



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO



FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERÍA EN ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGÍA

CARRERA DE ALIMENTOS

Tema: Microencapsulación de polifenoles extraídos de residuos de mandarina (*Citrus reticulata* L.).

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

Autor: Jeniffer Nicole Taipe Martínez

Tutor: Mg. Andrea Verónica Delgado Ramos

Ambato – Ecuador

Enero - 2026

APROBACIÓN DEL TUTOR

Mg. Andrea Verónica Delgado Ramos

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, 11 de Diciembre de 2025



.....

Mg. Andrea Verónica Delgado Ramos

0401305008

TUTOR

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Jeniffer Nicole Taipe Martínez, 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 en Alimentos son absolutamente originales, auténticos y personales; a excepción de las citas bibliográficas.



.....
Jeniffer Nicole Taipe Martínez

0504273137

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.



.....
Jeniffer Nicole Taípe Martínez

0504273137

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:



.....

Presidente del Tribunal



.....

Dr. José Homero Vargas López

1801978048



.....

Dr. Orestes Darío López Hernández

1754784864

Ambato, 23 de diciembre de 2025

DEDICATORIA

Dedico este trabajo, antes que nada, a Dios. Gracias por darme la vida, por guiar mis pasos, por darme la fortaleza y la sabiduría y por poner en mi camino a las personas que me sostienen. En cada momento difícil sentí tu compañía, y por eso hoy puedo llegar hasta aquí.

*A mi madre, **Marisol Martínez**, gracias por cada sacrificio, por tu amor tan grande y por nunca soltarme la mano. Todo lo que soy te lo debo a ti, a tus enseñanzas y a tu ejemplo de valentía. A mi padre, **Aníbal Taipe**, gracias por creer en mí incluso cuando yo dudaba, por tu apoyo, tus palabras sencillas pero llenas de sabiduría y por enseñarme a luchar con humildad.*

*A mi hermana, **Wendy**, gracias por estar siempre, por escucharme, por acompañarme en mis mejores y peores momentos. Tu apoyo ha sido un abrazo para mi alma. A mi sobrina, **Geomara Panchi**, gracias por iluminar mis días con tu alegría. Tú me recuerdas lo bonito que es avanzar y soñar.*

*A mi pareja, **Xavier**, gracias por tu paciencia, por tu amor y por ser ese refugio donde siempre encuentro paz. Gracias por creer en mí, por animarme cuando me sentía vencida y por caminar a mi lado sin soltarme. A mi hija, que es mi mayor tesoro, mi motor y mi inspiración más grande. Todo lo que hago es con la esperanza de darle un futuro bonito y demostrarle que los sueños sí se cumplen.*

Y a toda mi familia, gracias por estar ahí, por cada palabra de aliento, por cada gesto de cariño y por ser mi fuerza en este camino que a veces fue difícil, pero que siempre valió la pena.

Este logro es para todos ustedes. Lo hice con el corazón, pensando en cada uno. Gracias por acompañarme en esta etapa tan importante de mi vida.

Jeniffer Taipe

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a todas las personas que hicieron posible la realización de este trabajo.

*A mi tutor, **Mg. Andrea Delgado**, por su guía, por su paciencia y por orientarme con tanta dedicación durante este proceso. Gracias por sus consejos, por su tiempo y por ayudarme a crecer académicamente y personalmente.*

*Al **Dr. Orestes López**, por sus aportes, por compartir sus conocimientos y por brindarme su apoyo en los momentos en los que más lo necesité. Su ayuda fue muy valiosa.*

*A **Gaby**, gracias de corazón por estar ahí cuando realmente la necesité, por tu apoyo sincero, por ayudarme sin dudar y por la amistad que me ha brindado en todo este proceso.*

A mis padres y a mi hermana, gracias por su amor, por su comprensión y por ser el pilar que me sostiene. Sin su apoyo constante, su confianza y sus palabras de ánimo, este logro no habría sido posible. Y a toda mi familia, gracias por acompañarme, por motivarme y por ser parte de este sueño cumplido.

A todos ustedes, gracias por creer en mí. Este trabajo también es suyo.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL TUTOR.....	i
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	ii
DERECHOS DE AUTOR.....	iii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO.....	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	xi
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xii
RESUMEN EJECUTIVO.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Antecedentes Investigativos.....	1
1.1.1. Planteamiento del problema y justificación.....	1
1.1.2. Mandarina (<i>Citrus reticulata</i> L.).....	2
1.1.2.1. Historia.....	2
1.1.2.2. Usos.....	3
1.1.2.3. Residuos de cáscara de mandarina.....	3
1.1.3. Polifenoles.....	4
1.1.3.1. Estructura y clasificación de los polifenoles.....	5
1.1.3.2. Determinación de los polifenoles método Folin-Ciocalteu.....	5
1.1.4. Microencapsulación de compuestos bioactivos.....	6
1.1.4.1. Secado por aspersión (Spray Dryer).....	7
1.2. Objetivos.....	9
1.2.1. Objetivo General.....	9

1.2.2. Objetivos Específicos	9
CAPITULO II. METODOLOGÍA	10
2.1. Materiales	10
2.2. Método	12
2.2.1. Extracción de polifenoles de la cáscara de mandarina (<i>Citrus reticulata</i> L.).	12
2.2.1.1. Obtención de la materia prima	12
2.2.1.2. Secado y pulverización de los residuos de mandarina	12
2.2.1.3. Diseño experimental.....	12
2.2.1.4. Extracción de polifenoles de la cáscara de mandarina.....	13
2.2.1.5. Determinación de sólidos totales.....	13
2.2.2. Cuantificación el contenido de polifenol extraído mediante el método Folin - Ciocalteu.	14
2.2.3. Elaboración del microencapsulado de polifenol extraído de <i>Citrus reticulata</i> L.	14
CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	16
3.1. Análisis y discusión de resultados.....	16
3.1.1. Extracción de polifenoles de la cáscara de mandarina (<i>Citrus reticulata</i> L.).	16
3.1.2. Cuantificación el contenido de polifenol extraído mediante el método Folin - Ciocalteu.	17
3.1.3. Elaboración del microencapsulado de polifenol extraído de <i>Citrus reticulata</i> L.	18
CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	24
4.1. Conclusiones	24
4.2. Recomendaciones.....	25
BIBLIOGRAFÍA.....	26
ANEXOS.....	33

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición nutricional de la mandarina (<i>Citrus reticulata</i> L.).....	3
Tabla 2. Clasificación de los polifenoles.....	5
Tabla 3. Materiales utilizados en el proyecto de investigación.	10
Tabla 4. Diseño factorial 22 para la extracción de polifenoles de (<i>Citrus reticula</i> L.).....	11
3	
Tabla 5.	16
Tabla 6. Contenido de polifenoles de cada tratamiento.....	17

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>Fruto de Citrus reticulata L.</i>	2
Figura 2. Mecanismo Folin – Ciocalteu	6
Figura 3. <i>Esquema del método de microencapsulación mediante secado por aspersión.</i>	7
Figura 4. Espectro infrarrojo de la comparación del polímero maltodextrina, extracto concentrado mediante el solvente MetOH y microencapsulado de (<i>Citrus reticulata L.</i>).	19
Figura 5. Espectro infrarrojo de la comparación del polímero maltodextrina, extracto concentrado mediante el solvente EtOH y microencapsulado de (<i>Citrus reticulata L.</i>).	21
Figura 6. Espectro infrarrojo de la comparación del polímero maltodextrina, extracto concentrado mediante el solvente EtOH, MetOH y microencapsulado de (<i>Citrus reticulata L.</i>).	22

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Porcentaje de sólidos Totales.....	13
Ecuación 2. Ley de Beer Lambert.	14

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Recolección de la materia prima <i>Citrus reticulata</i> L.	33
Anexo 2. Preparación y deshidratado de la cáscara de <i>Citrus reticulata</i> L.	33
Anexo 3. Pulverización de la cáscara.....	34
Anexo 4. Proceso de extracción de polifenoles de la cáscara de mandarina con EtOH y MetOH mediante la plancha de calentamiento.....	34
Anexo 5. Obtención del extracto concentrado mediante un Rotavapor	35
Anexo 6. Almacenamiento en botellas ámbar cada extracto obtenido	35
Anexo 7. Determinación de humedad del extracto	35
Anexo 8. Determinar la absorbancia con la placa de 96 pocillos	36
Anexo 9. Microencapsulación del extracto de polifenoles mediante secado por aspersión... 36	
Anexo 10. Microencapsulado final de los extractos	37
Anexo 11. Espectrofotometría infrarroja del extracto y microencapsulado.....	37
Anexo 12. Curva de calibración de Ácido gálico	37

RESUMEN EJECUTIVO

El presente estudio se centra en la valorización de los residuos agroindustriales generados en la sobreproducción de mandarina en determinadas épocas. Entre estos residuos, la cáscara representa una fuente rica en compuestos bioactivos, especialmente polifenoles con reconocida actividad antioxidante. Esta investigación se priorizó la recuperación de polifenoles presentes exclusivamente en la cáscara de mandarina, con el fin de transformarla en un ingrediente funcional mediante la microencapsulación. Para la recuperación de polifenoles, la cáscara fue deshidratada a 60 grados centígrados, triturada hasta obtener un polvo homogéneo y sometida a extracción utilizando etanol y metanol al setenta por ciento, durante 30 minutos y 1 hora. Una vez filtrados, los extractos fueron concentrados mediante rotavapor y posteriormente almacenado en frascos ámbar. Se determinó el porcentaje de humedad del extracto con 28.5 para cada tratamiento y la cuantificación se realizó mediante el método de Folin-Ciocalteu, empleando una placa de 96 pocillos y una curva patrón de ácido gálico. Finalmente, el extracto fue microencapsulado por el método secado por aspersión. Los resultados demostraron que con etanol durante 1 hora permitió obtener la mayor concentración de polifenoles totales con un valor de 51.08 mg GAE por g base seca y con un rendimiento de 22.65 por ciento. El microencapsulado obtenido presentó buena estabilidad y características adecuadas para potenciales aplicaciones alimentarias. Estos resultados sugieren que la revalorización de la cáscara de mandarina es viable para obtener compuestos bioactivos. Se recomienda profundizar la evaluación de la capacidad antioxidante del microencapsulado e incorporar en matrices alimentarias con valor agregado.

Palabras clave: polifenoles, cáscara de mandarina, microencapsulación, antioxidantes, maltodextrina, secado por aspersión.

ABSTRACT

The present study focuses on the valorization of agro-industrial waste generated in the overproduction of mandarin in certain seasons. Among these wastes, the peel represents a rich source of bioactive compounds, especially polyphenols with recognized antioxidant activity. This research prioritized the recovery of polyphenols present exclusively in the mandarin peel, with the aim of transforming it into a functional ingredient through microencapsulation. For the recovery of polyphenols, the peel was dehydrated at 60 degrees Celsius, ground until obtaining a homogeneous powder, and subjected to extraction using ethanol and methanol at seventy percent, for 30 minutes and 1 hour. Once filtered, the extracts were concentrated using a rotary evaporator and then stored in amber bottles. The percentage of moisture of the extract was determined with 28.5 for each treatment and the quantification was carried out using the Folin–Ciocalteu method, using a 96-well plate and a gallic acid standard curve. Finally, the extract was microencapsulated by spray drying. The results showed that ethanol for 1 hour allowed obtaining the highest concentration of total polyphenols with a value of 51.08 mg GAE per g dry basis and with a yield of 22.65 percent. The microencapsulated product obtained showed good stability and adequate characteristics for potential food applications. These results suggest that the revalorization of mandarin peel is viable to obtain bioactive compounds. It is recommended to deepen the evaluation of the antioxidant capacity of the microencapsulated product and incorporate it into value-added food matrices.

Keywords: polyphenols, mandarin peel, microencapsulation, antioxidants, maltodextrin, spray drying.

CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes Investigativos

1.1.1. Planteamiento del problema y justificación

En promedio a nivel mundial, alrededor del 50% del peso de la fruta termina en desperdicio, la industria citrícola genera cerca de 158 millones de toneladas métricas de fruta anualmente, lo que resulta en aproximadamente 79 millones de toneladas métricas de residuos **Kaur et al., (2024)**. En Ecuador, en Valle Hermoso (Pelileo), la mandarina es el ingreso para pequeños agricultores, pero la baja de precios reduce su rentabilidad, llevando a que desechen la fruta o la destinen para alimento de animales. Los cítricos son fuentes abundantes de compuestos bioactivos como compuestos fenoles, flavonoides, limonoides, carotenoides y terpenos, que han sido ampliamente estudiados por sus propiedades promotoras de la salud, en particular por sus efectos quimioprotectores (**Safdar et al., 2022**).

De acuerdo con **Díaz et al. (2023)** la microencapsulación es una tecnología que permite proteger compuestos activos al envolverlos dentro de una matriz que los aísla de factores que podrían degradarlos, como la luz, el oxígeno, cambios de pH o temperaturas elevadas. Los compuestos encapsulados pueden incorporarse como ingredientes funcionales en diversos productos, tales como: bebidas hasta derivador lácteos y panificados, aportando beneficios nutricionales y actuando como conservantes naturales. Además, asegura su conservación y una liberación controlada en el organismo, lo que contribuye a prolongar la vida útil de los alimentos al impedir que los compuestos activos interactúen con otros componentes (**Zambrano et al., 2024**).

Costanzo et al. (2022) menciona que, en la actualidad, los residuos provenientes de cítricos se emplean en la generación de biogás, en la alimentación de animales rumiantes y en la obtención de aceites esenciales. Por lo tanto, esta investigación representa una oportunidad para impulsar la innovación y fortalecer la sostenibilidad, debido a los residuos de cáscara de mandarina pueden ser aprovechados como fuente de compuestos bioactivos con propiedades benéficas para la salud humana, como su efecto antiinflamatorio y anticancerígeno (**Safdar et al., 2022**).

1.1.2. Mandarina (*Citrus reticulata* L.)

1.1.2.1. Historia

Se considera que su zona de origen abarca el sudeste asiático, incluyendo regiones como el este de Arabia, el área oriental de Filipinas y desde el sur del Himalaya hasta Indonesia (**Lasprilla, 2020**). A través de rutas comerciales históricas, su cultivo se extendió desde Asia hacia el Medio Oriente y Europa, y posteriormente hacia África, América y Oceanía durante la expansión del comercio internacional y la horticultura entre los siglos XVIII y XX. En estas regiones se adaptó a distintos climas y se desarrollaron numerosas variedades como satsuma, clementina y tangerina, que se distinguen por su piel fácil de pelar, sabor dulce y baja acidez, lo que ha consolidado a la mandarina como una de las frutas cítricas más populares y ampliamente cultivadas en el mundo (**Wu et al., 2018**).

Los cítricos se encuentran entre las especies arbóreas más ampliamente cultivadas a nivel mundial, se adaptan en regiones tropicales y subtropicales con climas cálidos y húmedos, donde las temperaturas se mantienen entre los 23 °C y 34 °C, debido condiciones de alta humedad, la radiación solar constante y las propiedades del suelo en estas zonas contribuyen significativamente a mejorar la calidad de sus frutos y a prolongar la vida útil del árbol (**Zambrano, 2019**).



Figura 1. Fruto de *Citrus reticulata* L.

Fuente: (Pereira, 2013).

Las mandarinas (*Citrus reticulata* L.) representan una importante fuente de compuestos nutricionales y funcionales, incluyendo carbohidratos, fibra dietética, vitaminas liposolubles e hidrosolubles como la A y la C, además de minerales esenciales como el potasio y el manganeso, contienen ácidos orgánicos y metabolitos secundarios, entre ellos compuestos

fenólicos, los cuales desempeñan un papel relevante en las propiedades organolépticas de la fruta (Rodríguez et al., 2018).

Tabla 1. Composición nutricional de la mandarina (*Citrus reticulata* L.).

Compuesto	Contenido
Agua	85,2 g
Carbohidratos	13,34 g
Proteínas	0,81 g
Fibra dietética	0,38 g
Grasas	0,31 g

Fuente:(Musara et al., 2020).

1.1.2.2.Usos

Según **Calderón (2014)**, en Ecuador, la mandarina se consume tanto fresca como procesada ya que su pulpa se utiliza en la elaboración de jugos, néctares, mermeladas y jaleas. La cáscara, por su parte, se aprovecha para extraer aceites esenciales que se aplican en la industria cosmética y farmacéutica. Además, los restos de la fruta, que representan aproximadamente la mitad de su peso, se destinan como alimento para animales o como fertilizante orgánico. En la industria alimentaria también se han desarrollado productos innovadores, como gomitas saludables a base de mandarina, que permiten incorporar los nutrientes de la fruta en alternativas atractivas y funcionales para los consumidores (**Acosta, 2021**).

1.1.2.3.Residuos de cáscara de mandarina

De acuerdo con **Madrid (2013)**, la cáscara de mandarina, considerada un residuo generado tras la extracción del jugo, constituye entre el 45% y el 60% del peso total de la fruta. Por otro lado, los subproductos como las cáscaras, hojas y semillas de mandarina poseen diversos compuestos

fitoquímicos. Entre ellos tenemos, naringina que da el sabor amargo característico y la hesperidina que son flavonoides predominantes en la cáscara, lo que demuestra su potencial como agentes bioactivos en áreas como la farmacología, industria alimentaria y agricultura (Diniso et al., 2024).

Anticono et al. (2022), menciona la cáscara de mandarina está formada por dos partes principales. La primera es el flavedo, que es la capa de afuera, de color naranja, donde se concentran los aceites esenciales, los pigmentos (carotenoides) y muchos compuestos que actúan como antioxidantes, especialmente los flavonoides. La segunda parte es el albedo, que es la capa blanca y esponjosa que se encuentra debajo. Esta zona contiene sobre todo pectina, fibra y otros carbohidratos que le dan estructura. Con esta composición, la cáscara de mandarina es un residuo que puede aprovecharse muy bien, ya que aporta componentes antioxidantes y también fibras útiles para distintas aplicaciones alimentarias y funcionales. Estudios recientes han confirmado que la cáscara de mandarina es rica en estos compuestos y que su estructura facilita su uso en procesos como la extracción y el secado (Costanzo et al., 2022).

Según **Quispe (2023)** afirma que la cáscara de mandarina es un subproducto valioso que puede aprovecharse en diversas industrias. Sus aceites esenciales se utilizan en cosmética, perfumes, alimentos y bebidas, mientras que la pectina sirve como espesante y gelificante. Además, sus compuestos bioactivos, permiten incorporarla en alimentos funcionales y suplementos. Por otro lado, puede emplearse para producir bioplásticos y biocombustibles, generando beneficios económicos y ambientales al reducir residuos.

1.1.3. Polifenoles

Los polifenoles son compuestos bioactivos sintetizados por las plantas y se localizan en distintas estructuras vegetales, como frutos, semillas, hojas, flores e incluso en tejidos leñosos. Estos compuestos también forman parte de numerosos alimentos de origen vegetal, entre ellos frutas, verduras, infusiones como el té y el café, además de productos como el vino y el cacao (Ohishi et al., 2021)

Según **Zhang et al. (2022)**, los polifenoles han despertado un creciente interés por parte de la comunidad científica debido a su amplio espectro de posibles beneficios para la salud. Entre sus principales propiedades se encuentran sus efectos anticancerígenas, antioxidantes, antimicrobianas y antiinflamatorias, y desempeñan un papel relevante en la prevención de

enfermedades crónicas como las cardiovasculares, la diabetes, la obesidad y las enfermedades neurodegenerativas (Nemzer et al., 2025).

1.1.3.1. Estructura y clasificación de los polifenoles

Su estructura química se caracteriza por la presencia de uno o más anillos aromáticos con grupos hidroxilo, lo cual les otorga una notable capacidad para actuar como agentes antioxidantes. Por otro lado, los polifenoles son compuestos bioactivos presentes en plantas, caracterizados por sus anillos fenólicos y su capacidad antioxidante. Se dividen en flavonoides, con un esqueleto C6–C3–C6, que consiente en dos anillos de seis carbonos unidos por una cadena de tres carbonos, y subclases como flavonoles, flavonas, flavanonas, flavanoles, isoflavonas y antocianinas, y no flavonoides, que incluyen ácidos fenólicos, stilbenos, lignanos y taninos. Esta clasificación se basa en la estructura de carbono y los grupos funcionales, y permite entender la diversidad estructural y funcional de los polifenoles (Lang et al., 2024).

Tabla 2. *Clasificación de los polifenoles.*

Clasificación	Subclasificación
Flavonoides	Hesperidina, Naringina, Nobiletina
Ácidos fenólicos	Ácido ferúlico, Ácido p-cumárico

Fuente: (Gómez et al., 2018).

1.1.3.2. Determinación de los polifenoles método Folin-Ciocalteu

El método de Folin–Ciocalteu (F - C) se utiliza para cuantificar la cantidad total de compuestos fenólicos presentes en diversas muestras, como alimentos, bebidas y extractos vegetales. Este ensayo se basa en la reacción del reactivo oxidante Folin–Ciocalteu con compuestos de carácter reductor, como los antioxidantes, formando un complejo soluble de color azul intenso. El reactivo está compuesto por una mezcla de ácidos fosfotúngstico y fosfomolibdico, que durante la reacción se reduce, generando un cromóforo azul cuya absorbancia máxima se registra a 765 nm (Pérez et al., 2023).

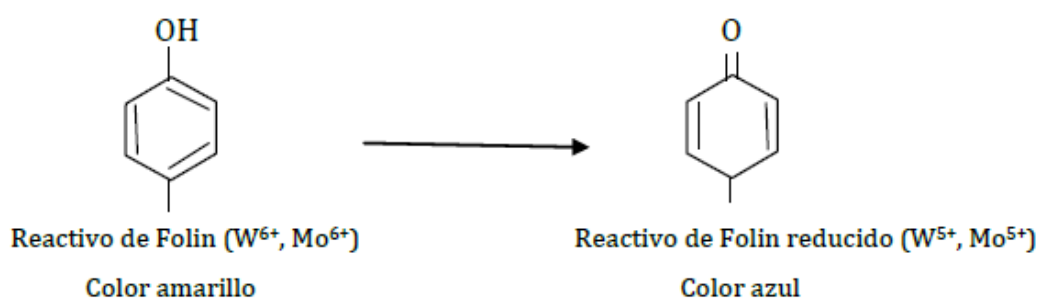


Figura 2. Mecanismo Folin – Ciocalteu.

Fuente: (Diez de la Iglesia, 2018).

Según **Martins et al. (2021)** afirma que el Reactivo de Folin-Ciocalteu, una mezcla de ácidos que contiene molibdeno y wolframio en estado oxidado (caracterizado por su color amarillo), requiere un medio fuertemente alcalino para que la reacción se lleve a cabo adecuadamente. Para que la reacción ocurra es indispensable un medio altamente alcalino mediante la adición de una solución de carbonato de sodio, que permite que los grupos hidroxilo presentes en los anillos aromáticos de los compuestos fenólicos actúen como agentes reductores. Bajo estas condiciones, los polifenoles donan electrones y reducen el complejo molibdeno-wolframio, dando lugar a un complejo de color azul intenso, este comportamiento puede observarse en la Figura 2.

1.1.4. Microencapsulación de compuestos bioactivos

La técnica de la microencapsulación surgió en el año 1931, a partir de una investigación que describía la obtención de microcápsulas utilizando gelatina como agente encapsulante, mediante un proceso denominado coacervación. Durante los años posteriores, especialmente en la década de 1940, este procedimiento fue objeto de modificaciones y mejoras, lo que permitió su aplicación en diferentes áreas (**Parzanese, 2018**).

Parra (2011), menciona que en el ámbito alimentario, el uso de esta técnica ha aumentado progresivamente debido a su capacidad para proteger los compuestos encapsulados frente a factores como la temperatura y la humedad, lo que contribuye a conservar su estabilidad y funcionalidad, donde las microcápsulas permiten que los ingredientes alimentarios soporten de mejor manera los procesos de producción y envasado, optimizando características como el sabor, el aroma, la estabilidad, el contenido nutricional y la apariencia del producto final.

Entre los materiales más utilizados como agentes encapsulantes se encuentra la maltodextrina, un polisacárido soluble en agua derivado del almidón, que forma matrices estables capaces de proteger compuestos bioactivos como polifenoles y aceites esenciales de la degradación por luz, calor u oxidación, a la vez que facilita su liberación controlada sin afectar las características sensoriales o nutricionales del producto (Castromonte et al., 2020).

1.1.4.1. Secado por aspersión (Spray Dryer)

Es una técnica de microencapsulación ampliamente utilizada en la industria farmacéutica y alimentaria por su simplicidad, bajo costo y por la estabilidad que ofrece a los productos encapsulados. Attri et al. (2025) menciona que el proceso es valioso para las industrias de procesamiento de alimentos, como la de productos lácteos, frutas y verduras en polvo, bioactivos encapsulados y bebidas instantáneas.

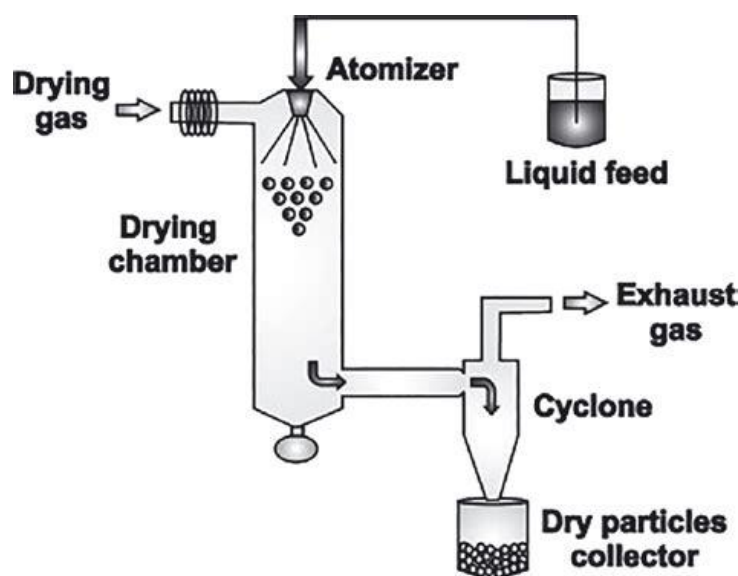


Figura 3. Esquema del método de microencapsulación mediante secado por aspersión.

Fuente: (Hasani et al., 2022).

La etapa central del proceso inicia con la preparación de la alimentación líquida, compuesta por el extracto activo y el material encapsulante. Como se muestra en la Figura 2, la mezcla se conduce hacia el atomizador, cuya función es desintegrar el líquido en un rociado de microgotas, aumentando significativamente la superficie de contacto. De forma simultánea, el aire caliente ingresa a la cámara de secado, generalmente con temperaturas de entrada entre 150 °C, mientras que la temperatura de salida suele mantenerse entre 80 °C (Mohammed et al., 2020).

Cuando las microgotas atomizadas entran en contacto con este aire caliente, ocurre una rápida transferencia de calor y masa, provocando que la humedad se evapore casi instantáneamente. Esta evaporación acelerada genera un efecto de enfriamiento evaporativo, el cual evita que los compuestos termosensibles como los polifenoles se degraden, pese a que la temperatura de entrada del equipo es elevada. Finalmente, las gotas pierden su humedad y se transforman en microcápsulas secas, conservando las propiedades funcionales del compuesto activo **(Piñón et al., 2020)**.

1.2.Objetivos

1.2.1. Objetivo General

- Obtener un microencapsulado de polifenoles extraído de residuos de mandarina (*Citrus reticulata* L.).

1.2.2. Objetivos Específicos

- Extraer polifenoles de la cáscara de mandarina (*Citrus reticulata* L.).
- Cuantificar el contenido de polifenoles extraído mediante el método Folin - Ciocalteu.
- Elaborar el microencapsulado de polifenol extraído de *Citrus reticulata* L

CAPITULO II. METODOLOGÍA

2.1. Materiales

El presente trabajo de titulación es de carácter experimental se llevó a cabo en los laboratorios académicos y en el laboratorio de investigación OUDIDE de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología de la Universidad Técnica de Ambato. En la Tabla 3, se enlistan todos los equipos, materiales y reactivos ocupados durante todo el proceso experimental.

Tabla 3. *Materiales utilizados en el proyecto de investigación.*

Reactivos	Cantidad
Etanol 70%	2 L
Metanol 70%	2 L
Folin-Ciocalteu	10 ml
Agua destilada	5 L
Carbonato de sodio	1 g
Ácido gálico	0,02 g
Maltodextrina	105,6 g

Material de Laboratorio	Unidades
Cuchillo de acero inoxidable	1
Bolsas herméticas	4
Papel filtro	1
Botella de vidrio ámbar (100cc)	4
Papel aluminio	1
Papel absorbente	2
Placa 96 pocillos	1
Probeta graduada plásticas (100 mL, 250 mL)	4

Pipetas graduadas (1mL, 10 mL)	4
Vasos de precipitación (50 mL, 250 mL)	8
Embudo de vidrio	6
Micropipeta (2-20 µl, 100-1000 µl)	2
Balón de destilación (250 mL)	6
Tubos Eppendorf de (2 mL)	12
Pera de succión	2
Varilla de agitación	2
Cajas de puntas micropipetas (2- 20 µl, 100-1000 µl)	2
Materias Prima	Cantidad
Cáscara de mandarina	1735,5 g
Equipos	Tiempo
Deshidratador por convección Smart Heat	48 horas
Molino manual	1 hora
Rotavaporador EYELA OSB- 2100	24 horas
Espectrofotómetro UV-VIS Fisher	90 minutos
Mini Spray Dryer BUCHI B-290	4 horas
Balanza de humedad Kern, MLS50-3	1 hora
Balanza analítica	1 hora

Plancha de calentamiento	1 hora
Nota: (Elaboración propia).	

2.2.Método

Esta investigación es de tipo aplicada, ya que busca dar respuesta a un problema real, aprovechando los residuos de cáscara de mandarina (*Citrus reticulata* L.), para obtener compuestos con beneficios para la salud. El objetivo es extraer estos compuestos y protegerlos a través de un proceso de microencapsulado. Por ende, el estudio tiene un enfoque cuantitativo, se medirán aspectos como ¿cuánto polifenol se puede extraer y que tan eficiente es el proceso de encapsulado? Para esto se usarán pruebas de laboratorio y se analizarán los resultados de manera estadística.

2.2.1. Extracción de polifenoles de la cáscara de mandarina (*Citrus reticulata* L.).

2.2.1.1.Obtención de la materia prima

Para el desarrollo del presente estudio se utilizó la cáscara de mandarina, la cual fue adquirida en Valle Hermoso, perteneciente al Cantón Pelileo, donde se observó una mayor producción de este fruto. Después de seleccionar la materia vegetal, esta se colocó en fundas herméticas a temperatura ambiente hasta su traslado a los laboratorios de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología para su respectivo uso.

2.2.1.2.Secado y pulverización de los residuos de mandarina

El material vegetal fue cortado en tiras pequeñas de 0,5 cm con la ayuda de un cuchillo, donde se deshidrató por 24 horas a una temperatura de 50°C, por consiguiente, la cáscara de mandarina fue sometida a un proceso de triturado con la ayuda de un molino manual hasta formar un polvo fino, finalmente la muestra pulverizada se almacenó en bolsas herméticas a temperatura ambiente (Safdar et al., 2017).

2.2.1.3. Diseño experimental

Para esta investigación se utilizó un diseño experimental factorial 2², el cual permitió combinar dos factores: el tipo de solvente (etanol y metanol al 70 %) y el tiempo de ebullición (30 y 60 minutos). De estas combinaciones dio lugar a cuatro tratamientos diferentes, y cada uno se repitió por triplicado para obtener resultados más confiables.

Tabla 4. *Diseño factorial 2² para la extracción de polifenoles de (Citrus reticula L.).*

Tratamiento	Factor A (Disolvente)	Factor B (tiempo)
T1	EtOH	30 minutos
T2	EtOH	60 minutos
T3	MetOH	30 minutos
T4	MetOH	60 minutos

2.2.1.4.Extracción de polifenoles de la cáscara de mandarina

Siguiendo el método propuesto por **Montoya (2024)** se utilizaron disolventes (% v/v) etanol o metanol al 70%, se aplicó una temperatura de 60 °C con la ayuda de una plancha de calentamiento con agitación constante a cada mezcla. Se empleó una relación entre el material vegetal 4,8% y el volumen del disolvente 95,2% durante tiempos de 30 y 60 minutos. Posterior a ello, se procedió a filtrar para eliminar residuos sólidos, con la ayuda de un rotavapor se separó el disolvente del extracto concentrado. Finalmente, el extracto fue almacenado a 4°C en botellas de vidrio ámbar para su próximo análisis.

2.2.1.5.Determinación de sólidos totales

Una vez obtenidos los extractos, se procedió a evaluar la humedad residual por triplicado con la ayuda de la balanza de humedad (Kern, MLS50-3), se calculó el contenido de sólidos totales aplicando la fórmula correspondiente utilizando la ecuación 1.

$$\%SST = 100 - \%humedad$$

Ecuación 1. Porcentaje de sólidos Totales

Donde:

%SST = Porcentaje de sólidos totales

%Humedad = Porcentaje de humedad

(Lema, 2024).

2.2.2. Cuantificación el contenido de polifenol extraído mediante el método Folin - Ciocalteu.

Para la determinación de polifenoles totales se siguió el método de Folin-Ciocalteu, para iniciar se diluyó en una relación de 1:10 debido al extracto se encontraba muy concentrada. Con la ayuda de una micropipeta se tomó 10 µL del extracto y se colocó en tubos Eppendorf posterior se añadió 100 µL de agua destilada, esto se realizó por triplicado para cada tratamiento, finalmente se agitó vigorosamente para que la muestra se homogenice de mejor manera, posterior a ello se colocó en una microplaca de 96 pocillos: 10 µL del extracto junto con 10 µL del reactivo de Folin-Ciocalteu más 130 µL de agua destilada (Llerena, 2025). Posteriormente, la mezcla reposó durante 6 minutos en la oscuridad con la ayuda de papel aluminio para permitir la acción del reactivo. Luego, se incorporó 100 µL de una solución de carbonato de sodio (Na_2CO_3), la incubación se llevó a cabo por 90 minutos en condiciones de oscuridad y a temperatura ambiente. Finalmente, se midió la absorbancia de las muestras mediante un espectrofotómetro UV-VIS a 765 nm, los resultados de absorbancia fueron convertidos a concentración mediante la ecuación 2, por otro lado, se realizó una curva de calibración para determinar el contenido de polifenoles referido como ácido gálico, se represaron como miligramos equivalentes de ácido gálico por gramo de cáscara de mandarina (mg/GAE) (mg/g) (Montoya, 2024).

$$A = \varepsilon * b * c$$

Ecuación 2. Ley de Beer Lambert.

Donde:

A = absorbancia

ε = coeficiente de absorción molar ($L * mol^{-1} * cm^{-1}$)

b = longitud de la celda (cm)

c = concentración molar

(Yeh et al., 2023).

2.2.3. Elaboración del microencapsulado de polifenol extraído de *Citrus reticulata* L.

El microencapsulado se realizó mediante un proceso de secado por aspersión modelo Mini Spray Dryer BUCHI-290, por ende, se realizó una relación de 20:80 para el extracto concentrado y la matriz polimérica (maltodextrina) junto con agua destilada, lo cual la muestra

fue agitada continuamente mediante un homogenizador. Finalmente, la mezcla fue sometida al proceso de secado por aspersión utilizando un Mini Spray Dryer, bajo condiciones controladas de temperatura (150°C de entrada y 80°C de salida), en donde se obtuvo un polvo fino formado por microesferas que encapsulan los componentes bioactivos de cáscara de mandarina (*Citrus reticulata* L.) **(Rios & Garzón, 2021)**.

CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Análisis y discusión de resultados

3.1.1. Extracción de polifenoles de la cáscara de mandarina (*Citrus reticulata* L.).

Para determinar las condiciones de extracción de los polifenoles presentes en la cáscara deshidratada de *Citrus reticulata* L. (mandarina), se realizaron varios tratamientos variando el tipo de disolvente empleado (etanol o metanol al 70 %), utilizando un tiempo de extracción de 30 y 60 minutos, con calentamiento moderado y agitación constante en una plancha de calentamiento. En todos los casos se mantuvo una relación material vegetal–solvente de 1:20, con el fin de asegurar una adecuada solubilización de los compuestos fenólicos. Posteriormente, los extractos fueron filtrados y concentrados mediante rotavapor para eliminar el disolvente, donde los sólidos totales y el rendimiento se expresaron en % como se muestra en la **Tabla 5**.

Tabla 5. Extracción de polifenoles.

Tratamiento	Tiempo (min)	Concentración del disolvente (70%)	Sólidos totales (g)	Sólidos totales (%)	Rendimiento (%)
T1	30	EtOH	6.06 ± 0.03	71.24 ± 0.30	15.17
T2	60	EtOH	9.08 ± 0.03	71.86 ± 0.23	22.65
T3	30	MetOH	4.52 ± 0.03	71.37 ± 0.49	11.27
T4	60	MetOH	5.63 ± 0.03	71.67 ± 0.25	14.12

Nota: Se presenta los resultados de los polifenoles extraídos de la cáscara de mandarina donde se expresa los sólidos totales en porcentaje y en gramos ± desviación estándar de cada tratamiento y su rendimiento.

En Tabla 5, se observa que el mayor rendimiento y sólidos totales se obtuvo con etanol a 60 minutos, esto se debe por la combinación favorable de solvente, polaridad y método de extracción. En la investigación de **El Mannoubi (2023)** utiliza la fruta de *Opuntia stricta* con 80 % de etanol permitió un rendimiento mayor que solventes menos polares, ya que esta mezcla hidroalcohólica favorece la disolución tanto de compuesto polares como semipolares presentes en la matriz vegetal. En cuanto, a la desviación estándar obtenida en los sólidos totales tanto en porcentaje como en gramos fue baja, las repeticiones presentaron valores muy similares entre

sí, lo que indica que el proceso de extracción se realizó de manera uniforme y controlada. Cuando la muestra tiene características homogéneas como la misma variedad, madurez y contenido de humedad y el método analítico se aplica correctamente, la variabilidad entre mediciones disminuye (Madrigal et al., 2022).

Por otro lado, los sólidos totales y el rendimiento son bajos, como se observa en la Tabla 5, las causas pueden ser múltiples. Un estudio con hojas de *Mentha longifolia* mostró que, usando etanol al 70 %, el rendimiento fue relativamente bajo ($\approx 10.5 \pm 0.074$ %) comparado con mezclas hidroalcohólicas en otros trabajos. Además, indica que las mezclas alcohol-agua 50–75 % etanol o metanol suelen aumentar el rendimiento de extracción en comparación con alcoholes puros, llegando en algunos casos a rendimientos superiores al 30 % en materiales específicos (Tourabi et al., 2023).

3.1.2. Cuantificación el contenido de polifenol extraído mediante el método Folin - Ciocalteu.

La Tabla 6 presenta el efecto que posee el tiempo de extracción y la concentración de los disolventes (EtOH - MetOH) sobre la concentración de polifenoles extraídos a partir de la cáscara de mandarina, se evidencia que el crecimiento en la concentración del disolvente posee un efecto positivo al momento de recuperar los polifenoles. Por otro lado, el contenido de polifenoles totales se expresó en mg equivalentes de ácido gálico por gramo de muestra seca.

Tabla 6. *Contenido de polifenoles de cada tratamiento.*

Tratamiento	Tiempo (min)	Concentración del disolvente (70%)	Concentración de polifenoles (mg GAE/g base seca)
T1	60	EtOH	51.08 ± 3.13^a
T2	30	EtOH	36.78 ± 10^b
T3	60	MetOH	29.56 ± 7.63^b
T4	30	MetOH	33.95 ± 5.91^b

Nota: Se presenta los resultados de los polifenoles totales determinado por el método Folin-Ciocalteu, siendo los $\pm$ desviación estándar de cada tratamiento.

En la Tabla 5 se cuantifica los extractos obtenidos a partir de cáscara deshidratada de mandarina, los valores más altos de polifenoles se presentaron en etanol al 70 % como disolvente, con un calentamiento moderado y agitación constante durante 60 minutos, seguido de filtración y concentración en rotavapor. Estos resultados son coherentes con lo reportado por **Mikucka et al. (2022)** donde se indica que las mezclas etanol-agua entre 50–80 % presentan la mejor eficiencia de extracción de compuestos fenólicos en matrices vegetales, debido a su polaridad intermedia, que favorece tanto la solubilidad como la liberación de fenoles de la matriz.

A pesar de que el metanol es ampliamente reconocido por su alta eficiencia extractiva en biomásas más lignificadas, como residuos de palma o caña, donde soluciones al 70% pueden incluso duplicar el rendimiento frente a otros solventes (**Putra et al., 2022**). En matrices de frutas o cáscaras la tendencia suele favorecer al etanol, investigaciones como las realizadas en cáscara de mango y en frutos tropicales como el “Marang” **Carating & Agosto (2025)** han demostrado que el etanol al 60–70% presenta mayor afinidad por los polifenoles predominantes en estructuras celulares más blandas o con composiciones ricas en flavonoides y ácidos fenólicos.

Chemat et al. (2017), ha demostrado que el uso de calentamiento controlado y agitación incrementa la liberación de polifenoles desde la matriz vegetal sin provocar su degradación. Este comportamiento coincide con lo observado en la Tabla 5, donde los tratamientos que utilizaron etanol al 70 % presentaron mayores contenidos fenólicos que aquellos obtenidos con otros solventes. Esto respalda que la polaridad intermedia del etanol 70 % favorece la solubilidad de flavonoides predominantes en cítricos, como hesperidina y narirutina.

3.1.3. Elaboración del microencapsulado de polifenol extraído de *Citrus reticulata* L.

En la **Figura 2**, se mostró una banda ancha en el extracto, alrededor de 3280 cm^{-1} aproximadamente, asociada a grupos O – H que pertenecen a polifenoles y azúcares naturales. Este comportamiento coincide con lo reportado por **Calderón et al. (2023)**, quien reportó un rango similar en extractos de mandarina y lo vinculó con la presencia de compuestos fenólicos y humedad ligada a las moléculas. Por otro lado, en la microcápsula (maltodextrina + extracto) se observa un leve desplazamiento y con menor intensidad que el extracto puro, este comportamiento muestra que es muy probable que se formen puentes de hidrógeno entre los

grupos fenólicos del extracto y los grupos hidroxilo de la maltodextrina, lo que indica una interacción leve y natural del extracto en la matriz (Zhao et al., 2022).

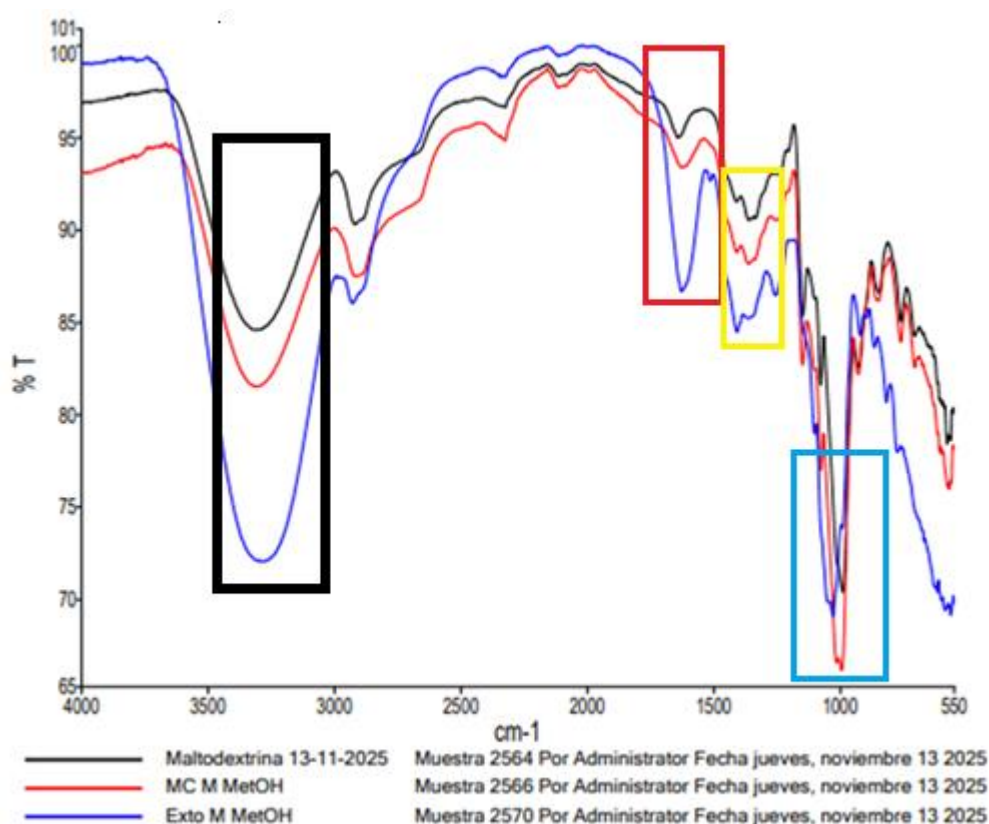


Figura 4. Espectro infrarrojo de la comparación del polímero maltodextrina, extracto concentrado mediante el solvente MetOH y microencapsulado de (*Citrus reticulata* L).

Nota. Negro = Maltodextrina, azul= extracto concentrado y rojo = microencapsulado. Los picos más importantes están reflejados en cada cuadra con su respectivo color: negro 3200 cm⁻¹ - 3600 cm⁻¹, rojo 1650 cm⁻¹ – 1750 cm⁻¹, amarillo 1500 cm⁻¹ -1450 cm⁻¹ y azul 1200 cm⁻¹ - 1000 cm⁻¹.

Del mismo modo, la señal observada en 1628 cm⁻¹ del extracto coincide con lo informado por **Kaur et al. (2024)**, quien encontró bandas entre 1600 y 1650 cm⁻¹ en cáscaras de cítricos, relacionándolas con la estructura aromática de flavonoides como hesperidina y naringina, muestra una pérdida parcial de intensidad o un ligero desplazamiento en la microcápsula frente al extracto, esto puede significar que parte de esos compuestos aromáticos (como flavonoides) están retenidos dentro de la maltodextrina o parcialmente enmascarados por la señal del polisacárido.

En el caso del pico cercano a 1407 cm⁻¹, este coincide con las vibraciones del anillo aromático mencionadas en el estudio de **Durmus et al. (2024)**, donde se describe que los extractos cítricos

suelen presentar esta banda como indicadora de polifenoles medianamente oxigenados. Finalmente, la señal ubicada alrededor de 1027 cm^{-1} coincide con lo registrado por **Kantar et al. (2020)**, quienes reportaron bandas entre 1000 y 1050 cm^{-1} asociadas a enlaces C–O provenientes de pectinas, carbohidratos y flavonoides glicosilados presentes en cáscaras de cítricos. La microcápsula muestra superposición de picos propios tanto de la maltodextrina como del extracto, esto confirma que el extracto está incorporado dentro de la pared y que la estructura polisacárida se mantiene después del proceso de encapsulación.

En el extracto sin encapsular como se muestra en la Figura 3, se ve un pico grande cerca de 3281 cm^{-1} , que normalmente aparece cuando hay muchos grupos –OH, típicos de los polifenoles de la cáscara de mandarina (**Martín et al., 2022**). Por otro lado, aparece un pico en 2929 cm^{-1} y 2916 cm^{-1} , corresponde a los estiramientos del grupo CH, característicos de materiales orgánicos como los biopolímeros y los compuestos que forman parte del recubrimiento utilizado durante la microencapsulación, los picos en 1627 cm^{-1} y 1407 cm^{-1} coinciden con señales que suelen mostrar los compuestos fenólicos que tienen anillos aromáticos. En la parte baja del espectro, los picos en 1027 cm^{-1} son característicos de enlaces C–O, este tipo de señal suele encontrarse en carbohidratos o materiales polisacáridico, lo cual confirma que el agente encapsulante está presente y mantiene su estructura después del proceso (**Pashazadeh et al., 2021**).

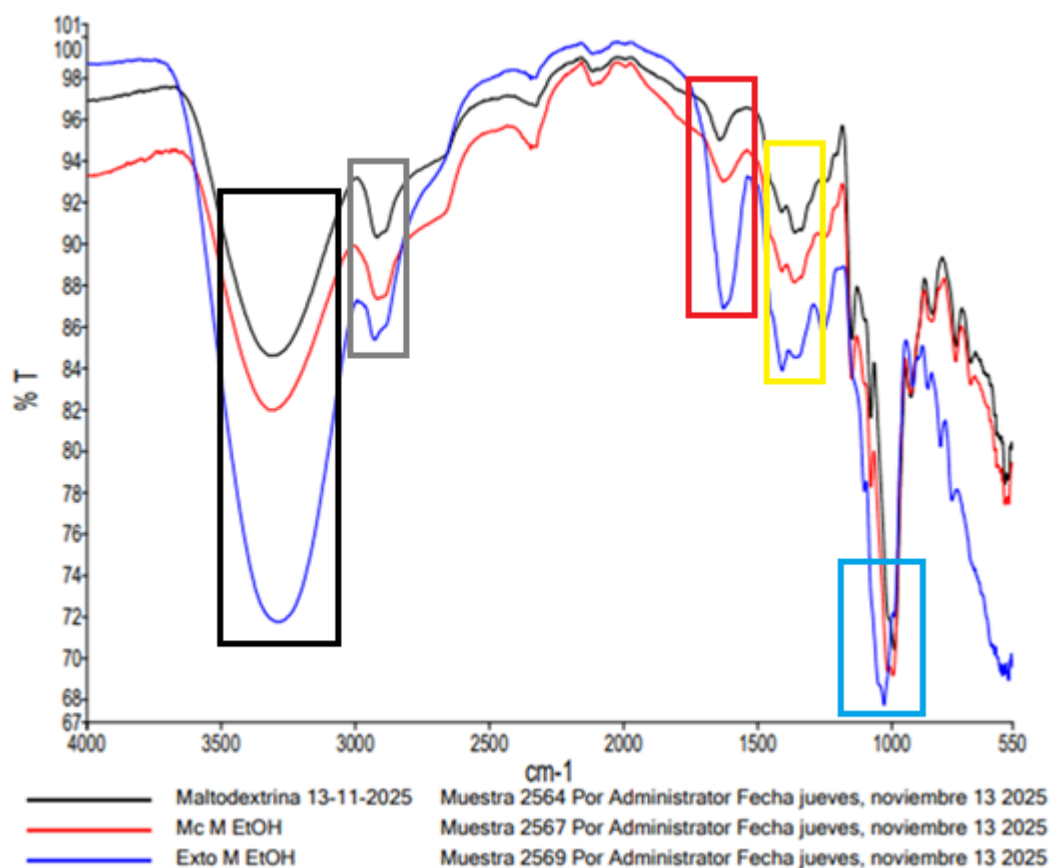


Figura 5. Espectro infrarrojo de la comparación del polímero maltodextrina, extracto concentrado mediante el solvente EtOH y microencapsulado de (*Citrus reticulata* L.).

Nota. Negro = Maltodextrina, azul= extracto concentrado y rojo = microencapsulado. Los picos más importantes están reflejados en cada cuadro con su respectivo color: negro 3281 cm^{-1} del extracto - 3304 cm^{-1} microencapsulado, gris 2929 cm^{-1} del extracto - 2916 cm^{-1} microencapsulado, rojo 1627 cm^{-1} del extracto amarillo 1407 cm^{-1} y azul 1027 cm^{-1} del extracto.

En cuanto al microencapsulado, el pico del grupo -OH cambia a 3304 cm^{-1} y el de C-H a 2916 cm^{-1} . Estos cambios indican que el extracto ya no está libre, sino que está unido a la maltodextrina (**Buljeta et al., 2021**). Por último, se compara el extracto, el microencapsulado y la maltodextrina, se nota que los picos del microencapsulado se parecen más a la maltodextrina que al extracto original. Eso muestra que sí hubo una unión entre ambos y se formó la matriz protectora.

En la Figura 4 se aprecia que la maltodextrina por sí sola muestra una línea muy simple, casi sin picos, lo cual es esperable porque este material no contiene compuestos aromáticos. Por otro lado, las líneas del microencapsulado elaborado a partir de extractos obtenidos con etanol y metanol, se observan señales nuevas en la zona de 1600–1500 cm^{-1} , señales que no aparecen

en la maltodextrina pura. Esto indica que los compuestos presentes en la cáscara de mandarina fueron retenidos dentro de la maltodextrina, lo que permite proteger y mantener los compuestos del extracto sin modificarlos (Pashazadeh et al., 2021).

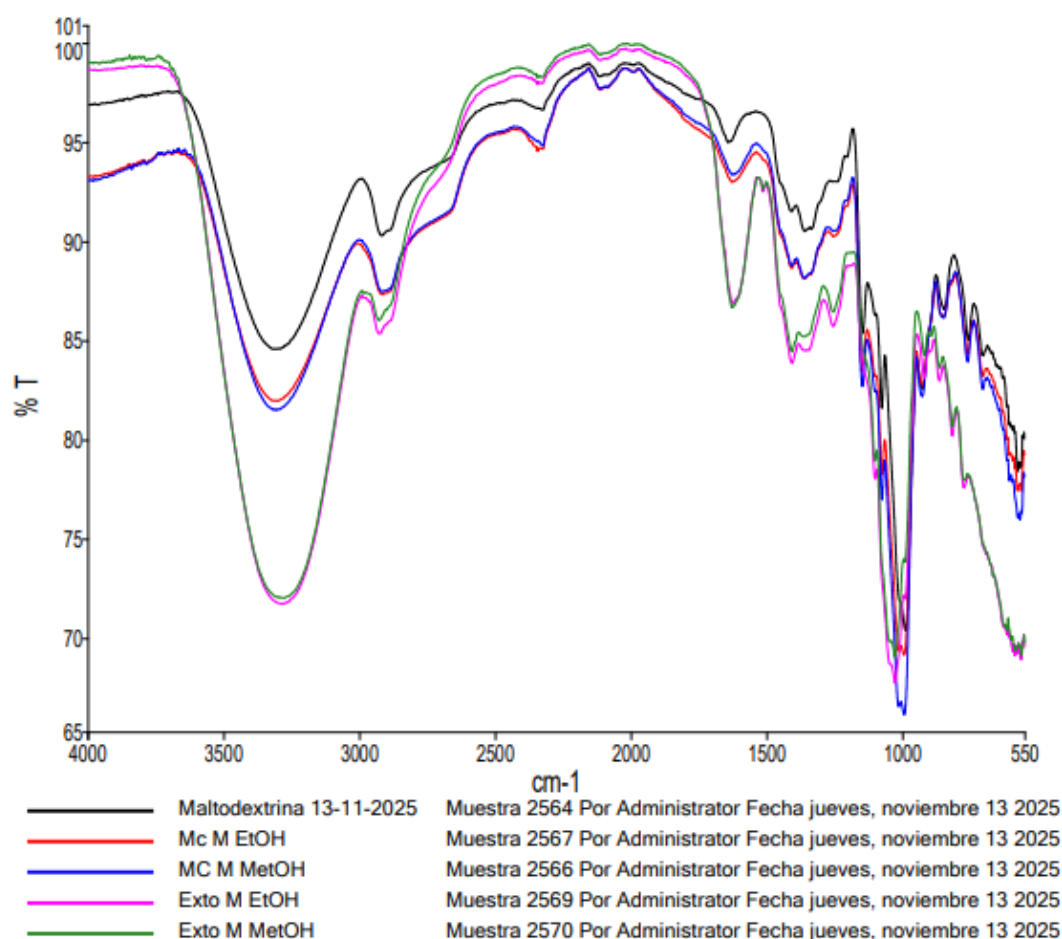


Figura 6. Espectro infrarrojo de la comparación del polímero maltodextrina, extracto concentrado mediante el solvente EtOH, MetOH y microencapsulado de (*Citrus reticulata* L.).

En cuanto a los extractos sin encapsular preparados con ambos solventes, como se nota en la Figura 4, sus líneas son muy parecidas entre sí. Esto ocurre porque el etanol y el metanol tienen comportamientos muy similares y suelen extraer prácticamente los mismos compuestos, Lemmadi et al. (2025) señala que la diferencia entre estos dos solventes es mínima. Debido a esa similitud inicial, los microencapsulados producidos a partir de extractos de etanol y metanol

también terminan mostrando espectros muy cercanos entre sí, ya que provienen prácticamente del mismo tipo de compuestos fenólicos.

Por otro lado, la muestra microencapsulada, aunque estos mismos grupos funcionales siguen presentes, los picos se ven más suaves y menos definidos; esto ocurre porque los polifenoles quedan “cubiertos” por la maltodextrina y la interacción entre ambos materiales hace que las señales se vean menos intensas. Este comportamiento ha sido descrito por **Heidari et al. (2024)**, quien explica que la encapsulación no elimina los compuestos bioactivos, pero sí cambia la forma en que el FTIR los detecta debido a la protección que ofrece la matriz. Por eso, al comparar ambas gráficas, los picos del microencapsulado siguen en las mismas zonas que el extracto puro, pero con menor fuerza, lo que confirma que el proceso mantuvo los polifenoles, solo que ahora dentro de la pared de maltodextrina.

CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- Se logró obtener un microencapsulado de polifenoles a partir de residuos de mandarina (*Citrus reticulata* L.), utilizando maltodextrina como agente encapsulante y secado por aspersión, lo que demuestra la viabilidad de transformar residuos agroindustriales en ingredientes funcionales con potencial uso en la industria alimentaria.
- La extracción de polifenoles a partir de la cáscara de mandarina (*Citrus reticulata* L.) se realizó de manera satisfactoria utilizando etanol o metanol al 70 % como disolventes. El proceso previo de deshidratación y reducción de tamaño de la muestra permitió mejorar el contacto entre el disolvente y el material vegetal, favoreciendo la liberación de los compuestos fenólicos. Los tiempos de extracción de 30 y 60 minutos bajo calentamiento y agitación constante resultaron adecuados, observándose un mejor desempeño cuando se empleó etanol como disolvente.
- Mediante el método de Folin-Ciocalteu se logró cuantificar el contenido de polifenoles presentes en los extractos obtenidos, determinándose que la condición más eficiente fue el uso de etanol al 70 % con un tiempo de extracción de 60 minutos, alcanzando un valor de 51.08 ± 3.13 mg EAG/g de extracto. Estos resultados demuestran que tanto el tipo de disolvente como el tiempo de extracción influyen directamente en la cantidad de polifenoles obtenidos.
- El microencapsulado de polifenoles extraídos de la cáscara de mandarina (*Citrus reticulata* L.) utilizando maltodextrina como agente encapsulante. El análisis por FT-IR evidenció que las bandas características de los extractos se mantienen en el microencapsulado, lo que indica que los compuestos fenólicos fueron incorporados correctamente dentro de la matriz sin presentar alteraciones significativas en su estructura. Esto confirma que la microencapsulación permitió proteger adecuadamente los polifenoles.

4.2. Recomendaciones

- Realizar otros métodos de extracción, como el ultrasonido o microondas, esto puede reducir el tiempo de proceso y aumentar el rendimiento de polifenoles en comparación con la extracción convencional.
- Utilizar otros tipos de disolventes y mezclas como acetona – agua o etanol acidificado y variar el porcentaje para determinar cual tiene una mejor extracción.
- Para la cuantificación utilizar otros métodos analíticos como HPLC, para poder determinar de manera más precisa los polifenoles individuales presentes en el extracto.
- Se recomienda evaluar la eficiencia de microencapsulación en futuros estudios, ya que este parámetro no fue determinado en el presente trabajo y permitiría conocer qué cantidad de polifenoles quedó realmente protegida durante el secado por aspersión.
- El microencapsulado obtenido se puede utilizar para el desarrollo de un producto alimenticio funcional, ya que su contenido de polifenoles podría aportar beneficios antioxidantes y permitir su aplicación práctica en matrices como bebidas, yogures o productos de panificación.

BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, B. (2021). *Aprovechamiento de La Mandarina (Citrus reticulata) en La Elaboración de Gomitas Saludables* [Unidad Educativa “Benjamín Araujo”]. <https://es.scribd.com/document/553646652/Aprovechamiento-de-la-mandarina-Citrus-reticulata-en-la-elaboracion-de-gomitas-saludables->
- Anticona, M., Lopez-Malo, D., Frigola, A., Esteve, M. J., & Blesa, J. (2022). Comprehensive analysis of polyphenols from hybrid Mandarin peels by SPE and HPLC-UV. *LWT*, 165, 113770. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2022.113770>
- Attri, N., Kaur, S., & Aggarwal, P. (2025). Spray Drying: A Promising Technique in Food Processing – Concept, Applications, and Latest Advancements. *Novel Drying Technologies in Food Science [Working Title]*. <https://doi.org/10.5772/INTECHOPEN.1009780>
- Buljeta, I., Pichler, A., Šimunović, J., & Kopjar, M. (2021). Polyphenols and Antioxidant Activity of Citrus Fiber/Blackberry Juice Complexes. *Molecules*, 26(15), 4400. <https://doi.org/10.3390/MOLECULES26154400>
- Calderón, E. (2014). *Utilización de cáscara de mandarina (Citrus reticulata) en la elaboración de Shichimi Togarashi y la evaluación sensorial de jueces*. (Tesis de pregrado). Universidad San Francisco de Quito.
- Calderón, K., Paz, S., Plaza-Dorado, J., & Sánchez, M. (2023). Ultrasound-assisted extraction of polyphenols from mandarin peel (C. reticulata Blanco). *Ingeniería y Competitividad*, 25(Suplemento). <https://doi.org/10.25100/IYC.V25ISUPLEMENTO.13157>
- Carating, B. D., & Agosto, N. J. (2025). Total Phenolic Content, Total Flavonoid Content and Antioxidant Activity of Various Solvent Extracts from the Peels and Seeds of ‘Marang’ (Artocarpus odoratissimus Blanco). *Journal of Science and Mathematics Letters*, 13(1), 106–115. <https://doi.org/10.37134/jsml.vol13.1.10.2025>
- Castromonte, M., Wacyk, J., & Valenzuela, C. (2020). Encapsulación de extractos antioxidantes desde sub-productos agroindustriales: una revisión. *Revista Chilena de Nutrición*, 47(5), 836–847. <https://doi.org/10.4067/S0717-75182020000500836>

- Chemat, F., Rombaut, N., Meullemiestre, A., Turk, M., Perino, S., Fabiano-Tixier, A. S., & Abert-Vian, M. (2017). Review of Green Food Processing techniques. Preservation, transformation, and extraction. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 41, 357–377. <https://doi.org/10.1016/J.IFSET.2017.04.016>
- Costanzo, G., Vitale, E., Iesce, M., Naviglio, D., Amoresano, A., Fontanarosa, C., Spinelli, M., Ciaravolo, M., & Arena, C. (2022). Antioxidant Properties of Pulp, Peel and Seeds of Phlegrean Mandarin (*Citrus reticulata* Blanco) at Different Stages of Fruit Ripening. *Antioxidants*, 11(2). <https://doi.org/10.3390/ANTIOX11020187/S1>
- Díaz, E., Cerón, G., & Vargas, E. (2023). Encapsulación de compuestos bioactivos: una revisión sistemática. *PADI*. <https://doi.org/10.29057/icbi.v10iEspecial4.9575>
- Díez de la Iglesia, L. (2018). *Métodos Analíticos para la Determinación de Antioxidantes en Muestras*. (Trabajo de grado). Universidad Complutense.
- Diniso, T., Oriola, A., Adeyemi, J., Miya, G., Hosu, Y., Oyedeji, O., Kuria, S., & Oyedeji, A. (2024). Citrus wastes: A valuable raw material for biological applications. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 14(8), 2. <https://doi.org/10.7324/JAPS.2024.158781>
- Durmus, N., Gulsunoglu-Konuskan, Z., & Kilic-Akyilmaz, M. (2024). Recovery, Bioactivity, and Utilization of Bioactive Phenolic Compounds in Citrus Peel. In *Food Science and Nutrition* (Vol. 12, Issue 12, pp. 9974–9997). John Wiley and Sons Inc. <https://doi.org/10.1002/fsn3.4570>
- El Kantar, S., Rajha, H. N., Maroun, R. G., & Louka, N. (2020). Intensification of polyphenols extraction from orange peels using infrared as a novel and energy saving pretreatment. *Journal of Food Science*, 85(2), 414–420. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15016>
- El Mannoubi, I. (2023). Impact of different solvents on extraction yield, phenolic composition, in vitro antioxidant and antibacterial activities of deseeded *Opuntia stricta* fruit. *Journal Umm Al-Qura University for Applied Sciences*, 9(2), 176–184. <https://doi.org/10.1007/S43994-023-00031-Y>

- Gómez, E., Díaz, D., & Villanueva, J. (2018). Polifenoles totales y capacidad antioxidante en cáscara y hojas de doce cítricos. *Scientia Agropecuaria*, 9(1), 113–121. <https://doi.org/10.17268/SCI.AGROPECU.2018.01.13>
- Hasani, A., Mohammadi, M., Hajian, M., & Nieai, A. A. (2022). Synthesis of spherical mullite/Yb₂SiO₅ composite EBC powder by using mechanical alloying and spray dry processes. *International Journal of Materials Research*, 113(7), 626–634. <https://doi.org/10.1515/IJMR-2020-8195>
- Heidari, M., Pezeshki, A., Ghanbarzadeh, B., Hamishehkar, H., Ahmadzadeh Nobari Azar, F., Mohammadi, M., & Ghorbani, M. (2024). Microencapsulation of Vitis vinifera grape pulp phenolic extract using maltodextrin and its application in gummy candy enrichment. *Food Science and Nutrition*, 12(5), 3405–3416. <https://doi.org/10.1002/fsn3.4005>
- Kaur, S., Singh, V., Chopra, H., & Panesar, P. (2024). Extraction and characterization of phenolic compounds from mandarin peels using conventional and green techniques: a comparative study. *Discover Food*, 4(1). <https://doi.org/10.1007/s44187-024-00139-y>
- Lang, Y., Gao, N., Zang, Z., Meng, X., Lin, Y., Yang, S., Yang, Y., Jin, Z., & Li, B. (2024). Classification and antioxidant assays of polyphenols: a review. *Journal of Future Foods*, 4(3), 193–204. <https://doi.org/10.1016/J.JFUTFO.2023.07.002>
- Lasprilla, D. (2020). Mandarina (Citrus reticulata Blanco): Manual de recomendación técnicas para su cultivo en el departamento de Cundinamarca. *Corredor Tecnológico Agroindustrial*, CTA-2.
- Lema, M. (2024). *Evaluación de la capacidad antioxidante de los polifenoles microencapsulados procedentes de la cáscara del taxo (Passiflora tarminiana)*. (Tesis de pregrado). Universidad Técnica de Ambato.
- Lemmadi, S., Dumas, E., Adoui, F., Agusti, G., Vessot-Crastes, S., Medfai, W., & Gharsallaoui, A. (2025). Spray-Drying Microencapsulation of Artemisia herba-alba Phenolic Extract: Physicochemical Properties, Structural Characterization, and Bioactivity. *Molecules*, 30(19), 3904. <https://doi.org/10.3390/MOLECULES30193904>

- Llerena, K. (2025). *Evaluación del potencial antioxidante del extracto de curuba (Passiflora mixta) microencapsulado mediante secado por aspersión y su uso en la formulación de una mermelada de frutos rojos*. (Tesis de pregrado). Universidad Técnica de Ambato.
- Madrid, J. (2013). *Diseño de la máquina procesadora de cáscara de mandarina*. (Tesis de pregrado). Universidad Pontificia Bolivariana.
- Madrigal, L., Sumalla, S., & Pascual, I. (2022). Tecnologías de conservación de frutos rojos basadas en residuos de Eucalyptus Globulus. *Environmental, Sciences and Practices*. <https://www.mlsjournals.com/Environmental-Science-Practices/article/download/1360/2394>
- Martín, B., Aznar, M., Verardo, V., & Gómez, A. (2022). The Establishment of Ultrasonic-Assisted Extraction for the Recovery of Phenolic Compounds and Evaluation of Their Antioxidant Activity from Morus alba Leaves. *Foods*, 11(3), 314. <https://doi.org/10.3390/FOODS11030314/S1>
- Martins, G. R., Monteiro, A. F., do Amaral, F. R. L., & da Silva, A. S. (2021). A validated Folin-Ciocalteu method for total phenolics quantification of condensed tannin-rich açai (Euterpe oleracea Mart.) seeds extract. *Journal of Food Science and Technology*, 58(12), 4693–4702. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04959-5>
- Mikucka, W., Zielinska, M., Bulkowska, K., & Witonska, I. (2022). Recovery of polyphenols from distillery stillage by microwave-assisted, ultrasound-assisted and conventional solid–liquid extraction. *Scientific Reports*, 12(1), 3232-. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-07322-0>
- Mohammed, N. K., Tan, C. P., Manap, Y. A., Muhialdin, B. J., & Hussin, A. S. M. (2020). Spray Drying for the Encapsulation of Oils—A Review. *Molecules*, 25(17), 3873. <https://doi.org/10.3390/MOLECULES25173873>
- Montoya, C. (2024). *Evaluación de la actividad antioxidante de polifenoles microencapsulados obtenidos a partir de la cáscara de plátano (Musa paradisiaca)*. (Tesis de pregrado). Universidad Técnica de Ambato.

- Musara, C., Aladejana, E., & Mudyiwa, S. (2020). Review of the nutritional composition, medicinal, phytochemical and pharmacological properties of *Citrus reticulata* Blanco (Rutaceae). *Research*, 9, 1387. <https://doi.org/10.12688/f1000research.27208.1>
- Nemzer, B. V., Al-Taher, F., Kalita, D., Yashin, A. Y., & Yashin, Y. I. (2025). Health-Improving Effects of Polyphenols on the Human Intestinal Microbiota: A Review. *International Journal of Molecular Sciences*, 26(3), 1335. <https://doi.org/10.3390/IJMS26031335>
- Ohishi, T., Fukutomi, R., Shoji, Y., Goto, S., & Isemura, M. (2021). The Beneficial Effects of Principal Polyphenols from Green Tea, Coffee, Wine, and Curry on Obesity. *Molecules* (Basel, Switzerland), 26(2). <https://doi.org/10.3390/MOLECULES26020453>
- Parra, R. (2011). Microencapsulación de Alimentos. *Scielo*, 63(2), 5669–5684.
- Parzanese, M. (2018). Microencapsulación. *Tecnologías Para La Industria Alimentaria*. www.alimentosargentinos.gob.ar
- Pashazadeh, H., Zannou, O., Ghellam, M., Koca, I., Galanakis, C. M., & Aldawoud, T. M. S. (2021). Optimization and Encapsulation of Phenolic Compounds Extracted from Maize Waste by Freeze-Drying, Spray-Drying, and Microwave-Drying Using Maltodextrin. *Foods*, 10(6), 1396. <https://doi.org/10.3390/FOODS10061396>
- Pereira, C. (2013). Utilización de imágenes digitales para medición de diámetro de frutos de mandarina (*Citrus reticulata*) en crecimiento. *Ciencia y Tecnología*, 6(1), 1–9. <https://doi.org/10.18779/CYT.V6I1.129>
- Pérez, M., Dominguez-López, I., & Lamuela-Raventós, R. M. (2023). The Chemistry Behind the Folin-Ciocalteu Method for the Estimation of (Poly)phenol Content in Food: Total Phenolic Intake in a Mediterranean Dietary Pattern. In *Journal of Agricultural and Food Chemistry* (Vol. 71, Issue 46, pp. 17543–17553). American Chemical Society. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.3c04022>
- Piñón, C., Leyva, C., Terán, Y., Espinosa, V., Álvarez, C., & Saavedra, M. (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>

- Putra, L., Sukweenadhi, J., Nathania, C., Wibowo, E. S., Buschle-Diller, G., & Marianti, M. G. (2022). Comparative study of polyphenolic compound extraction from empty palm fruit bunches and sugarcane pulp. *Heliyon*, 8(2), e08951. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e08951>
- Quispe, M. (2023). *Capacidad antioxidante en cáscara de mandarina cleopatra y naranja valencia, estabilidad oxidativa y sensorial en galletas*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria de la Selva.
- Rios, S., & Garzón, M. (2021). Microencapsulación por secado por aspersión de compuestos bioactivos en diversas matrices: una revisión. *TecnoLógicas*. <https://doi.org/10.22430/22565337.1836>
- Rodríguez, J., Gardea, J., & Calderón, R. (2018). *Mandarinas: parámetros fisicoquímicos*.
- Safdar, M., Kausar, T., Jabbar, S., Mumtaz, A., Ahad, K., & Saddozai, A. A. (2017). Extraction and quantification of polyphenols from kinnow (*Citrus reticulata* L.) peel using ultrasound and maceration techniques. *Journal of Food and Drug Analysis*, 25(3), 488–500. <https://doi.org/10.1016/J.JFDA.2016.07.010>
- Safdar, M. N., Kausar, T., Nadeem, M., Murtaza, M., Sohail, S., Mumtaz, A., Siddiqui, N., Jabbar, S., & Afzal, S. (2022). Extraction of phenolic compounds from (*Mangifera indica* L.) and kinnow (*Citrus reticulata* L.) peels for the development of functional fruit bars. *Food Science and Technology (Brazil)*, 42. <https://doi.org/10.1590/fst.09321>
- Tourabi, M., Metouekel, A., ghouizi, A. E. L., Jeddi, M., Nouioura, G., Laaroussi, H., Hosen, M. E., Benbrahim, K. F., Bourhia, M., Salamatullah, A. M., Nafidi, H. A., Wondmie, G. F., Lyoussi, B., & Derwich, E. (2023). Efficacy of various extracting solvents on phytochemical composition, and biological properties of *Mentha longifolia* L. leaf extracts. *Scientific Reports*, 13(1). <https://doi.org/10.1038/S41598-023-45030-5>
- Wu, G. A., Terol, J., Ibanez, V., López-García, A., Pérez-Román, E., Borredá, C., Domingo, C., Tadeo, F. R., Carbonell-Caballero, J., Alonso, R., Curk, F., Du, D., Ollitrault, P., Roose, M. L., Dopazo, J., Gmitter, F. G., Rokhsar, D. S., & Talon, M. (2018). Genomics of the origin and evolution of Citrus. *Nature* 2018 554:7692, 554(7692), 311–316. <https://doi.org/10.1038/nature25447>

- Yeh, C., Ebbing, T., Frick, K., Schmid-Staiger, U., Haasdonk, B., & Tovar, G. E. M. (2023). Improving Determination of Pigment Contents in Microalgae Suspension with Absorption Spectroscopy: Light Scattering Effect and Bouguer–Lambert–Beer Law. *Marine Drugs*, 21(12), 619. <https://doi.org/10.3390/MD21120619>
- Zambrano, J. (2019). *Evaluación del estándar de calidad en el manejo postcosecha de la mandarina (Citrus retícula) en el sitio San Andrés del Cantón Chone, en el año 2019*. (Tesis de pregrado). Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí.
- Zambrano, M., Vera, A., & Vera, T. (2024). *Microencapsulación en la industria alimentaria: avances y tendencias actuales*. 9(2), 51–60.
- Zhang, H., Wang, M., & Xiao, J. (2022). Stability of polyphenols in food processing. *Advances in Food and Nutrition Research*, 102, 1–45. <https://doi.org/10.1016/BS.AFNR.2022.04.006>
- Zhao, M., Cao, W., Li, L., Ren, A., Ang, Y., Chen, J., Bhandari, B., Wang, Z., Ren, X., Ren, G., & Duan, X. (2022). Effects of different proteins and maltodextrin combinations as wall material on the characteristics of Cornus officinalis flavonoids microcapsules. *Frontiers in Nutrition*, 9, 1007863. <https://doi.org/10.3389/FNUT.2022.1007863/BIBTEX>

ANEXOS

Anexo 1. Recolección de la materia prima *Citrus reticulata* L.



Anexo 2. Preparación y deshidratado de la cáscara de *Citrus reticulata* L.



A: Lavado y desinfección de la materia prima, B: pelado de fruta, C: corte de tiras de 0,5 cm de la cáscara de mandarina y D: deshidratación de la cáscara.

Anexo 3. Pulverización de la cáscara



Anexo 4. Proceso de extracción de polifenoles de la cáscara de mandarina con EtOH y MetOH mediante la plancha de calentamiento



Anexo 5. Obtención del extracto concentrado mediante un Rotavapor



Anexo 6. Almacenamiento en botellas ámbar cada extracto obtenido



Anexo 7. Determinación de humedad del extracto



Anexo 8. Determinar la absorbancia con la placa de 96 pocillos



Anexo 9. Microencapsulación del extracto de polifenoles mediante secado por aspersión.



Anexo 10. Microencapsulado final de los extractos



Anexo 11. Espectrofotometría infrarroja del extracto y microencapsulado



Anexo 13. Curva de calibración de Ácido gálico

