidović, S., Redovniković, R., & Jokić, S. (2018). New perspective in extraction of plant biologically active compounds by green solvents. *Food and Bioproducts Processing, 109,* 52–73. https://doi.org/10.1016/j.fbp.2018.03.001

Carciochi, A., Sologubik, A., Fernández, B., Manrique, D., & D'Alessandro, G. (2018). Extraction of Antioxidant Phenolic Compounds from Brewer's Spent Grain: Optimization and Kinetics Modeling. *Antioxidants, 7*(4), 45. https://doi.org/10.3390/antiox7040045

Cardoso, P., Darivab, C., Barroso, G. & Hense, H. (2016). Extracción y evaluación del potencial antioxidante de los extractos obtenidos de semillas de tamarindo (*Tamarindus indica),* variedad dulce. *Revista de ingeniería de alimentos, 173,* 116-123. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.11.001

Chaiya, P., Senarat, S., Phaechamud, T., & Narakornwit, W. (2022). *In vitro* anti-inflammatory activity using thermally inhibiting protein denaturation of egg albumin and antimicrobial activities of some organic solvents. *Materials Today: Proceedings,* 65, 2290-2295. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.04.916

Craft, D., Kerrihard, L., Amarowicz, R., & Pegg, B. (2012). Phenol-Based Antioxidants and the *In Vitro* Methods Used for Their Assessment. *Comprehensive Reviews In Food Science And Food Safety, 11*(2), 148-173. https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2011.00173.x

Cvetanovic, A., Uysal, S., Pavlic, B., Sinan, K., Llorent, E. & Zengin, G. (2020). *Tamarindus indica* L. Seed: Optimization of Maceration Extraction Recovery of Tannins, *Food Analytical Methods, 13*, 579–590. https://doi.org/10.1007/s12161-019-01672-8

Da Silva Júnior, M., Araújo, M., Martins, A, Lima, M, Da Silva, F., Converti, A., & Maciel, M. (2023). Microencapsulation by spray-drying and freeze-drying of extract of phenolic compounds obtained from ciriguela peel. *Scientific Reports, 13*(1). https://doi.org/10.1038/s41598-023-40390-4

De Caluwé, E., Halamová, K., & Van Damme, P. (2010). Tamarind (*Tamarindus indica* L.): A review of traditional uses, phytochemistry and pharmacology. *Afrika. Focus, 23*(1), 53–83. https://doi.org/10.1021/bk-2009-1021.ch005

De Meneses Costa Ferreira, L., Pereira, R., De Carvalho-Guimarães, F., Remígio, M., Barbosa, W., Ribeiro-Costa, R. M., & Silva-Júnior, J. (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

Diem, Q., Angkawijaya, A., Tran-Nguyen, P., Huynh, L. H., Soetaredjo, F., Ismadji, S., & Ju, Y. (2014). Effect of extraction solvent on total phenol content, total flavonoid content, and antioxidant activity of *Limnophila aromatica*. *Yàowù Shípǐn Fēnxī, 22*(3), 296-302. https://doi.org/10.1016/j.jfda.2013.11.001

Drummond, E. M., Harbourne, N., Marete, E., Martyn, D., Jacquier, J., O'Riordan, D., & Gibney, E. R. (2012). Inhibition of Proinflammatory Biomarkers in THP1 Macrophages by Polyphenols Derived From Chamomile, Meadowsweet and Willow bark. PTR. *Phytotherapy Research, 27*(4), 588-594. https://doi.org/10.1002/ptr.4753

Escobar-Avello, D., Avendaño-Godoy, J., Santos, J., Lozano-Castellón, J., Mardones, C., Von Baer, D., Luengo, J., Lamuela-Raventós, R. M., Vallverdú-Queralt, A., & Gómez-Gaete, C. (2021). Encapsulation of Phenolic Compounds from a Grape Cane Pilot-Plant Extract in Hydroxypropyl Beta-Cyclodextrin and Maltodextrin by Spray Drying. *Antioxidants, 10*(7), 1130. https://doi.org/10.3390/antiox10071130

Esquivel, B., Ochoa, L. & Rutiaga, O. (2015). Microencapsulación mediante secado por aspersión de compuestos bioactivos. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha, 16*(2), 180-192.

Fadlelmoula, A., Pinho, D., Carvalho, V., Catarino, S., & Minas, G. (2022). Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy to Analyse Human Blood over the Last 20 Years: A Review towards Lab-on-a-Chip Devices. *Micromachines, 13*(2), 187. https://doi.org/10.3390/mi13020187

FAO. (2022). *Tackling food loss and waste: A triple win opportunity*. https://www.fao.org/newsroom/detail/FAO-UNEP-agriculture-environment-food-loss-waste-day-2022/en

FAO. (2023). *Greenhouse gas emissions from pre- and post-agricultural production processes.* https://www.fao.org/3/cc5768en/cc5768en.pdf

Gaitonde, S. & Ramesh, R. (2018). Detección de productos vegetales para la inhibición de *Ralstonia solanacearum* y caracterización de compuestos antibacterianos en *Garcinia indica y Tamarindus indica*. *Proc. Nacional. Acad. Sci., India, sec. B Biol. Ciencia. 88* 265–276. https://doi.org/10.1007/s40011-016-0755-6

Ganesapillai, M., Venugopal, A. & Simha, P. (2017). Preliminary isolation, recovery and characterization of polyphenols from waste *Tamarindus indica L. Mater Hoy Proc, 4(*9), 10658-10661. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.06.438

Gaonkar, N., Vasisht, N., Khare, A. & Sobel, R. (2014). *Microencapsulation in the food industry : a practical implementation.* Elsevier Academic Press.

Garmus, T., Paviani, L., Queiroga, C., Magalhães, P., & Cabral, F. (2014). Extraction of phenolic compounds from pitanga (*Eugenia uniflora L.*) leaves by sequential extraction in fixed bed extractor using supercritical CO2, ethanol and water as solvents. *The Journal Of Supercritical Fluids, 86,* 4-14. https://doi.org/10.1016/j.supflu.2013.11.014

GBIF- Sistema Global de Información sobre Biodiversidad. (2024). *Tamarindus Indica L.* https://www.gbif.org/es/species/169053960

GBIF. (2023). *Tamarindus indica L.* GBIF Backbone Taxonomy. https://doi.org/10.15468/39omei

Gbur, E., Silva, T., De Matos, L. & Matos, R. (2023). Microencapsulación de extractos de compuestos bioactivos utilizando maltodextrina y goma arábiga mediante técnicas de pulverización y liofilización. *Revista internacional de macromoléculas biológicas, 253(*4), 126969. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.126969

Gharsallaoui, A., Roudaut, G., Cambin, O., Voilley, A. & Saurel, R. (2007). Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview. *Food Research International, 40*(9), 1107-1121-https://doi.org/10.1016/j.foodres.2007.07.004

Gonfa, Y., Tessema, F., Bachheti, A., Rai, N., Tadesse, M., Singab, A., Chaubey, K., & Bachheti, R. (2023). Anti-inflammatory activity of phytochemicals from medicinal plants and their nanoparticles: *A review. Current Research In Biotechnology, 6,* 100152. https://doi.org/10.1016/j.crbiot.2023.100152

Goryanin, I., Ovchinnikov, L., Vesnin, S., & Ivanov, Y. (2022). Monitoring Protein Denaturation of Egg White Using Passive Microwave Radiometry (MWR). *Diagnostics, 12*(6), 1498. https://doi.org/10.3390/diagnostics12061498

Gutiérrez, J. & Nollet, L. (2018). *Phenolic compounds in food : characterization and análisis.* CRC Press.

Ha, L., Van Ngoc, N., Huyen, N., Hang, L., Oanh, N., Tuyet, T., Phuong, N., & Hong, N. (2022). Total phenolic, flavonoid contents and antioxidant activity of tamarind seed and pulp extracts. *TạP Chí CôNg Nghê Sinh HọC, 20*(2), 305-316. https://doi.org/10.15625/1811-4989/15930

Haminiuk CW, Maciel GM, Plata-Oviedo MSV, & Peralta RM. (2012). Phenolic compounds in fruits-an overview. *Food Sci. Technol. Int. 47,* 2023-2044. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2012.03067.x

Hussain, A., Hameed, A., Nazir, Y., Naz, T., Wu, Y., Suleria, R., & Song, Y. (2018). Microencapsulation and the Characterization of Polyherbal Formulation (PHF) Rich in Natural Polyphenolic Compounds. *Nutrients, 10*(7), 843. https://doi.org/10.3390/nu10070843

iNaturalist (2024). Observaciones de grado de investigación de iNaturalist. iNaturalist.org. Conjunto de datos de ocurrencia https://doi.org/10.15468/ab3s5x accedido a través de GBIF.org

Joshi, R., Sathasivam, R., Park, U., Lee, H., Kim, S., Baek, I., & Cho, B. (2021). Application of Fourier Transform Infrared Spectroscopy and Multivariate Analysis Methods for the Non-Destructive Evaluation of Phenolics Compounds in Moringa Powder. *Agriculture, 12*(1), 10. https://doi.org/10.3390/agriculture12010010

Jovanović, A., Djordjević, V., Petrović, P., Pljevljakušić, D., Zdunić, G., Šavikin, K., & Bugarski, B. (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

Juhaimi, A., Özcan, M., Uslu, N., & Ghafoor, K. (2018). The effect of drying temperatures on antioxidant activity, phenolic compounds, fatty acid composition and tocopherol contents in citrus seed and oils. *Journal Of Food Science And Technology, 55*(1), 190-197. https://doi.org/10.1007/s13197-017-2895-y

Kandemir, K., Piskin, E., Xiao, J., Tomas, M. & Capanoglu, E. (2022). Fruit Juice Industry Wastes as a Source of Bioactives. *Agric. Food Chem. 70*(23), 6805–6832. https://doi.org/10.1021/acs.jafc.2c00756

Kao, E., Hsu, J., Wang, C., Yang, S., Cheng, S., & Lee, H. (2009). Polyphenols Extracted fromHibiscus sabdariffaL. Inhibited Lipopolysaccharide-Induced Inflammation by Improving Antioxidative Conditions and RegulatingCyclooxygenase-2 Expression. *Bioscience, Biotechnology, And Biochemistry, 73(*2), 385-390. https://doi.org/10.1271/bbb.80639

Kaur, M., Rana, A. C., Kumar, S., Kumari, B., Kumar, D., & Jangra, A. (2023). Anti-fertility and abortifacient activity of hydroalcoholic fruit pulp extract of *Tamarindus indica*. Phytomedicine Plus, 3(4). https://doi.org/10.1016/j.phyplu.2023.100507

Komakech, R.,Kim, Y., Motlalepula., G. & Kang., Y. (2019). Anti-inflammatory and analgesic potential of *Tamarindus indica* Linn. (Fabaceae): a narrative review. *Integrative Medicine Research, 8*(3), 181-186. https://doi.org/10.1016%2Fj.imr.2019.07.002

Kulandasamy, T., Rao, S. & Farzana, W. (2023). Microencapsulation of enzymatically destabilized virgin coconut oil by spray drying technique: Optimization of process parameters, quality assessment and studies on physico-chemical characteristics of microcapsule. *Food and Humanity, 1*(1), 650-661. https://doi.org/10.1016/j.foohum.2023.07.003

Kumarasinghe, N., Dharmadeva, S., Galgamuwa, L., & Prasadinie, C. (2018). *In vitro* anti-inflammatory activity of Ficus racemosa L. bark using albumin denaturation method. *Ayu, 39*(4), 239. https://doi.org/10.4103/ayu.ayu_27_18

Lescano, H., Iwamoto, D., Sanjinez-Argandoña, J., & Kassuya, L. (2015). Diuretic and Anti-Inflammatory Activities of the MicroencapsulatedAcrocomia aculeata(Arecaceae) Oil on Wistar Rats. *Journal Of Medicinal Food, 18*(6), 656-662. https://doi.org/10.1089/jmf.2014.0077

López Hernández, D., Silva Ordoñez, P., & Hernández Navarro, Y. (2022). Recuperación de polifenoles a partir de residuos del proceso de fabricación de pulpa de mortiño. *Revista de Investigación TALENTOS, 9*(2), 65–76. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8630065&info=resumen&idioma=ENG

Madhuranga, H. & Samarakoon, D. (2023). The Formation and Development of the School of Consolidating the Vital Base and Supplementing Primordial Qi in Xin'an Medicine. *Journal Of Natural & Ayurvedic Medicine, 7*(3), 1-3. https://doi.org/10.23880/jonam-16000410

Manmohan, S., Gupta, A., Deep, C. & Saraf, S. (2016). Assessment of Utilization, Value addition and characterization of Tamarind: A Natural Gum of Chhattisgarh. *Int. J. Pharm. Res. Allied Sci., 5*(2):323-334.

Mansingh, B., Binoj, J., Sai, P., Hassan, A., Siengchin, S., Sanjay, & Liu, Y. (2021). Sustainable development in utilization of *Tamarindus indica* L. and its by-products in industries: A review. *Current Research In Green And Sustainable Chemistry, 4,* 100207. https://doi.org/10.1016/j.crgsc.2021.100207

Marcillo, V., Tupuna, D. González, Z. & Ruales, J. (2021). Encapsulation of bioactive compounds from fruit and vegetable by-products for food application – A review. *Trends in Food Science & Technology, 116*(1), 11-23. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.07.009

Martins, M., Ferro, M., de Brito, S., & Ferreira, S. (2020). Industrial relevance of *Tamarindus indica* L. by-products as source of valuable active metabolites. *Innovative Food Science & Emerging Technologies, 66,* 102518. doi:10.1016/j.ifset.2020.102518

Mir-Cerdà, A., Núñez, O., Granados, M., Sentellas, S. & Saurina, J. (2023). An overview of the extraction and characterization of bioactive phenolic compounds from agri-food waste within the framework of circular bioeconomy. *TrAC Trends in Analytical Chemistry, 161*(1). https://doi.org/10.1016/j.trac.2023.116994

Mittal, M., Siddiqui, R., Tran, K., Reddy, P., & Malik, B. (2014). Reactive Oxygen Species in Inflammation and Tissue Injury. *Antioxidants & Redox Signaling, 20*(7), 1126-1167. https://doi.org/10.1089/ars.2012.5149

Mo, Y., Cheng, F., Yang, Z., Shang, X., Liang, J., Shang, R., Hao, B., Wang, X., Zhang, H., Wali, A., Lu, C., & Liu, Y. (2021). Antioxidant Activity and the Potential Mechanism of the Fruit From Ailanthus altissima Swingle. *Frontiers In Veterinary Science, 8*. https://doi.org/10.3389/fvets.2021.784898

Mohammed, K., Tan, P., Manap, A., Muhialdin, J., & Hussin, M. (2020). Spray Drying for the Encapsulation of Oils—A Review. *Molecules/Molecules Online/Molecules Annual, 25*(17), 3873. https://doi.org/10.3390/molecules25173873

Mota, C., Ferro, D., Sousa de Brito, E. & Salvador, S. (2020). Industrial relevance of *Tamarindus indica* L. by-products as source of valuable active metabolites. *Innovative Food Science & Emerging Technologies. 66*. https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102518

Munteanu, G., & Apetrei, C. (2021). Analytical Methods Used in Determining Antioxidant Activity: A Review. *International Journal Of Molecular Sciences, 22*(7), 3380. https://doi.org/10.3390/ijms22073380

Naciones Unidas. (2023). *Objetivo 12: Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles.* https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-consumption-production/

Natukunda, S., Muyonga, H., & Mukisa, M. (2015). Effect of tamarind (*Tamarindus indica* L.) seed on antioxidant activity, phytocompounds, physicochemical characteristics, and sensory acceptability of enriched cookies and mango juice. *Food Science & Nutrition, 4*(4), 494-507. https://doi.org/10.1002/fsn3.311

Nguyen, T. (2023). Evaluación de la actividad eliminadora de radicales, posibles propiedades antidiabéticas, antigotas y antiinflamatorias *in vitro* de *Syzygium nervosum* A.Cunn. ex DC. cultivado en vietnam. *Revista de investigación agrícola y alimentaria, 12*(1). https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100614

Oroian, M., & Escriche, I. (2015). Antioxidants: Characterization, natural sources, extraction and analysis. *Food Research International, 74,* 10-36. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.04.018

Otálora, C., Wilches-Torres, A., & Castaño, G. (2022). Spray-Drying Microencapsulation of Pink Guava (*Psidium guajava*) Carotenoids Using Mucilage from *Opuntia ficus-indica* Cladodes and Aloe Vera Leaves as Encapsulating Materials. *Polymers, 14*(2), 310. https://doi.org/10.3390/polym14020310

Özkan, 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

Páez, M., Mercado, G., Blancas, F., Villegas, R. & Sáyago, S. (2016). Compuestos bioactivos y propiedades saludables del Tamarindo (*Tamarindus indica L). Biotecnia: Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud*, *18*(1). 10-21.

Pal, D. & Mukherjee, S. (2020). Tamarind (*Tamarindus indica*) Seeds in Health and Nutrition. *Nuts and Seeds in Health and Disease Prevention,* 171-182. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818553-7.00014-0

Pandey, B., & Rizvi, I. (2009). Plant Polyphenols as Dietary Antioxidants in Human Health and Disease. *Oxidative Medicine And Cellular Longevity, 2*(5), 270-278. https://doi.org/10.4161/oxim.2.5.9498

Panicker, N. & Sahu, P. (2021). Reducción verde de óxido de grafeno mediante fitoquímicos extraídos de *Pomelo Grandis* y *Tamarindus indica* y sus aplicaciones en supercondensadores. *Revista de ciencia de materiales: materiales en electrónica*, *32*(1), –15278. https://doi.org/10.1007/s10854-021-06077-0

Park, M., Cho, H., Jung, H., Lee, H., & Hwang, K. T. (2013). Antioxidant and Anti-Inflammatory Activities of Tannin Fraction of the Extract from Black Raspberry Seeds Compared to Grape Seeds. *Journal Of Food Biochemistry, 38*(3), 259-270. https://doi.org/10.1111/jfbc.12044

Pashazadeh, H., Zannou, O., Ghellam, M., Koca, I., Galanakis, C. M., & Aldawoud, S. (2021). Optimization and Encapsulation of Phenolic Compounds Extracted from Maize Waste by Freeze-Drying, Spray-Drying, and Microwave-Drying Using Maltodextrin. *Foods (Basel, Switzerland), 10*(6), 1396. https://doi.org/10.3390/foods10061396

Piñón-Balderrama, I., Leyva-Porras, C., Terán-Figueroa, Y., Espinosa-Solís, V., Álvarez-Salas, C., & Saavedra-Leos, M. Z. (2020). Encapsulation of Active Ingredients in Food Industry by Spray-Drying and Nano Spray-Drying Technologies. *Processes, 8*(8), 889. https://doi.org/10.3390/pr8080889

Pizzino, G., Irrera, N., Cucinotta, M., Pallio, G., Mannino, F., Arcoraci, V., Squadrito, F., Altavilla, D., & Bitto, A. (2017). Oxidative Stress: Harms and Benefits for Human Health. Oxidative Medicine And Cellular Longevity, 1-13. https://doi.org/10.1155/2017/8416763

Plazzotta, S., Cottes, M., Simeoni, P. y Manzocco, L. (2020). Evaluating the environmental and economic impact of fruit and vegetable waste valorisation: The lettuce waste study-case. *Journal of Cleaner Production, 262*(20). https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121435

Popa, M., Fetea, F., & Socaciu, C. (2021). ATR-FTIR-MIR Spectrometry and Pattern Recognition of Bioactive Volatiles in Oily versus Microencapsulated Food Supplements: Authenticity, Quality, and Stability. *Molecules, 26*(16), 4837. https://doi.org/10.3390/molecules26164837

Prakash, M., Basavaraj, V., & Murthy, C. (2019). Biological functions of epicatechin: Plant cell to human cell health. *Journal of Functional Foods, 52,* 14–24. https://doi.org/10.1016/j.jff.2018.10.021.

Qdais, A., Wuensch, C., Dornack, C., & Nassour, A. (2019). The role of solid waste composting in mitigating climate change in Jordan. *Waste Management & Research, 37*(8), 833-842. https://doi.org/10.1177/0734242x19855424

Okello, J., Okullo, L., Eilu, G., Nyeko, P., & Obua, J. (2017). Mineral composition of Tamarindus indica LINN (tamarind) pulp and seeds from different agro- ecological zones of Uganda. *Food Science & Nutrition, 5,* 959–966. https://doi.org/10.1002/fsn3.490.

Rana, M. & Sharma, P. (2018). Proximate and phytochemical screening of the seed and pulp of *Tamarind indica*. *Journal of Medicinal Plants Studies, 6*(2): 111-115.

Rao, Y. & Mathew, M. (2012). Tamarind. Handbook of herbs and spices. *Handbook of herbs and spices, 2(*1), 512–533. https://doi.org/10.1533/9780857095688.512.

Riaño, P., Diez, S., Blanco, B., Beltrán, S., Trigueros, E., & Benito-Román, O. (2020). Water Ultrasound-Assisted Extraction of Polyphenol Compounds from Brewer's Spent Grain: Kinetic Study, Extract Characterization, and Concentration. *Antioxidants, 9(*3), 265. https://doi.org/10.3390/antiox9030265

Rodrigues, S., Oliveira, E. & Sousa de Brito, E. (2018). *Exotic Fruits Reference Guide*. Academic Press.

Sajid, M., Imran, M., Ahmed, A., Sohaib, M., Ullah, A., Niza, M., Hina, G., Khalid, W. y Rehana, H. (2019). Tamarind: A diet-based strategy against lifestyle maladies. *Food Sci Nutr, 7*(11): 3378–3390. https://doi.org/10.1002%2Ffsn3.1218

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 and Technology, 108,* 297-325. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.01.008

Santos, I., Correia, N., Mateus, M., Saraiva, A., Vicente, A., & Moldão, M. (2019). Fourier Transform Infrared (FT-IR) Spectroscopy as a Possible Rapid Tool to Evaluate Abiotic Stress Effects on Pineapple By-Products. *Applied Sciences, 9*(19), 4141. https://doi.org/10.3390/app9194141

Saravanan, S. & Parimelazhagan, T. (2014). *In vitro* antioxidant, antimicrobial and anti-diabetic properties of polyphenols of *Passiflora ligularis* Juss. fruit Pulp. *Ciencia de los alimentos. Tararear. Bienestar, 3* (1),56-64. https://doi.org/10.1016/j.fshw.2014.05.001

Sasidharan, S., Chen, Y., Saravanan, D., Sundram, K. & Yoga, L. (2011). Extraction, isolation and characterization of bioactive compounds from plants' extracts. *Afr J Tradit Complement Altern Med. 8*(1):1-10.

Schoubben, A., Blasi, P., Giovagnoli, S., Rossi, C. y Ricci, M. (2010). Development of a scalable procedure for fine calcium alginate particle preparation. *Chemical Engineering Journal, 160*(1), 363-369. https://doi.org/10.1016/j.cej.2010.02.062

Shi, G., Rao, L., Xie, Q., Li, J., Li, B., & Xiong, X. (2010). Characterization of yeast cells as a microencapsulation wall material by Fourier-transform infrared spectroscopy. *Vibrational Spectroscopy, 53*(2), 289-295. https://doi.org/10.1016/j.vibspec.2010.04.007

Shishir, M. R. I., & Chen, W. (2017). Trends of spray drying: A critical review on drying of fruit and vegetable juices. Trends In Food Science & Technology, 65, 49-67. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.05.006

Silva, L., Castelo-Branco, N., De Carvalho, A., Monteiro, C., Perrone, D., & Torres, G. (2017). Ethanol extraction renders a phenolic compounds-enriched and highly stable jussara fruit (Euterpe edulis M.) oil. *European Journal Of Lipid Science And Technology*, *119*(11). https://doi.org/10.1002/ejlt.201700200

Sirivibulkovit, K., Nouanthavong, S. & Sameenoi, Y. (2018). Paper-based DPPH Assay for Antioxidant Activity Analysis Kitima. *Analitical Siences, 34*, 795–800. https://doi.org/10.2116/analsci.18p014

Socaci, A. (2017). *Antioxidant compounds recovered from food wastes. IntechOpen.* In D. O. Rugina (Ed.), https://doi.org/10.5772/intechopen.69124.

Socaci, A., Fărcaş, C., Diaconeasa, M., Vodnar, C., Rusu, B., & Tofană, M. (2018). Influence of the extraction solvent on phenolic content, antioxidant, antimicrobial and antimutagenic activities of brewers' spent grain. *Journal Of Cereal Science, 80*, 180-187. https://doi.org/10.1016/j.jcs.2018.03.006

Sookying, S., Duangjai, A., Saokaew, S. & Phisalprapa, P. (2022). Botanical aspects, phytochemicals, and toxicity of *Tamarindus indica* leaf and a systematic review of antioxidant capacities of *T. indica* leaf extracts. *Front Nutr. 9.* https://doi.org/10.3389%2Ffnut.2022.977015

Sridhar, A., Ponnuchamy, M., Kumar, S., Kapoor, A., Vo, N., & Prabhakar, S. (2021). Techniques and modeling of polyphenol extraction from food: a review. *Environmental Chemistry Letters, 19*(4), 3409-3443. https://doi.org/10.1007/s10311-021-01217-8

Ștefănescu, E., Nemes, S., Teleky, B., Călinoiu, F., Mitrea, L., Martău, A., Szabo, K., Mihai, M., Vodnar, C., & Crișan, G. (2022). Microencapsulation and Bioaccessibility of Phenolic Compounds of *Vaccinium* Leaf Extracts. *Antioxidants, 11*(4), 674. https://doi.org/10.3390/antiox11040674

Taniyama, Y. & Griendling, K. (2003). Especies reactivas de oxígeno en la vasculatura: mecanismos moleculares y celulares. *Hipertensión, 42* (6), 1075-1081.

Tatasciore, S., Santarelli, V., Neri, L., Di Mattia, D., Di Michele, A., Mastrocola, D., & Pittia, P. (2024). Microencapsulation of hop bioactive compounds by spray drying: role of inlet temperature and wall material. *Current Research In Food Science, 8*, 100769. https://doi.org/10.1016/j.crfs.2024.100769

Tavanappanavara, A., Mulla, S., Shekhar, C., Bagewadi, Z., Rahamathulla, M., Muqtader, M. & Farhana, S. (2023). Phytochemical analysis, GC–MS profile and determination of antibacterial,

antifungal, anti-inflammatory, antioxidant activities of peel and seeds extracts (chloroform and ethyl acetate) of *Tamarindus indica* L. *Saudi Journal of Biological Sciences, 31*(1). https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2023.103878

Thamaraiselvi, C., Srija, D., Athira, S., Sahayarayan, J., Saud, D., Dwinoor, G., Jones, S., Yaday, K., Ramanujam, G., Woong, P. & Ravindran, B. (2023). Defluoridation of potable water employed by natural polysaccharide isolated from *Tamarindus indica L. Chemosphere, 335*. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.138931

Tolun, A., Altintas, Z., & Artik, N. (2016). Microencapsulation of grape polyphenols using maltodextrin and gum arabic as two alternative coating materials: Development and characterization. *Journal Of Biotechnology, 239,* 23-33. https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2016.10.001

Tomaro-Duchesneau, C., Saha, S., Malhotra, M., Kahouli, I., & Prakash, S. (2013). Microencapsulation for the therapeutic delivery of drugs, live mammalian and bacterial cells, and other biopharmaceutics: current status and future directions. *Journal of pharmaceutics,* 1-19. https://doi.org/10.1155/2013/103527

Torres-Ossandón, J., Vega-Gálvez, A., López, J., Stucken, K., Romero, J., & Di Scala, K. (2018). Effects of high hydrostatic pressure processing and supercritical fluid extraction on bioactive compounds and antioxidant capacity of Cape gooseberry pulp (Physalis peruviana L.). *The Journal Of Supercritical Fluids, 138,* 215-220. https://doi.org/10.1016/j.supflu.2018.05.005

Torun, M., Dincer, C., Topuz, A., Sahin, H. & Ozdemir, F. (2015). Cinética de extracción acuosa de sólidos solubles, fenólicos y flavonoides de hojas de salvia (*Salvia fruticosa Miller*). *J Tecnología de ciencia alimentaria, 52*(5): 2797–2805. https://doi.org/10.1007%2Fs13197-014-1308-8

Tril, U., Fernández, J., Pérez, J. & Viuda-Martos, M. (2014). Chemical, physicochemical, technological, antibacterial and antioxidant properties of rich-fibre powder extract obtained from tamarind (*Tamarindus indica* L.). *Industrial Crops and Products, 55,* 155-162. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.01.047

Tsao, R. (2010). Chemistry and Biochemistry of Dietary Polyphenols. *Nutrients, 2*(12), 1231-1246. https://doi.org/10.3390/nu2121231

Tsvetanova, F. (2024). The Plethora of Microbes with Anti-Inflammatory Activities. International *Journal Of Molecular Sciences, 25*(5), 2980. https://doi.org/10.3390/ijms25052980

Varghese, R., Shanmugam, R., Varghese, R., & Shanmugam, R. (2024). Comparative Anti-inflammatory Activity of Silver and Zinc Oxide Nanoparticles Synthesized Using Ocimum tenuiflorum and Ocimum gratissimum Herbal Formulations. *Cureus, 16*(1). https://doi.org/10.7759/cureus.52995

Veeren, B., Bringart, M., Turpin, C., Rondeau, P., Planesse, C., Ait-Arsa, I., Gimié, F., Marodon, C., Meilhac, O., Gonthier, M., Diotel, N., & Bascands, J. (2021). Caffeic Acid, One of the Major

Phenolic Acids of the Medicinal Plant Antirhea borbonica, Reduces Renal Tubulointerstitial Fibrosis. *Biomedicines, 9*(4), 358. https://doi.org/10.3390/biomedicines9040358

Vella, F., Laratta, B., La Cara, F., & Morana, A. (2017). Recovery of bioactive molecules from chestnut (Castanea sativaMill.) by-products through extraction by different solvents. *Natural Product Research, 32*(9), 1022-1032. https://doi.org/10.1080/14786419.2017.1378199

Villagómez, A., Pérez-Ramos, J., Esquivel-Campos, L., Pérez-González, C., Soto-Peredo, A., & Pérez-Gutiérrez, S. (2019). Anti-inflammatory activity of Jefea gnaphalioides (a. gray), Astereaceae. BMC Complementary And Alternative Medicine, 19(1). https://doi.org/10.1186/s12906-019-2654-x

Wu, Q., Kosten, R., & Zhang, X. (2013). Free radicals, antioxidant defense systems, and schizophrenia. *Progress in Neuro-Psychopharmacology and Biological Psychiatry, 46,* 200-206. https://doi.org/10.1016/j.pnpb

Xiao, Z., Xia, J., Zhao, Q., Niu, Y., & Zhao, D. (2022). Maltodextrin as wall material for microcapsules: A review. *Carbohydrate Polymers, 298,* 120113. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2022.120113

Yahfoufi, N., Alsadi, N., Jambi, M., & Matar, C. (2018). The Immunomodulatory and Anti-Inflammatory Role of Polyphenols. *Nutrients, 10*(11), 1618. https://doi.org/10.3390/nu10111618

Yamauchi, M., Kitamura, Y., Nagano, H., Kawatsu, J., & Gotoh, H. (2024). DPPH Measurements and Structure: Activity Relationship Studies on the Antioxidant Capacity of Phenols. *Antioxidants, 13(*3), 309. https://doi.org/10.3390/antiox13030309

Yang, D., Dunshea, R., & Suleria, H. (2020). LC-ESI-QTOF/MS characterization of Australian herb and spices (garlic, ginger, and onion) and potential antioxidant activity. *Journal Of Food Processing And Preservation, 44*(7). https://doi.org/10.1111/jfpp.14497

Ye, X., Zhang, M., Gong, Z., Jiao, W., Li, L., Dong, M., Xiang, T., Feng, N., & Wu, Q. (2024). Inhibition of polyphenols on Maillard reaction products and their induction of related diseases: A Comprehensive Review. Phytomedicine, 128. https://doi.org/10.1016/j.phymed.2024.155589

Zakaria, S., & Kamal, S. (2016). Subcritical Water Extraction of Bioactive Compounds from Plants and Algae: Applications in Pharmaceutical and Food Ingredients. *Food Engineering Reviews, 8*(1), 23-34. https://doi.org/10.1007/s12393-015-9119-x

Zehiroglu, C. & Ozturk, S. (2019). The importance of antioxidants and place in today's scientific and technological studies. *J Food Sci Technol, 56*(11): 4757–4774. Published online 2019 Jul 29. https://doi.org/10.1007%2Fs13197-019-03952-x

Złotek, U., Mikulska, S., Nagajek, M., & Świeca, M. (2016). The effect of different solvents and number of extraction steps on the polyphenol content and antioxidant capacity of basil leaves (Ocimum

basilicum L.) extracts. *Al-sa'udiyaẗ Lī-ulum Al-ḥayaẗ, 23*(5), 628-633. https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2015.08.002

Zuidam, N. & Shimoni, E. (2010). *Overview of Microencapsulates for Use in Food Products or Processes and Methods to Make Them.* Encapsulation Technologies for Active Food Ingredients and Food Processing.

ANEXOS

Anexo 1.

Porcentaje de sólidos totales en cada uno de los extractos.

Tratamiento	% Humedad	% Sólidos totales
A1B1	98,523	1,477
A1B2	98,613	1,387
A1B3	98,833	1,167
A2B1	98,607	1,393
A2B2	98,630	1,370
A2B3	98,770	1,230
A3B1	98,417	1,583
A3B2	98,473	1,527
A3B3	98,523	1,477

Nota: Los datos corresponden al porcentaje de humedad y sólidos totales de cada uno de los tratamientos, colocando 4.5 mL de muestra en la balanza de humedad.

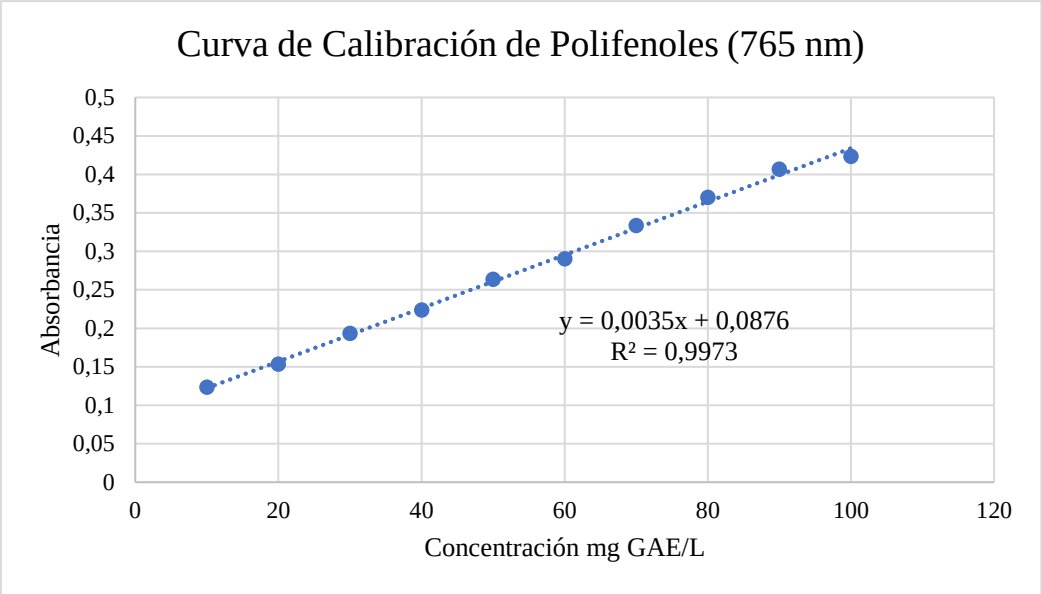
Anexo 2.

Compuestos polifenólicos totales de cada tratamiento de extracción.

Nivel	Concentración etanol (%)	Tiempo (min)	Concentración de polifenoles (mg GAE/g material vegetal)
1	50	80	516,61
1	30	20	410,96
1	70	20	491,55
1	50	20	497,06
1	50	50	442,96
1	30	80	446,69
1	70	50	453,65
1	30	50	437,64
1	70	80	488,36
2	50	80	539,84
2	30	20	430,31
2	70	20	509,59
2	50	20	497,06
2	50	50	463,82
2	30	80	471,18
2	70	50	472,36
2	30	50	437,64
2	70	80	488,36
3	50	80	539,84
3	30	20	449,66
3	70	20	527,64
3	50	20	517,57
3	50	50	484,67
3	30	80	495,67
3	70	50	491,08
3	30	50	458,24
3	70	80	507,71

Anexo 3.

Curva estándar de ácido gálico para la cuantificación de polifenoles.



Anexo 4.

Análisis de Varianza para Concentración de Polifenoles.

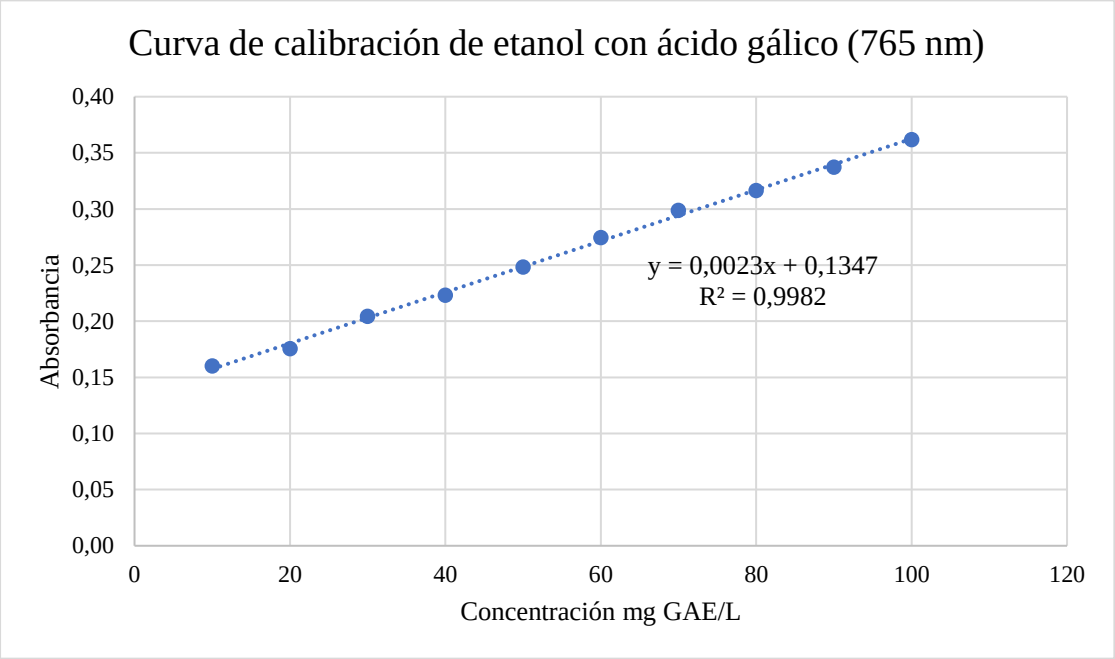
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Concentración etanol	8550,4	1	8550,4	49,50	0,0000
B: Tiempo de extracción	1473,52	1	1473,52	8,53	0,0088
AA	5213,05	1	5213,05	30,18	0,0000
AB	2322,97	1	2322,97	13,45	0,0016
BB	5430,84	1	5430,84	31,44	0,0000
Bloques	4588,99	2	2294,5	13,28	0,0002
Error total	3282,01	19	172,737		
Total (corr.)	30861,8	26			

R-cuadrada = 89,3655 porciento

Concentración Polifenoles = 251,686 + 9,61822*Concentración etanol - 1,8818*Tiempo - 0,0736903*Concentración etanol^2 - 0,0231889*Concentración etanol*Tiempo + 0,0334284*Tiempo^2

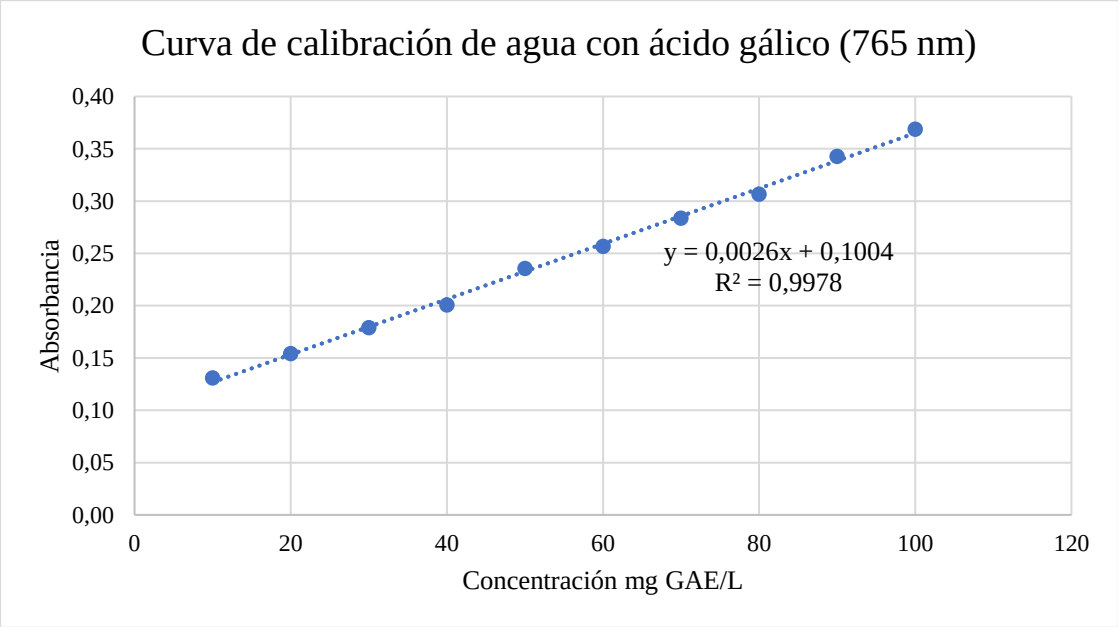
Anexo 5.

Curva estándar de ácido gálico con etanol para establecer la eficiencia de la microencapsulación.



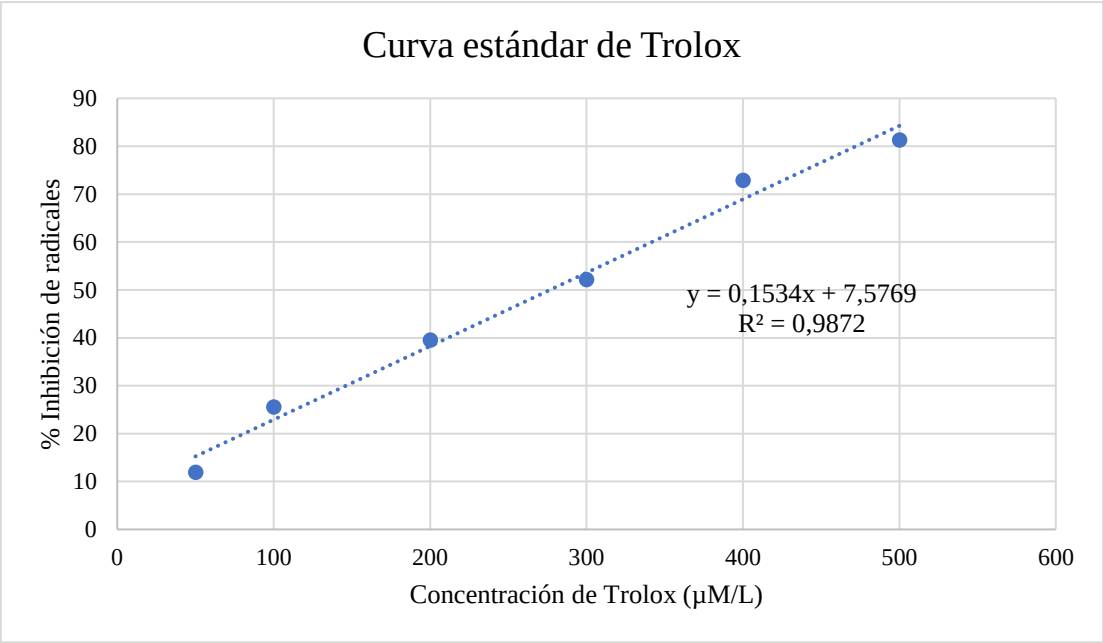
Anexo 6.

Curva estándar de ácido gálico con agua para establecer la eficiencia de la microencapsulación.



Anexo 7.

Curva estándar de Trolox para evaluar la capacidad antioxidante.



Anexo 8.

Proceso de microencapsulación del extracto concentrado de T. indica.

