



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO



FACULTAD DE CIENCIA, INGENIERÍA EN ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGÍA

CARRERA DE BIOTECNOLOGÍA

Tema: Evaluación de la actividad antioxidante de extractos de Yuwi (*Gurania lobata*) microencapsulados mediante secado por aspersión

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

Autor: Darwin Joel Peñafiel Castillo

Tutor: Dr. Orestes Darío López Hernández

Ambato – Ecuador

Enero - 2026

APROBACIÓN DEL TUTOR

Dr. Orestes Darío López Hernández.

CERTIFICA:

Que el presente Informe Final del Trabajo de Titulación ha sido prolijamente revisado. Por lo tanto, autorizo la presentación de este Informe Final del Trabajo de Titulación, Opción Proyecto de Investigación, el mismo que responde 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



Dr. Orestes Darío López Hernández

1754784864

TUTOR

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Darwin Joel Peñafiel Castillo, 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.



Darwin Joel Peñafiel Castillo

0605001254

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.



Darwin Joel Peñafiel Castillo

0605001254

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



Dra. Mirari Yosune Arancibia Soria

1802142461



Mg. Cristian Fernando Galarza Galarza

1803160272

Ambato, 5 de enero de 2025

DEDICATORIA

A mis padres Marco y Ana y a mis hermanos, especialmente Junior y Diana, cuyo amor incondicional y apoyo constante han sido la base de cada uno de mis logros. Gracias por confiar en mí incluso en los momentos más desafiantes y por enseñarme con su ejemplo que no hay límites para lo que se puede alcanzar con esfuerzo y perseverancia. Los amo con todo mi corazón.

A mis compañeros y amigos de vida a quienes los quiero profundamente, siempre estaremos el uno para el otro.

A todos ustedes, mi inspiración y mi refugio, les dedico este trabajo con todo mi amor y gratitud.

AGRADECIMIENTO

A Dios y a la Virgen María, por su guía y bendiciones constantes.

A mi familia, especialmente a mis padres, Marco y Ana, y a mis hermanos Marco, Diana, John, Maritza, Junior, Anaí y Jenifer quienes han sido siempre mi mayor fortaleza y apoyo incondicional, gracias por su amor incondicional, su paciencia infinita y por ser el faro que ilumina mi camino. Sus palabras de aliento y su confianza en mí han sido el impulso que me ha permitido superar cada desafío y alcanzar mis metas. Gracias por estar siempre a mi lado, por inspirarme a ser mejor cada día y por celebrar conmigo cada pequeño logro como si fuera el más grande.

A mis compañeros de universidad, especialmente a Alex Sánchez con quienes compartí risas, retos y aprendizajes. Gracias por hacer de esta etapa una experiencia inolvidable, llena de momentos que atesoro profundamente. Cada conversación, cada proyecto compartido y cada recuerdo quedarán grabados como parte de esta hermosa travesía.

A mis profesores, especialmente mi tutor Dr. Orestes Darío López y mi maravillosa amiga Verónica Peñafiel quienes con su dedicación, paciencia y conocimientos me han instruido y guiado, ayudándome a formar no solo mi perfil profesional, sino también mi carácter y mi visión de futuro.

A todos ustedes, gracias por ser parte de este capítulo tan importante en mi vida.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL TUTOR	ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	iii
DERECHOS DE AUTOR	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	v
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS	viii
ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE ANEXOS	xiii
RESUMEN EJECUTIVO.....	xiv
ABSTRACT	xv
CAPÍTULO I CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO	16
1.1. Antecedentes Investigativos.....	16
1.1.1. <i>Gurania spinulosa</i>	17
1.1.1.1. Origen y Taxonomía	17
1.1.1.2. Características Morfológicas	18
1.1.1.3. Composición química	19
1.1.1.4. Compuestos bioactivos	20
1.1.2. Carotenoides	20
1.1.3. Ácidos grasos.....	22
1.1.4. Técnicas implicadas en la extracción de componentes bioactivos	23
1.1.4.1. Extracción con solventes	23
1.1.4.2. Extracción asistida por microondas (EAM)	23
1.1.4.3. Extracción asistida por ultrasonido (EAU).....	24
1.1.5. Microencapsulación.....	24
1.1.5.1. Secado por aspersión	24

1.2. Objetivos.....	27
1.2.1. Objetivo General.....	27
1.1.2. Objetivos Específicos	27
1.3. Hipótesis	27
1.3.1. Hipótesis Nula	27
1.3.2. Hipótesis Alternativa	27
1.4. Variables	28
1.4.1. Variables Independientes	28
1.4.2. Variables Dependientes.....	28
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	29
2.1. Materiales	29
2.1.1. Materia prima.....	29
2.1.2. Reactivos.....	29
2.1.3. Material fungible	30
2.1.4. Equipos	30
2.2. Métodos	31
2.2.1. Microemcapsulación de extractos de Yuwi (<i>Gurania lobata</i>) mediante secado por aspersión.	31
2.2.1.1. Obtención del material.....	31
2.2.1.2. Preparación de muestras	31
2.2.1.3. Extracción de carotenoides a partir del mesocarpio del yuwi	32
2.2.1.4. Extracción de ácidos grasos a partir de las semillas del yuwi	33
2.2.1.5. Cuantificación de carotenoides.....	34
2.2.1.6. Cuantificación de ácidos grasos.....	34
2.2.1.7. Análisis Estadístico	35
2.2.1.8. Microencapsulación mediante secado por aspersión.....	36
2.2.2. Análisis de la eficiencia de la microencapsulación mediante espectroscopía infrarroja por la transformada de Fourier (FTIR).	37

2.2.2.1. Análisis de la eficiencia de la microencapsulación por espectroscopía infrarroja	37
2.2.3. Evaluación de la capacidad antioxidante in vitro de extractos microencapsulados de Yuwi (<i>Gurania lobata</i>) aplicando el método DPPH.	38
2.2.3.1. Análisis de la actividad antioxidante mediante el método DPPH.....	38
CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	39
3.1. Análisis y discusión de los resultados.....	39
3.1.1. Determinación cuantitativa de la concentración de carotenoides obtenidos del mesocarpio del fruto del Yuwi.	39
3.1.3. Eficiencia de la microencapsulación del extracto obtenido del mesocarpio del fruto de yuwi	48
3.1.3.1. Eficiencia cualitativa de la microencapsulación de carotenoides.....	48
3.1.3.2. Eficiencia cuantitativa de la microencapsulación de carotenoides.....	52
3.1.4. Eficiencia de la microencapsulación del extracto obtenido de las semillas del yuwi	53
3.1.4.1. Eficiencia cualitativa de la microencapsulación del extracto de yuwi	53
3.1.5. Evaluación in vitro de la capacidad antioxidante mediante el método DPPH	55
3.2. Verificación de hipótesis.....	57
CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	57
4.1. Conclusiones.....	57
4.2. Recomendaciones	59
CAPÍTULO V. MATERIALES DE REFERENCIA	60
Referencias bibliográficas	60
Anexos	67

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Información Taxonómica del Yuwi (<i>Gurania lobata</i>)	18
Tabla 2 Variables Independientes	28
Tabla 3 Variables Dependientes	28
Tabla 4 Materia prima empleada para el proyecto de investigación	29
Tabla 5 Listado de reactivos empleados en el proyecto de investigación	29
Tabla 6 Material fungible empleado en el proyecto de investigación	30
Tabla 7 Listado de equipos empleado en el proyecto de investigación	30
Tabla 8 Condiciones de extracción de carotenoides	33
Tabla 9 Condiciones de extracción de ácidos grasos	34
Tabla 10 Concentración de carotenoides del mesocarpio del yuwi para cada tratamiento	39
Tabla 11 Análisis de varianza del extracto del mesocarpio del yuwi	41
Tabla 12 Concentración de sólidos totales del mesocarpio del yuwi para cada tratamiento ..	44
Tabla 13 Análisis de varianza de los sólidos totales obtenidos se las semillas del yuwi	45
Tabla 14 Porcentaje de la eficiencia cuantitativa del concentrado de carotenoides en el microencapsulado	52
Tabla 15 Porcentaje de inhibición de carotenoides	56
Tabla 16 Resultados del porcentaje de Inhibición de ácidos grasos	56

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Gurania spinulosa</i>	19
Figura 2 Esquema de la técnica de microencapsulación mediante secado por aspersión.....	26
Figura 3 Diagrama de Pareto de efectos estandarizados del mesocarpio del yuwi	42
Figura 4 Gráfica de superficie del mesocarpio del yuwi.	43
Figura 5 Diagrama de Pareto de efectos estandarizados de las semillas del yuwi	46
Figura 6 Gráfica de superficie de las semillas del yuwi	47
Figura 7 Espectro infrarrojo por transformada de Fourier del concentrado de carotenoides del yuwi.....	49
Figura 8 Espectro infrarrojo por transformada de Fourier del microencapsulado de carotenoides del yuwi	50
Figura 9 Espectros superpuestos de las muestras analizadas.....	51
Figura 10 Espectro infrarrojo por transformada de Fourier del microencapsulado de ácidos grasos del yuwi	54
Figura 11 Espectro infrarrojo por transformada de Fourier del combinado de biopolímeros.....	55

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1	Concentración de carotenoides del mesocarpio del yuwi para cada tratamiento.....	67
Anexo 2	Concentración de solidos totales del mesocarpio del yuwi para cada tratamiento ...	68
Anexo 3	Contenido de humedad de las muestras secas.....	68
Anexo 4	Datos de la eficiencia cuantitativa de la microencapsulación de carotenoides.....	69
Anexo 5	Eliminación de radicales DPPH con el extracto de fruto de Yuwi acuoso.....	69
Anexo 6	Eliminación de radicales DPPH con el microencapsulado de fruto de Yuwi	69
Anexo 7	Curva de eliminación de radicales DPPH con el extracto de fruto de Yuwi acuoso.	70
Anexo 8	Curva de eliminación de DPPH con extracto microencapsulado de fruto de Yuwi..	70
Anexo 9	Curva de eliminación de DPPH con extracto microencapsulado de las semillas de Yuwi	71

RESUMEN EJECUTIVO

La evaluación de compuestos bioactivos en especies subutilizadas como *Gurania lobata* (Yuwi) es fundamental para abordar problemas críticos como las enfermedades no transmisibles, dada su similitud con otras cucurbitáceas ricas en carotenoides y ácidos grasos. Este estudio se enfocó en la evaluación de la capacidad antioxidante en extractos y microencapsulados con la finalidad de mejorar la estabilidad de compuestos bioactivos. Se empleó dos diseños factoriales para evaluar parámetros de extracción, considerando la relación material con respecto al volumen del solvente y el tiempo de extracción como factores independientes. Las condiciones óptimas en la extracción de carotenoides fue la relación 1 gramo por cada 15 microlitros de etanol en 90 minutos, mientras que en ácidos grasos fue 1 gramo por cada 20 microlitros durante 60 minutos. El contenido de carotenoides fue de 18,01 mg sobre litro, mientras que los sólidos totales para los ácidos grasos correspondieron al 2,63 por ciento. La microencapsulación se realizó utilizando maltodextrina y goma arábica en proporción 35 por ciento respectivamente, misma que evidencio una eficiencia de microencapsulación del 93,02 por ciento para carotenoides, confirmado por espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier. La actividad antioxidante de los microencapsulados de carotenoides y ácidos grasos, evaluada mediante el método DPPH, presentaron valores de inhibición 89 más menos 0,003 por ciento y 77 más menos 0,09 respectivamente. Los resultados obtenidos de los extractos del yuwi (*Gurania spinulosa*) evidencian el potencial de esta planta con las actividades biológicas y su posible aplicación en diferentes industrias.

Palabras clave: Microencapsulación, carotenoides, extracto, compuestos bioactivos y ácidos grasos.

ABSTRACT

The evaluation of bioactive compounds in underutilized species such as *Gurania lobata* (Yuwi) is essential to address critical problems such as non-communicable diseases, given its similarity to other cucurbits rich in carotenoids and fatty acids. This study focused on the evaluation of antioxidant capacity in extracts and microencapsulated samples with the purpose of improving the stability of bioactive compounds. Two factorial designs were used to evaluate extraction parameters, considering the material-to-solvent volume ratio and extraction time as independent factors. The optimal conditions for carotenoid extraction were the ratio of 1 gram per 15 microliters of ethanol for 90 minutes, while for fatty acids the optimal conditions were 1 gram per 20 microliters for 60 minutes. The carotenoid content was 18.01 mg per liter, while the total solids for fatty acids corresponded to 2.63 percent. Microencapsulation was carried out using maltodextrin and gum arabic in a proportion of 35 percent each, which showed a microencapsulation efficiency of 93.02 percent for carotenoids, confirmed by Fourier-transform infrared spectroscopy. The antioxidant activity of the microencapsulated carotenoids and fatty acids, evaluated by the DPPH method, presented inhibition values of 89 more less 0.003 percent and 77 more less 0.09 percent, respectively. The results obtained from the Yuwi (*Gurania spinulosa*) extracts demonstrate the potential of this plant due to its biological activities and its possible application in different industries.

Keywords:

Microencapsulation, carotenoids, extract, bioactive compounds, and fatty acids.

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes Investigativos

La investigación de los compuestos bioactivos en la familia de las cucurbitáceas ha cobrado relevancia debido a su potencial como fuente de compuestos antioxidantes y antiinflamatorios (**León-Cristancho et al., 2022**). Especies como *Citrullus lanatus* (sandía), *Cucurbita pepo* (calabaza) y *Momordica charantia* (melón) se conocen por sus altos contenidos de carotenoides, ácidos grasos insaturados y compuestos fenólicos, los cuales han sido explotados en la formulación de alimentos funcionales y nutraceuticos (**Salma, 2006**). Sin embargo, especies amazónicas del género *Gurania*, como *G. spinulosa* (Yuwi), permanecen subestudiadas a pesar de su adaptación a ecosistemas biodiversos.

En los últimos años la creciente incidencia de las enfermedades no transmitibles (ENT) como el cáncer, la hipertensión, trastornos cardiovasculares y enfermedades neurodegenerativas simbolizan una de las principales causas de mortalidad y morbilidad a nivel mundial (**Cajaleón, 2021**). Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) las ENT son unas de las principales causas de muertes y la pérdida de salud en el mundo, solo en el 2021 representaron el 75% de muertes no pandémicas lo que equivale al menos a 43 millones de muertes en el año (**Organización de los Estados Americanos, 2023**).

Estas enfermedades están vinculadas al estrés oxidativo desencadenando en consecuencia por un desequilibrio en la producción de especies reactivas de oxígeno (ROS) y la capacidad endógena del cuerpo para neutralizarlas (**Rodríguez Graña et al., 2015**). Los antioxidantes como los betacarotenoides y ácidos grasos han demostrado su eficacia en la

reducción del daño oxidativo y en la inflamación celular (**Villamizar Ortiz & Aristizábal Serna, 2023**). Sin embargo, su inestabilidad causada por los factores ambientales como la luz y el oxígeno ha limitado su funcionalidad y biodisponibilidad en las aplicaciones clínicas (**Suárez Heredia et al., 2019**).

En este contexto, la microencapsulación mediante secado por aspersión es una técnica que permite mejorar la estabilidad fisicoquímica y la biodisponibilidad de compuestos bioactivos sensibles frente a los factores externos, durante el almacenamiento y el consumo. Además, permite una liberación controlada mejorando su funcionalidad en aplicaciones terapéuticas (**Rodríguez-Hernández et al., 2022**).

1.1.1. *Gurania spinulosa*

1.1.1.1. Origen y Taxonomía

La planta *Gurania lobata*, conocida comúnmente como “Yuwi” o “zapallo” es una planta cucurbitácea trepadora dioica que se encuentra de manera natural en la Amazonia sudamericana principalmente en Colombia, Venezuela, Perú, Brasil y en los últimos años en Ecuador, particularmente en la provincia de Morona Santiago, en el cantón Taisha (**Salma, 2006**).

G. lobata fue descrita por primera vez por Poeppig y Endlicher a partir de ejemplares obtenidos de Perú como *Anguria spinulosa* en 1838, sin embargo, no es hasta 1876 que recibe el nombre de *Gurania spinulosa* por el botánico Célestin Alfred Cogniaux quien la especie descrita originalmente como *Anguria spinulosa* al género *Gurania*. Finalmente, 1999 John F.

Pruski establece el nombre de *Gurania lobata* al concluir *Gurania spinulosa* hace referencia a la misma especie descrita por Carl Linnaeus como *Anguria lobata* en 1775 (Vilela-Santos, 2012; Pruski, 1999). En la **Tabla 1** se refleja la descripción taxonómica de la misma.

Tabla 1

Información Taxonómica del Yuwi (Gurania lobata)

Reino	Plantae
Filum	Tracheophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Cucurbitales
Familia	Cucurbitaceae
Género	<i>Gurania</i>
Especie	<i>Gurania lobata</i>

Nota. (Pruski, 1999)

1.1.1.2. Características Morfológicas

G. lobata se caracteriza por poseer un tallo estriado, pubescente y crespado que llega a medir hasta 6 metros de largo, sus hojas son ovalado, reniformes, cordadas y denticuladas, mientras que sus flores son amarillas con hipanto urceolado-cilíndrico. Los frutos son forma cilíndricos con pulpa amarillenta y las semillas son de morfología ovoide-oblongas con manchas grises dispuestas horizontalmente (DelascioChitty & López, 2007).

Figura 1

Gurania spinulosa



Nota. (Ladislav, 2022)

1.1.1.3. Composición química

G. lobata está compuesto principalmente por agua, con un contenido de humedad de aproximadamente 90,28%, no obstante, en su fracción de materia seca, destaca el alto contenido de fibra (2,64 g/100 g). Asimismo, su contenido proteico el cual es de aproximadamente (2,82 g/100 g) de los cuales 2,31 g corresponden a proteína digerible (Naranjo et al., 2014).

Desde el punto de vista mineral, *G. lobata* presenta un perfil enriquecido en macro y micronutrientes, como el contenido de calcio (578,30 mg/100 g), magnesio (216,67 mg/100 g) y potasio (69,84 mg/100 g), esenciales en funciones cardiovasculares. Asimismo, presenta trazas como hierro (0,30 mg), zinc (0,08 mg) y cobre (0,05 mg), que son fundamentales en el metabolismo celular (Naranjo, 2014; Valentino et al., 2014).

1.1.1.4. Compuestos bioactivos

G. Lobata demuestra un perfil nutricional notable por su alto contenido en compuestos bioactivos de gran interés en las industria farmacéutica y alimentaria. De los cuales destacan los aminoácidos esenciales, como metionina (1,219 g), leucina (0,695 g), treonina (0,698 g), isoleucina (0,642 g), valina (0,056 g) y triptófano (0,976 g), esenciales para la síntesis proteica. Adicionalmente, contiene vitamina C (22,86 mg/100 g) potencial agente oxidante y trazas de nicotinamida y riboflavina (B2), cofactores necesarios en la producción de energía (**Naranjo, 2014; Saedisomeolia & Ashoori, 2018**).

1.1.2. Carotenoides

Los carotenoides son un grupo de pigmentos liposolubles que se encuentran en las frutas y verduras responsables de los colores amarillos, naranja y rojo (**Pilco, 2013**), estructuralmente son tetraterpenoides cuya característica principal es, su sistema de dobles enlaces conjugados que les permite la capacidad para absorber luz en el espectro visible lo cual confiere los colores característicos (**Ezquerria-Brauer & Chan-Higuera, 2021**). Los carotenoides presentan un gran interés debido a que pueden neutralización de especies reactivas (ROS) responsables del estrés oxidativo celular, además, que algunos carotenoides como los betacarotenos son responsables de funciones biológicas críticas como la visión y la inmunidad al actuar como precursores de la vitamina A (**Chamorro Requena, 2017**).

Los carotenoides han ganado su relevancia en múltiples industrias en las que se destaca industria alimentaria, cosmética y farmacéutica gracias a sus propiedades y funcionalidad.

En la industria alimentaria los carotenoides son apreciados gracias a que pueden ser utilizados como colorantes naturales y presentar actividad antioxidante. Como colorantes, en los productos como bebidas, confitería y lácteos brindan colores atractivos los cuales reemplazan a los colorantes sintéticos mismos que han generado en los consumidores críticas de preocupación **(Estrella et al., 2023)**. Por otra parte, la capacidad antioxidante evita la oxidación de las grasas y aceites al mismo tiempo que impide el progreso de sabores rancios lo cual prolonga la vida útil de los productos protegiendo su calidad **(Gallegos Garza, 2024)**.

En la industria cosmética los carotenoides son muy valorados por sus capacidades fotoprotectoras y antioxidantes que gracias a su estructura conjugada de dobles enlaces pueden absorber la radiación UV y disiparla como calor, evitando el daño oxidativo de proteínas, lípidos y ADN lo cual impide el envejecimiento prematuro de la piel y reduce aparición de arrugas y manchas, ingredientes cruciales en productos de anti envejecimiento **(Suárez Heredia et al., 2019)**.

La importancia de los carotenoides en la industria farmacéutica se debe primordialmente a la capacidad de prevenir múltiples enfermedades crónicas y neurodegenerativas, gracias a su constitución estructural que permite estabilizar las especies reactivas mediante donación de electrones a los radicales libres como peróxido de hidrógeno (H_2O_2), superóxido (O_2^-) e hidroxilo ($\text{OH}\cdot$) responsables del daño molecular de lípidos, proteínas y ADN, lo que desencadena el desarrollo de enfermedades **(Suárez Heredia et al., 2019)**.

1.1.3. Ácidos grasos

Los ácidos grasos son un extenso conjunto de moléculas hidrocarbonadas que presentan un grupo carboxilo (-COOH) en su extremo (**Sanhueva Catalán et al., 2015**). Desempeñan múltiples funciones esenciales en los procesos biológicos en los que destacan la formación de paredes celulares, la regulación de respuestas metabólicas e inflamatorias y la producción y almacenamiento de energía (**Sanhueva Catalán et al., 2015**).

Los ácidos grasos son clasificados en dos grandes grupos saturados e insaturados. Los ácidos grasos saturados son considerados aquellos que en su estructura no presentan enlaces dobles lo que les concede conformación lineal misma característica que permite un empaquetamiento compacto de moléculas, haciendo que resulten en grasas sólidas a temperatura ambiente. Los ácidos grasos insaturados por otra parte presentan uno o más enlaces dobles en su estructura generando una disposición más flexible lo cual reduce el punto de fusión permitiéndoles que permanezcan líquidos a temperatura ambiente (**Nasiff-Hadad & Meriño-Ibarra, 2003**).

En la actualidad los ácidos grasos como los ácidos grasos poliinsaturados en los que se encuentran omega-3 (ω -3) y omega-6 (ω -6) han ganado mucha relevancia en la industria biotecnológica y farmacéutica gracias a que disminuyen la inflamación y regulan la homeostasis tisular (**Nasiff-Hadad & Meriño-Ibarra, 2003**). Esto debido, a que inhiben la formación de eicosanoides proinflamatorios como los leucotrienos, las prostaglandinas y derivados del ácido araquidónico debido a que actúan como mediadores en la respuesta inmune, al mismo tiempo que facilitan la síntesis de maresinas, resolvinas y protectinas,

mismos compuestos que reparan el tejido dañado y previenen enfermedades inflamatorias (Sanhueza Catalán, 2015).

1.1.4. Técnicas implicadas en la extracción de componentes bioactivos

La extracción de compuestos bioactivos es el proceso físico cuyo propósito es separar estos componentes de una mezcla, ya sea, por su afinidad por un disolvente o en función de la solubilidad entre dos solventes no miscibles entre si (Kultys & Kurek, 2022).

En la actualidad se han registrado varios métodos de extracción de carotenoides que varían en función del tipo de muestra, la pureza requerida y la eficiencia. Entre los métodos más utilizados son:

1.1.4.1. Extracción con solventes

Considerado como el método más tradicional, se basa en la solubilidad de los carotenoides en disolventes orgánicos como: etanol, acetona, hexano y mezclas de estos (Azuola & Vargas, 2007).

1.1.4.2. Extracción asistida por microondas

La extracción asistida por microondas es un método moderno que usa la radiación electromagnética de alta frecuencia la cual genera una radiación de tipo ionizante con el objetivo de calentar de manera uniforme y rápida la muestra con el disolvente, lo que facilita el rompimiento celular y migración de compuestos bioactivos (Kultys, & Kurek, 2022). Su eficacia depende de la intensidad de las microondas, la naturaleza del disolvente, el tiempo de

irradiación y el tipo de muestra ya que las altas temperaturas pueden generar una degradación térmica de compuestos sensibles **(Azuola & Vargas, 2007)**.

1.1.4.3. Extracción asistida por ultrasonido

La extracción asistida por ultrasonido (EAU) se basa en la aplicación de ondas sonoras de alta frecuencia lo que provoca la aparición y el colapso de microburbujas que favorece a la disrupción celular y la liberación de los compuestos bioactivos. Su efectividad depende la naturaleza del disolvente, la frecuencia ultrasónica, el tipo de exposición y la temperatura **(Azuola & Vargas, 2007)**.

1.1.5. Microencapsulación

La microencapsulación es una técnica de recubrimiento o atrapamiento de un material puro o mezcla dentro de otro cuyo resultado es una capsula que no supera los 1000 micrómetros **(Esquivel-González, 2015)**. Los materiales de revestimiento generalmente son polisacáridos como la maltodextrina, goma arábica, celulosa y pectina, sin embargo, también se pueden usar proteínas como la caseína y gelatina cuyo propósito es la protección del núcleo o ingrediente activo que puede estar en estado líquido, sólido y gaseoso de factores ambientes, particularmente de la oxidación, el pH y la humedad **(Parra, 2010; Esquivel-González, 2015)**.

1.1.5.1. Secado por aspersión

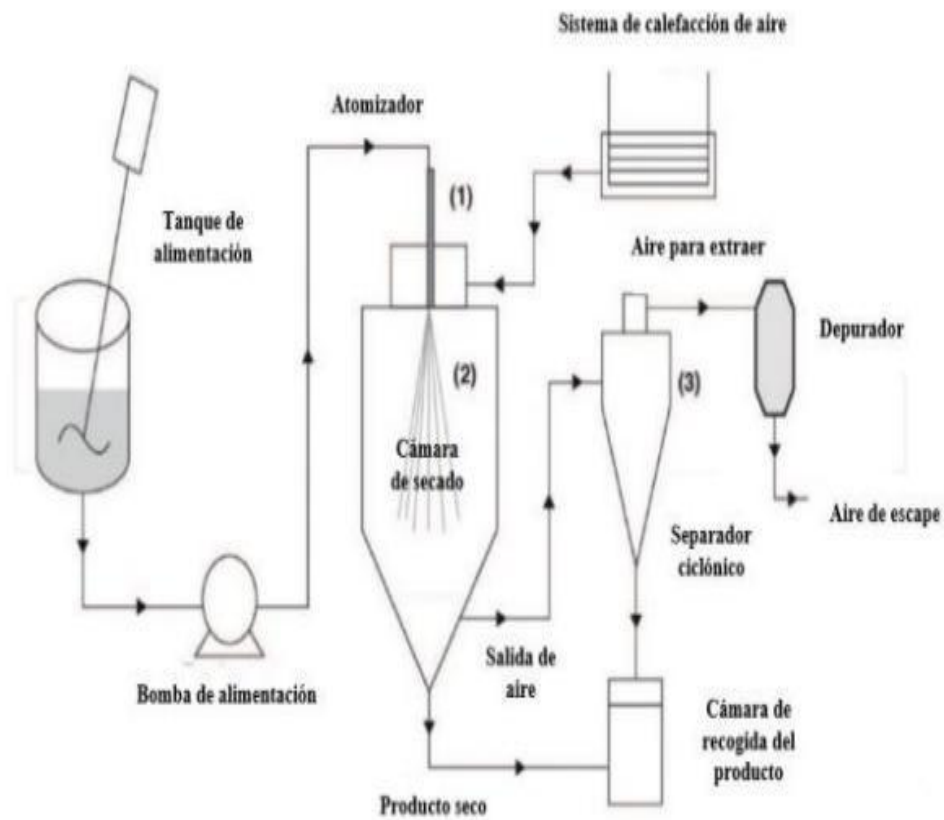
Entre los métodos de microencapsulación, el secado por aspersión se destaca por su amplia implementación industrial, el proceso está basado en la atomización de una emulsión,

suspensión o solución a través de una corriente de aire caliente, el cual permite la inmediata evaporación del disolvente y la formación de microesferas secas en forma de polvo **(Carvalho da Silva et al., 2022)**. De acuerdo con, **(Carvalho da Silva et al., 2022)** esta técnica brinda significativas ventajas en términos de escalabilidad, rentabilidad y versatilidad, recomendada especialmente en producciones a gran escala. Además, como manifiesta **(Díaz-Montes, 2023)** su principal ventaja en comparación con los demás métodos es su capacidad de procesar compuestos volátiles y termosensibles gracias a la exposición de elevadas temperaturas en un breve periodo de exposición, lo cual maximiza significativamente el riesgo de la degradación térmica de los compuestos bioactivos.

Unos de los factores críticos para garantizar la eficiencia del proceso y la estabilidad de los compuestos bioactivos es la selección del material de revestimiento, para el cual el mismo debe presentar baja viscosidad, capacidad de formar películas homogéneas y alta solubilidad. De los diferentes biopolímeros que presenta el mercado, entre los más utilizados están los polisacáridos como la maltodextrina reconocida por su capacidad estabilizadora, y la goma arábica valorada por su baja viscosidad excelente viscosidad **(Sánchez-Osorno, 2023; Otálora et al., 2023)**.

Figura 2

Esquema de la técnica de microencapsulación mediante secado por aspersión.



Nota: Adaptado de (Lema, 2024).

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Evaluar de la actividad antioxidante de extractos de Yuwi (*Gurania lobata*) microencapsulados mediante secado por aspersión.

1.1.2. Objetivos Específicos

Microemcapsular extractos de Yuwi (*Gurania lobata*) mediante secado por aspersión.

Analizar la eficiencia de la microencapsulación mediante espectroscopía infrarroja por la transformada de Fourier (FTIR).

Evaluar la capacidad antioxidante *in vitro* de extractos microencapsulados de Yuwi (*Gurania lobata*) aplicando el método DPPH.

1.3. Hipótesis

1.3.1. Hipótesis Nula

Los extractos de Yuwi (*Gurania lobata*) microencapsulados mediante secado por aspersión no presentan capacidad antioxidante significativa.

1.3.2. Hipótesis Alternativa

Los extractos de Yuwi (*Gurania lobata*) microencapsulados mediante secado por aspersión presentan capacidad antioxidante significativa.

1.4. Variables

1.4.1. Variables Independientes

Tabla 2 *Variables Independientes*

Extracto del mesocarpio	Extracto de las semillas
• Tiempo: 30 min; 60 min; 90 min • Relación (material vegetal : volumen de solvente) 1:15; 1:20; 1:25	• Tiempo: 30 min; 60 min • Relación (material vegetal : volumen de solvente) 1:15; 1:20; 1:25

1.4.2. Variables Dependientes

Tabla 3

Variables Dependientes

Extracto del Mesocarpio	Extracto de las semillas
• Concentración de carotenoides • Eficiencia de la microencapsulación • Porcentaje de inhibición del radical DPPH • Capacidad antioxidante (μmol Trolox/g)	• Masa de los sólidos extraídos de las semillas del yuwi • Eficiencia de la microencapsulación • Porcentaje de inhibición del radical DPPH • Capacidad antioxidante (μmol Trolox/g)

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Materiales

El presente trabajo de titulación fue de tipo experimental y se llevó a cabo en los laboratorios de la Unidad Operativa de Dirección de Investigación y Desarrollo (UODIDE) y en los laboratorios académicos de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología de la Universidad Técnica de Ambato. En la **Tabla 3**, **Tabla 4**, **Tabla 5** y **Tabla 6**, se listan el material de análisis, reactivos, material fungible y equipos que se utilizaron durante la investigación.

2.1.1. Materia prima

Tabla 4

Materia prima empleada para el proyecto de investigación

Material de análisis	Cantidad
Yuwi (<i>Gurania lobata</i>)	2 kg

2.1.2. Reactivos

Tabla 5

Listado de reactivos empleados en el proyecto de investigación

Reactivos	Cantidad
Etanol al 96 %	3.78 L
Agua destilada	3 L
Goma arábica	300 g
Maltodextrina	300 g

2,2-difenil-1-picrilhidracilo (reactivo DPPH)	2 g
Trolox (C ₁₄ H ₁₈ O ₄)	2 g
H ₂ SO ₄ concentrado	5 mL

2.1.3. Material fungible

Tabla 6

Material fungible empleado en el proyecto de investigación

Material fungible	Cantidad
Vasos de precipitación de 1000 mL	4 u
Botellas ámbar de 1000 mL	2 u
Tubos Eppendorf de 1.5 mL	10 u
Tubos de centrifuga de 45 mL	6 u
Varillas de agitación	1 u
Probeta volumétrica de 1000 mL	1 u
Balones de aforo de 1000 mL	1 u
Termómetro	1 u
Micropipetas (20 - 200; 1000) µL	1 u
Puntas de micropipetas (20 - 200; 1000) µL	1 caja de 96 puntas
Papel aluminio	1 u
Bolsas de polietileno	2 paquetes de 12 u
Papel filtro	1 paquetes de 100 u

2.1.4. Equipos

Tabla 7

Listado de equipos empleado en el proyecto de investigación

Equipos	Cantidad
Balanza analítica OHAUS	1
Balanza de humedad	1
Centrifuga	1

Deshidratador por convección	1
Espectrofotómetro UV-VIS Fischer Scientific	1
Espectroscopía Infrarroja Transformada Fourier (FTIR)	1
Homogeneizador	1
Molino	1
Plancha de calentamiento	1
Refrigerador	1
Rotoevaporador IKA HB100	1
Mini Spray Dryer Buchi	1

2.2. Métodos

2.2.1. Microencapsulación de extractos de Yuwi (*Gurania lobata*) mediante secado por aspersión.

2.2.1.1. Obtención del material vegetal

Los frutos de Yuwi fueron obtenidos de las comunidades del cantón Taisha de la provincia de Morona Santiago.

2.2.1.2. Preparación de muestras

La preparación de las muestras se realizó mediante el procedimiento descrito por (Urbina et al., 2020), empleando algunas modificaciones. Las muestras fueron lavadas minuciosamente con agua destilada con la finalidad de la eliminación de los componentes contaminantes. A continuación, se separó el mesocarpio y las semillas del pericarpio del fruto.

El proceso de secado fue realizado por medio un deshidratador por convección (SMART HEAT) a 55 °C por 55 horas para la eliminación del contenido de agua de las

muestras. A continuación, las muestras fueron trituradas hasta la obtención de partículas finas mediante un molino de cuchillas, finalmente las muestras fueron almacenadas en bolsas ziploc en refrigeración a 4 °C y en ausencia de luz.

2.2.1.3. Extracción de carotenoides a partir del mesocarpio del yuwi

La extracción de carotenoides se realizó mediante la metodología detallada por (Siregar & Margareta, 2019) empleando algunas modificaciones.

Con la finalidad de determinar las condiciones óptimas del extracto se realizó un diseño factorial 3². Para cada tratamiento se pesó 2 g de muestra en una balanza analítica (OHAUS) y se mezcló en un vaso de precipitación con etanol al 96 % (30 mL, 40 mL y 50 mL para relaciones 1:15, 1:20 y 1:25, respectivamente). Posteriormente, los tratamientos fueron llevados a la plancha de calentamiento (CORNIN G) a 70 °C $\pm$ 5 °C. Los tratamientos 1, 4 y 7 se mantuvieron en la plancha de calentamiento por 30 min, mientras que, los tratamientos 2, 5 y 8 se mantuvieron por 60 min y finalmente los tratamientos 3, 6 y 9 se calentaron por 90 min. Una vez finalizado el tiempo de calentamiento los tratamientos fueron centrifugados empleado una centrifuga (Rotina 380) durante 15 min a 3000 rpm con la finalidad de recolectar el extracto (sobrenadante). En la **Tabla 8** se detallan los tratamientos.

Tabla 8*Condiciones de extracción de carotenoides*

Tratamiento	Relación (material vegetal-volumen de solvente)	Tiempo (min)
T1	1:15	30
T2	1:15	60
T3	1:15	90
T4	1:20	30
T5	1:20	60
T6	1:20	90
T7	1:25	30
T8	1:25	60
T9	1:25	90

2.2.1.4. Extracción de ácidos grasos a partir de las semillas del yuwi

La extracción de carotenoides se realizará aplicando la metodología detallada por (Siregar & Margareta, 2019) empleando algunas modificaciones.

Con la finalidad de determinar las condiciones óptimas del extracto se realizó un diseño factorial 2². Para cada tratamiento se pesaron 2 g de muestra en una balanza analítica (OHAUS) y en un vaso de precipitación se mezcló con etanol al 96 % (40 mL y 50 mL para relaciones 1:20, 1:25, respectivamente). Seguidamente, los tratamientos fueron llevados a la plancha de calentamiento (CORNIN G) a 70 °C $\pm$ 5 °C. Los tratamientos 1 y 3 se calentarán por 30 minutos, mientras que, los tratamientos 2 y 4 se calentarán por 60 minutos. Una vez finalizado el tiempo de calentamiento los tratamientos fueron centrifugados empleado una centrifuga (Rotina 380) durante 15 min a 3000 rpm con la finalidad de recolectar el extracto (sobrenadante). En la **Tabla 9** se detallan los tratamientos.

Tabla 9*Condiciones de extracción de ácidos grasos*

Tratamiento	Relación (material vegetal-volumen de disolvente)	Tiempo (min)
T1	1:20	30
T2	1:20	60
T3	1:25	30
T4	1:25	60

2.2.1.5. Cuantificación de carotenoides

La cuantificación de los carotenoides se realizó mediante la metodología descrita por (Strati & Oreopoulou, 2011), para la medición de la absorbancia se empleó un espectrofotómetro UV-VIS Fisher Scientific (Accuskan Go) a una longitud de onda de 472 nm aplicando etanol como blanco. Para determinar el contenido de carotenoides se empleó la siguiente ecuación.

$$C = \frac{A}{\varepsilon \cdot l} * PM * 1000 \quad [Ec\ 1]$$

Donde:

A = Absorbancia

ε = Coeficiente de absortividad molar

l = Longitud del trayecto (0,6 cm)

PM = Peso molecular del compuesto

2.2.1.6. Cuantificación de ácidos grasos

La cuantificación de los sólidos totales se ejecutó por el método termogravimétrico descrito por (Urbina et al., 2020) el cual consiste en determinar el contenido de humedad de

la muestra por medio de la pérdida de masa al ser sometido a un proceso de calentamiento controlado. Para la estimación de los sólidos totales (SST) se colocó 3 mL KERN MLS 50-3). Cada tratamiento se realizó por triplicado, Los sólidos totales (SST) se determinarán mediante la ecuación.

$$\%SST = 100 - \% \text{ de humedad} \quad [Ec\ 2]$$

2.2.1.7. Análisis Estadístico

Para la extracción de carotenoides a partir del mesocarpio del yuwi se implementará un diseño factorial completo 3^2 , considerando dos factores independientes. Relación (material vegetal-volumen de solvente) (MV-VS: 1:15, 1:20 y 1:25) expresada gramos de biomasa obtenidos de la pulpa del yuwi por en mL de etanol al 96% y el tiempo de extracción (30, 60 y 90 min). Con la finalidad de determinar cuáles factores independientes afectan significativamente a la variable de respuesta (Concentración) se aplicó un ANOVA y un diagrama de Pareto de efectos estandarizados. Mientras que, para estimar el mejor tratamiento se empleó un diagrama de superficie de respuesta. Para este análisis se empleó la versión de prueba del programa estadístico MINITAP.

Por otro lado, para la extracción de ácidos grasos a partir de las semillas del yuwi se empleará un diseño factorial completo 2^2 considerando dos factores independientes. Relación (material vegetal-volumen de disolvente) (MV-VS: 1:20 y 1:25) expresada gramos de biomasa obtenidos de las semillas del yuwi por en mL de etanol al 96% y el tiempo de extracción (30 y 60 min). De la misma manera, con la finalidad de determinar cuáles factores independientes afectan significativamente a la variable de respuesta (Concentración) se aplicó un ANOVA y

un diagrama de Pareto de efectos estandarizados. Mientras que para estimar el mejor tratamiento se empleó un diagrama de superficie de respuesta. Para este análisis se empleó la versión de prueba del programa estadístico MINITAP.

2.2.1.8. Microencapsulación mediante secado por aspersión

La microencapsulación de los extractos de carotenoides y ácidos grasos se realizó mediante la metodología descrito por (Urbina et al., 2020), empleando algunas adaptaciones específicas.

Determinado el mejor tratamiento tanto para los carotenoides y los sólidos totales obtenidos de las semillas del yuwi, se realizó la extracción a mayor escala, seguidamente, los compuestos activos (carotenoides y ácidos grasos) fueron separados del etanol para lo cual se utilizó un rotoevaporador (IKA) a 200 rpm y 50 °C. Este proceso se realizó por separado tanto para la muestra del mesocarpio como para la de las semillas.

A continuación, se preparó una emulsión empleando 35 % de goma arábica, 35 % de maltodextrina y 30 % del extracto concentrado de carotenoides con la ayuda de un homogeneizador (IKA VWR). Este proceso de emulsión será replicado para la microencapsulación de sólidos totales de obtenidos de las semillas del yuwi.

Para la microencapsulación tanto de carotenoides como también para los ácidos grasos se utilizó el equipo Mini Spray Dryer (BUCHI B-290) a temperatura de entrada de 120 °C y de salida de 80 °C. Finalmente los microencapsulados se almacenaron en bolsas ziploc y conservadas posteriormente en refrigeración a 4 °C.

2.2.2. Análisis de la eficiencia de la microencapsulación mediante espectroscopía infrarroja por la transformada de Fourier (FTIR).

2.2.2.1. Análisis de la eficiencia de la microencapsulación por espectroscopía infrarroja

El análisis cualitativo de la eficiencia de la microencapsulación se realizó por el método de espectrofotometría infrarroja descrito por **(Baltrusch et al., 2022)**. Mismo que se ejecutó por medio de un espectroscopio infrarrojo FTIR (Perkin Elmer) para el cual se empleó un intervalo de frecuencia de barrido de 580 a 4150 nm. Con la finalidad de identificar los grupos funcionales presentes en las muestras microencapsuladas de los extractos del mesocarpio y semillas. Este proceso se replicó también para las muestras sin microencapsular.

Para el cálculo de la eficiencia de la microencapsulación por el método cuantitativo se empleó metodología descrita por **(Lakkis, 2016)**. Para el cual, se disolvió una porción de muestra en agua destilada y otra porción en etanol en relación 1:10 seguidamente, se mezcló durante 10 minutos y posteriormente se centrifugó durante 10 min en una centrífuga (Rotina 380) a 5000 rpm, posteriormente se midió la absorbancia de los sobrenadantes a 472 nm. El porcentaje de microencapsulación se calculó empleado la ecuación 3.

$$\%EE = \frac{C_{Agua} - C_{Etanol}}{C_{Agua}} * 100 \quad [Ec\ 3]$$

Donde:

%EE: Porcentaje de encapsulación

C_{Agua}: Concentración del compuesto en agua destilada

C_{Etanol}: concentración del compuesto en etanol

2.2.3. Evaluación de la capacidad antioxidante *in vitro* de extractos microencapsulados de Yuwi (*Gurania lobata*) aplicando el método DPPH.

2.2.3.1. Análisis de la actividad antioxidante mediante el método DPPH

El análisis de la capacidad antioxidante se realizó mediante el método de DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazilo descrito por (Bobo et al., 2015).

En la cual en una caja de 96 pocillos primero se diluyo 180 µL de solución DPPH (150 µmol L⁻¹) en 20 µL de la muestra, el control se preparó con 180 µL de solución DPPH y 20 µL de agua destilada mientras que para el blanco se usó 20 µL de agua con 180 metanol al 99% en una relación 80:20, v/v), seguidamente se dejara reposar en ausencia de luz durante 40 minutos, para posteriormente medir la absorbancia a 472 nm en un espectrofotómetro UV-VIS Fisher Scientific (Accuskan Go). Seguidamente, se realizó una curva de calibración empleado solución estándar de Trolox en concentraciones de 50, 100, 250, 500 y 1000 µmol/l. Para finalizar, porcentaje de inhibición de DPPH será determinado mediante la Ecuación 4.

$$\%Inhibición\ DPPH = \frac{A_{blanco} - A_{muestra}}{A_{blanco}} * 100 \quad [Ec\ 4]$$

Donde:

$A_{muestra}$: Absorbancia de la muestra

A_{blanco} : Absorbancia del blanco

$A_{control}$: Absorbancia del control

CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Análisis y discusión de los resultados

3.1.1. Determinación cuantitativa de la concentración de carotenoides obtenidos del mesocarpio del futo del Yuwi.

Durante el proceso de extracción de los carotenoides obtenidos del mesocarpio del Yuwi se emplearon 9 tratamientos, con la finalidad de determinar el tratamiento con las condiciones óptimas de extracción. Para el cual se evaluó los factores independientes relación Material vegetal-Volumen del disolvente (MV-VS) y el tiempo de extracción. Los resultados de la concentración de los tratamientos (Anexo 1) se especifican en la **Tabla 10**.

Tabla 10

Concentración de carotenoides del mesocarpio del yuwi para cada tratamiento

Tratamiento	Relación (material vegetal-volumen de disolvente)	Tiempo (min)	Concentración mg/L
1	1:15	30	13,89 ± 0,12
2	1:15	60	13,04 ± 0,80
3	1:15	90	18,01 ± 0,47
4	1:20	30	11,21 ± 0,37
5	1:20	60	11,49 ± 0,34
6	1:20	90	11,70 ± 0,01
7	1:25	30	7,96 ± 0,25
8	1:25	60	9,10 ± 0,46
9	1:25	90	9,47 ± 0,25

Nota: Resultados de los promedios ± la desviación estándar de la concentración de carotenoides obtenidos del mesocarpio de yuwi para los 9 tratamientos a una longitud de onda de 472 nm.

En la **Tabla 10** se aprecia el tratamiento 9 con la mayor concentración de carotenoides totales ($18,01 \pm 0.47$ mg/L) después de la extracción, mismo que empleo una relación (Material vegetal-Volumen de disolvente) de 1:15 con un tiempo de 90 min. Por su parte, **Strati & Oreopoulou, (2011)** manifiesta que relación material vegetal-disolvente y la temperatura de extracción son parámetros importantes en la extracción, debido a que una mala relación material vegetal-disolvente lleva a la insuficiencia o saturación del disolvente de extracción, además que el rendimiento de la concentración de carotenoides se ve afectado por el rango de temperatura. Asimismo, **Gan et al. (2020)** manifiesta que, a mayor tiempo de extracción, el contenido de carotenoides incrementa.

Según Bautista, (2024) el contenido de carotenoides en la cascara de tomate de árbol está entre $0,4056 \pm 0.03$ mg/L y $0,5002 \pm 0.09$ mg/L. Por otro lado, Silva, (2023) registra valores en el rango de $0,50 \pm 0,001$ mg/L y $0,60 \pm 0,003$ mg/L en extractos de cáscara de tomate de árbol provenientes de desechos agroindustriales. Según Pérez, (2019) & Fratianni et al. (2022) los cambios de concentración podrían surgir de la madurez del fruto, la variedad del fruto y la degradación de los carotenoides causado por el tiempo de secado y el almacenamiento del material vegetal.

Por su parte **Konrade, (2022)** registra un valor de $32,43 \pm 2.09$ mg/L del contenido de carotenoides totales de un extracto de cáscaras de *Cucurbita spp*, mismo que en comparación con el mejor tratamiento que fue de $18,01 \pm 0.47$ mg/L, es superior. Lo cual, según **Hinestroza et al., (2020)** el aumento de la concentración podría deberse a la parte de del fruto utilizada.

La longitud de onda utilizada en el espectrofotómetro en la medición de los extractos fue de 472 nm. **Udensi et al. (2022)** manifiesta que la longitud de onda depende del disolvente

usado, sin embargo, el rango de la longitud de onda en que los carotenoides absorben la mayor cantidad de luz varía entre 200 nm a 500 nm. Por su parte, **Hornero-Méndez & Minguez-Mosquera, (2001)** mencionan que los pigmentos de tonalidades anaranjadas y amarillas presentan una mayor concentración a una longitud de onda de 472 nm.

Mediante la prueba estadística ANOVA **Tabla 11** realizada con un nivel de confianza del 95 % y un ($p < 0,05$), se evidencio que tanto, los factores independientes Relación (material vegetal-volumen de disolvente) y tiempo de extracción como su interacción tienen un efecto estadísticamente significativo en la concentración de los carotenoides. Por lo cual, se puede concluir que los dos factores independientes y su respectiva interacción juegan un importante papel en la extracción de los carotenoides de la pulpa del yuwi.

Tabla 11

Análisis de varianza del extracto del mesocarpio del yuwi

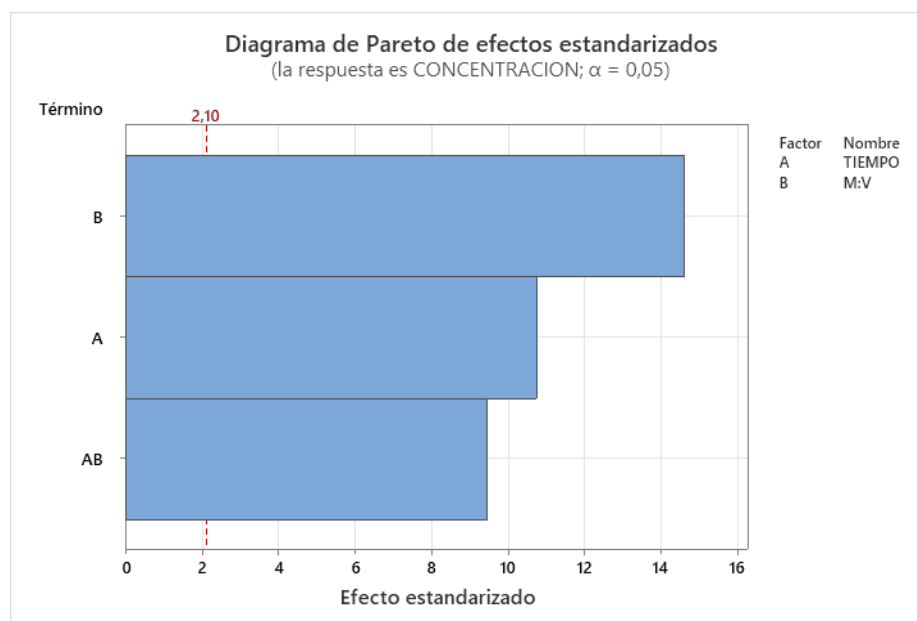
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	8	217,293	27,1616	168,74	0,000
Lineal	4	193,767	48,4418	300,94	0,000
Tiempo	2	22,805	11,4025	70,84	0,000
MV:VS	2	170,962	85,4811	531,04	0,000
Interacciones de 2 términos	4	23,526	5,8814	36,54	0,000
TIEMPO*MV:VS	4	23,526	5,8814	36,54	0,000
Error	18	2,897	0,1610		
Total	26	220,190			

Nota. Análisis de la varianza en la cuantificación de carotenoides de un extracto obtenido del mesocarpio del yuwi. MV:VS: Relación (material vegetal-volumen del disolvente); Tiempo: Tiempo de extracción; Gl: Grados de libertad

En la **Figura 3** se evidencia que los factores independientes Relación (material vegetal-volumen de disolvente) y tiempo de extracción como su interacción cruzan el umbral de significancia (2.10) marcado con puntos de color rojo, lo que indica el efecto positivo en la concentración de carotenoides.

Figura 3

Diagrama de Pareto de efectos estandarizados del mesocarpio del yuwi



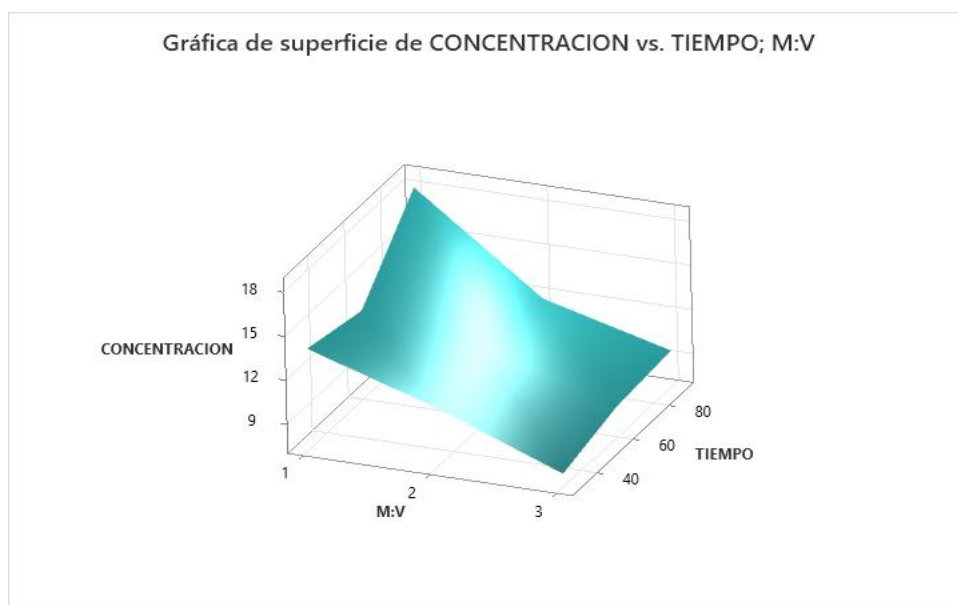
Nota. El gráfico obtenido por el programa estadístico Minitap muestra los factores y que tanto influyen directamente en la concentración de carotenoides. A: Tiempo de extracción; B: Relación (material vegetal-volumen del disolvente). AB: Interacción entre el Tiempo de extracción y la Relación (material vegetal-volumen del disolvente).

En el diagrama de superficie **Figura 4** también se puede evidenciar la influencia de los factores independientes previamente mencionados respecto a la concentración de carotenoides. Además, permitió optimizar el proceso de identificación de los valores óptimos de extracción. De tal manera, se determinó que las mejores condiciones de extracción son con un tiempo 90

minutos en una relación (material vegetal-volumen de disolvente) de 1:15. Esto evidencia lo anteriormente presentado en la **Tabla 10** donde la concentración en estas condiciones fue de $18,01 \pm 0,47$ mg/L.

Figura 4

Gráfica de superficie del mesocarpio del yuwi.



Nota. El gráfico obtenido por el programa estadístico Minitap muestra los factores y que tanto influyen directamente en la concentración de carotenoides. Concentración: Concentración de carotenoides (mg/L); Tiempo: Tiempo de extracción (min); MV: Relación (material vegetal-volumen del disolvente) en los niveles 1, 2 y 3 (1:15; 1:20 y 1:25) respectivamente.

3.1.2. Determinación cuantitativa de los sólidos totales obtenidos de las semillas del fruto del Yuwi.

Durante el proceso de extracción ácidos grasos obtenidos de las semillas del Yuwi se emplearon 4 tratamientos, con la finalidad de determinar el tratamiento con las condiciones

óptimas de extracción. Para el cual se evaluó los factores independientes relación Material vegetal-Volumen del disolvente (MV-VS) y el tiempo de extracción. Los resultados de la concentración de los tratamientos (Anexo 1) se especifican en la **Tabla 12**.

Tabla 12

Concentración de sólidos totales del mesocarpio del yuwi para cada tratamiento

Tratamiento	Relación (material vegetal-volumen de disolvente)	Tiempo (min)	Concentración g/L
1	1:20	30	1,87 ± 0,10
2	1:25	30	1,29 ± 0,11
3	1:20	60	2,63 ± 0,02
4	1:25	60	1,67 ± 0,06

Nota: Resultados de los promedios ± la desviación estándar de la concentración de sólidos totales obtenidos de las semillas de yuwi para los 4 tratamientos.

En la **Tabla 12** se aprecia el tratamiento 3 con la mayor concentración de sólidos totales ($2,63 \pm 0,02$ %) después de la extracción, mismo que empleo una relación (Material vegetal-Volumen de disolvente) de 1:20 con un tiempo de 60 min. Según **Mendoza, (2024)** el contenido de sólidos totales en residuos de tamarindo varía entre 1,17 y 1,58 %. Por otro lado, **Silva, (2023)** registra valores en el rango de 1,08 y 1.41 % en extractos de flor de Jamaica. Según **Pérez, (2019) & Fratianni et al. (2020)** menciona que los cambios de concentración se pueden deber a la variedad del fruto y la degradación de compuesto bioactivos. Así mismo, **Lourenço-Lopes et al., (2021)** manifiesta que la selección del disolvente, el tiempo y la temperatura empleada son factores estadísticamente significativos en la extracción de compuestos bioactivos.

Según el análisis proximal realizado por **Kwiri et al., (2014)** en semillas de calabaza (*Cucurbita pepo*) el contenido de grasas representa del 43,46 %. Por otro lado, en especies

como (*Cucurbita maxima* Linn) el contenido total de lípidos totales es de 36,70%, el cual representa la mayor cantidad de compuestos bioactivos en las semillas (**Habib, 2015**).

Mediante la prueba estadística ANOVA Tabla **13** realizada con un nivel de confianza del 95 % y un ($p < 0,05$), se evidencio que tanto, los factores independientes Relación (material vegetal-volumen de disolvente) y tiempo de extracción como su interacción tienen un efecto estadísticamente significativo en la concentración de sólidos totales. Por lo cual, se puede concluir que los dos factores independientes y su respectiva interacción juegan un importante papel en la extracción en la concentración de sólidos totales.

Tabla 13 *Análisis de varianza de los sólidos totales obtenidos se las semillas del yuwi*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	3	2,81703	0,93901	146,53	0,000
Lineal	2	2,72862	1,36431	212,90	0,000
B: Tiempo	1	1,00341	1,00341	156,58	0,000
A: M:V	1	1,72521	1,72521	269,21	0,000
Interacciones de 2 términos	1	0,08841	0,08841	13,80	0,006
TIEMPO*M:V	1	0,08841	0,08841	13,80	0,006
Error	8	0,05127	0,00641		
Total	11	2,86829			

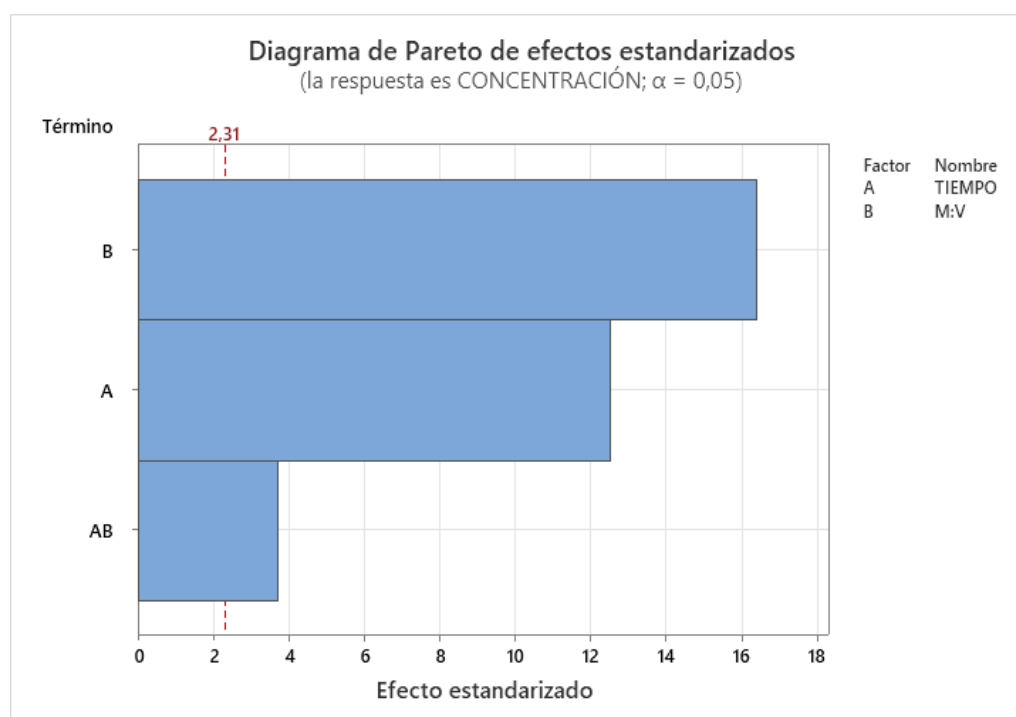
Nota. Se observan el análisis de la varianza de dos factores y sus interacciones para la cuantificación de carotenoides. A: Relación material vegetal/disolvente; B: Tiempo de extracción; Gl: Grados de libertad.

En la **Figura 5** se evidencia que los factores independientes Relación (material vegetal-volumen de solvente) y tiempo de extracción como su interacción cruzan el umbral de significancia (2.10) marcado con puntos de color rojo, lo que indica que estos factores tienen un efecto estadísticamente significativo en la concentración de carotenoides. Donde: el factor

B: Relación (material vegetal-volumen del disolvente) presenta una mayor influencia en la concentración de sólidos totales respecto al tiempo y la interacción (material vegetal-volumen del disolvente).

Figura 5

Diagrama de Pareto de efectos estandarizados de las semillas del yuwi



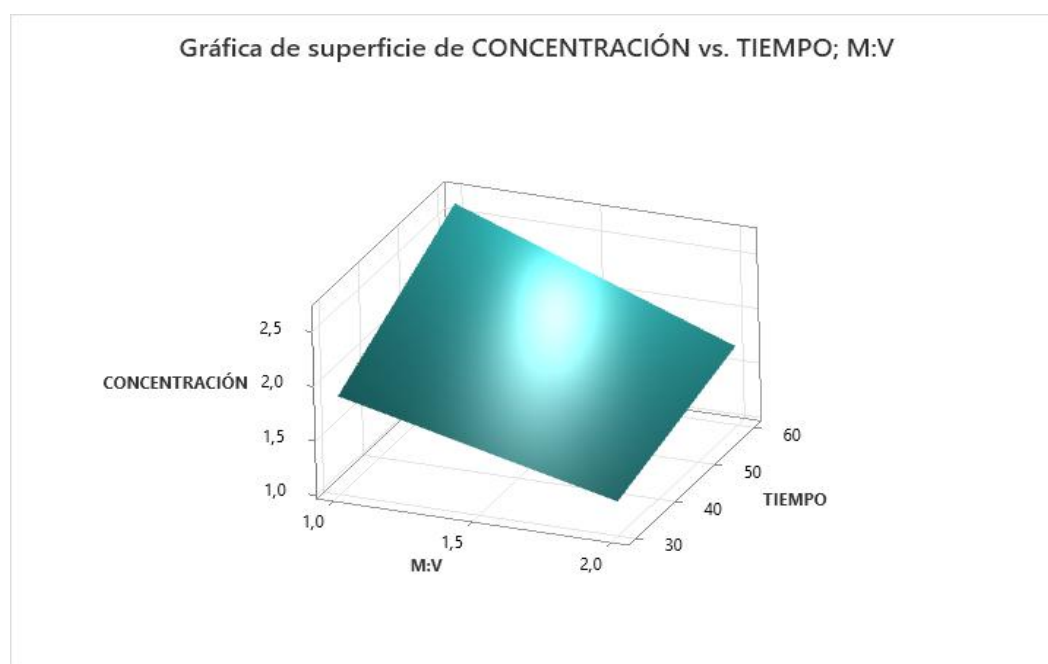
Nota. El gráfico obtenido por el programa estadístico Minitap muestra los factores y que tanto influyen directamente en la concentración de sólidos totales. A: Tiempo de extracción; B: Relación (material vegetal-volumen del disolvente). AB: Interacción entre el Tiempo de extracción y la Relación (material vegetal-volumen del disolvente).

El diagrama de superficie de respuesta estimada (Figura 5) permitió optimizar el proceso al identificar los valores óptimos para extraer sólidos totales de las semillas del yuwi. Además, se puede observar la interacción entre los dos factores y cómo afectan la variable respuesta, que es la concentración de carotenoide

En el diagrama de superficie **Figura 6** evidencia la influencia de los factores independientes previamente mencionados respecto a los sólidos totales obtenidos de las semillas del yuwi. Además, permitió optimizar el proceso de identificación de los valores óptimos de extracción. De tal manera, se determinaron las mejores condiciones de extracción es con un tiempo 60 minutos en una relación (material vegetal-volumen de disolvente) entre 1:20 y 1:22. Esto evidencia lo anteriormente presentado en la **Tabla 10** donde la concentración de los sólidos totales fue de $2,63 \pm 0,02$ %. En las condiciones de 60 minutos y una relación (material vegetal-volumen de disolvente) de 1:15.

Figura 6

Gráfica de superficie de las semillas del yuwi



Nota. El gráfico obtenido por el programa estadístico Minitap muestra los factores y que tanto influyen directamente en la concentración de carotenoides. Concentración: Concentración de carotenoides (mg/L); Tiempo: Tiempo de extracción (min); MV: Relación (material vegetal-volumen del disolvente) en los noveles 1 y 2 (1:20; 1:25) respectivamente.

3.1.3. Eficiencia de la microencapsulación del extracto obtenido del mesocarpio del fruto de yuwi

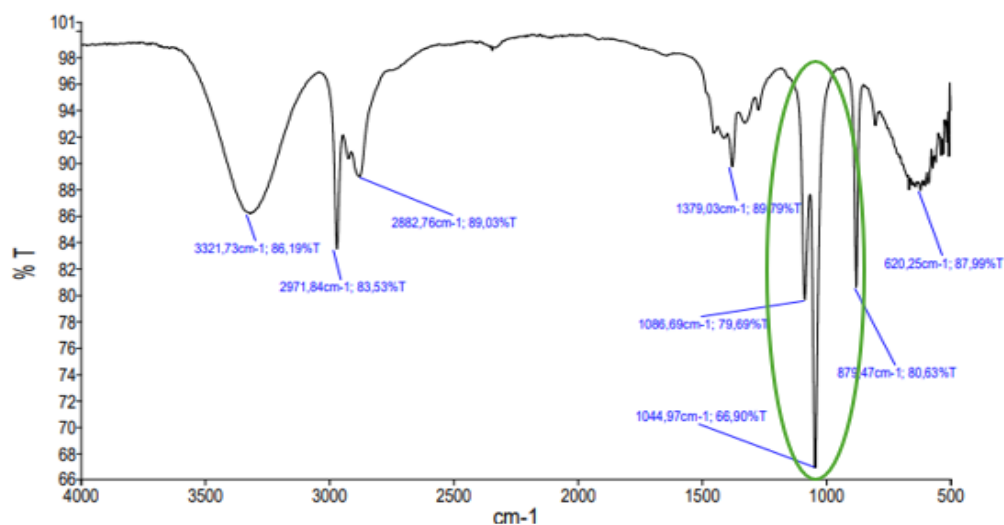
3.1.3.1. Eficiencia cualitativa de la microencapsulación de carotenoides

La eficiencia cualitativa de la microencapsulación se utilizó aplicando la técnica de Espectroscopía Infrarroja por la Transformada de Fourier (FT-IR). La cual, brinda información sobre la composición molecular del espectro y el porcentaje de transmitancia (%T) que hace referencia a la cantidad de luz infrarroja que atraviesa la muestra (Sailema, 2024). Por su parte, Mendoza, (2024) menciona que las bandas o picos de la absorbancia simbolizan la absorbancia vibratoria de los distintos grupos funcionales presentes en la muestra, en unidades en número de ondas (cm^{-1}).

La **figura 7** representa el espectro del concentrado de carotenoides, en la cual se observa de vibraciones de estiramiento O-H en la banda que ronda entre 3300 y 3350 cm^{-1} característicos en grupos hidroxilos. Lo cual según **Sailema, (2024)** se debe al etanol utilizado como disolvente.

Figura 7

Espectro infrarrojo por transformada de Fourier del concentrado de carotenoides del yuwi



Nota. El círculo verde en el diagrama muestra la banda característica en una muestra de carotenoides.

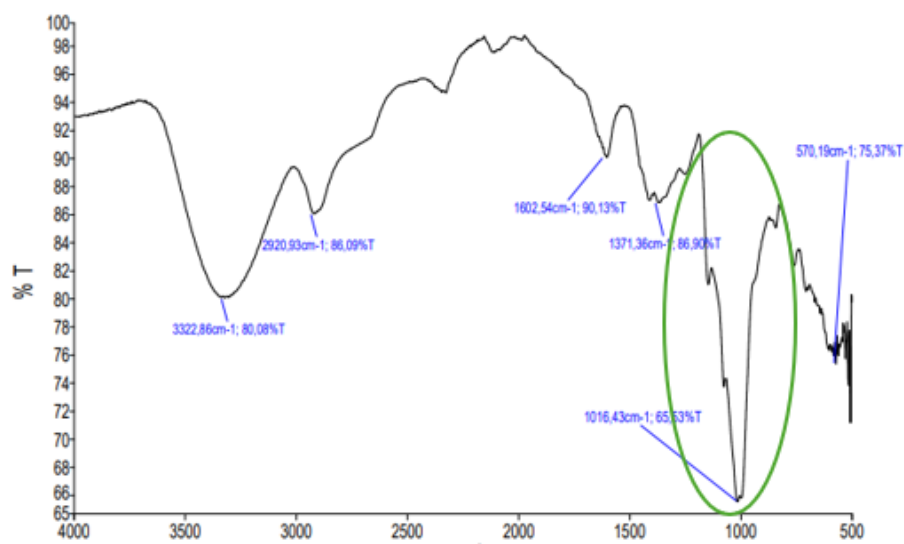
De la misma manera, en la zona señalada de en verde se observa la banda a $1044,97\text{ cm}^{-1}$ con un porcentaje del 66, 90%, la cual corresponde al estiramiento C-H, comunes en carotenoides. En el estudio realizado por **Sailema, (2024)**. en residuos de la naranjilla se observa un pico semejante, el cual tiene con un número de onda de $1041,52\text{ cm}^{-1}$ y un porcentaje de transmitancia de 67,74 % el cual representa la presencia de los grupos funcionales esterres típicos en carotenoides.

La **figura 8** representa el espectro del concentrado de carotenoides microencapsulado, en la cual se puede apreciar de manera cualitativa el compuesto bioactivo dentro de la mezcla polimérica (maltodextrina y goma arábica).

Espectro infrarrojo por transformada de Fourier del concentrado de carotenoides del yuwi

Figura 8

Espectro infrarrojo por transformada de Fourier del microencapsulado de carotenoides del yuwi



Nota. El círculo verde en el diagrama presenta el característico pico de muestras de polisacáridos como el arabinogalactano en conjunto con pequeñas bandas de carotenoides.

En la zona señalada de verde de la **Figuras 8** se observa una banda a $1016,43\text{ cm}^{-1}$ con un porcentaje de transmitancia 66,53% el cual en comparación con el concentrado sin microencapsular **Figura 7** mismo que fue de $1041,52\text{ cm}^{-1}$ con un porcentaje de transmitancia de 67,74 %, su porcentaje de transmitancia disminuyó, según **Sailema, (2024)** esto se debe a la cantidad de luz que pasa por la muestra, lo cual refleja una baja en la concentración de carotenoides.

Por otro lado, en la **Figura 8** también se observó la presencia de grupos funcionales OH y carbonilos (C=O) en los picos $3322,86\text{ cm}^{-1}$ y $2920,96\text{ cm}^{-1}$ respectivamente mismos que resultan comunes en los polisacáridos de la maltodextrina y goma arábica. En el estudio realizado por **Cajiao, (2025)** el cual utilizó la goma arábica y la maltodextrina como polímeros

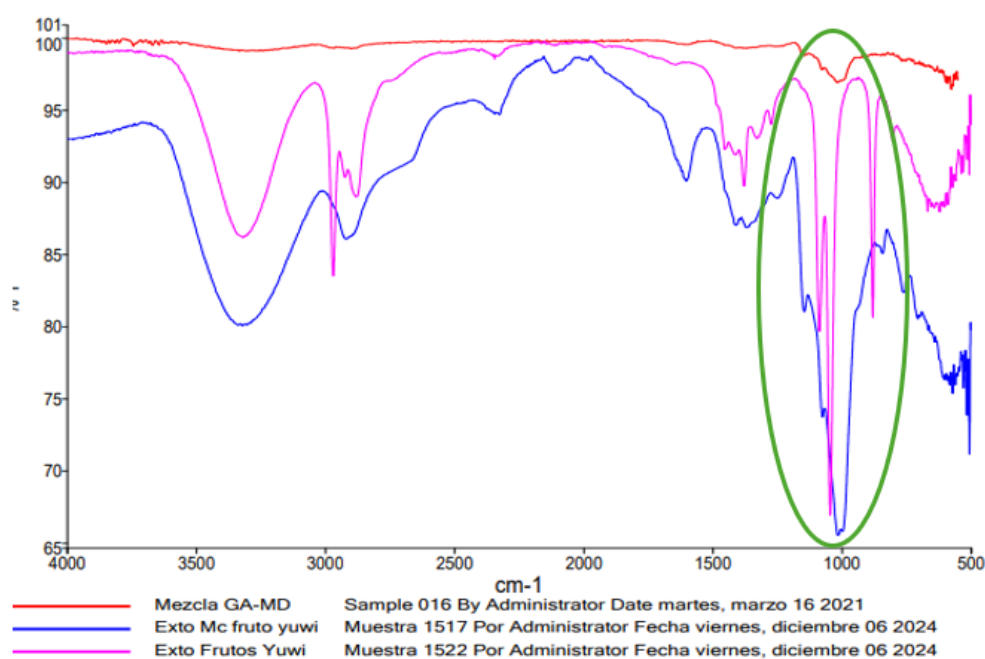
microencapsulantes también se observó la presencia de picos 3316 cm^{-1} y 2910 cm^{-1} característicos de las cadenas alifáticas de los polisacáridos.

En la **Figura 9** se observa la superposición de los dos espectros previamente analizados, en el cual se observa picos similares en los picos del extracto microencapsulado y sin microencapsular, lo cual apunta a que los carotenoides están efectivamente microencapsulados.

Espectros superpuestos de las muestras analizadas

Figura 9

Espectros superpuestos de las muestras analizadas



Nota. La figura representa la superposición de los espectros del extracto concentrado y el microencapsulado de carotenoides.

3.1.3.2. Eficiencia cuantitativa de la microencapsulación de carotenoides

En la **Tabla 14** se observa los resultados de la eficiencia de microencapsulación cuantitativa. En cual fue del 93,02 %, mismo que se puede respaldar a partir de los espectros infrarrojos, que demostraron la presencia de carotenoides internamente de la matriz polimérica. Esto se realizó a partir de la dilución del microencapsulado en etanol (carotenoides superficiales) y en agua destilada (carotenoides totales).

Tabla 14

Porcentaje de la eficiencia cuantitativa del concentrado de carotenoides en el microencapsulado

	Concentración (mg/L)	E.M. (%)
Agua + Microcápsula	10,05 ± 0,21	93,02
Etanol + Microcápsula	0,70 ± 0,03	

Nota. La tabla muestra la eficiencia de la microencapsulación (E.M) ± la desviación estándar.

Este porcentaje supera el obtenido por Pal y **Bhattacharjee (2018)**, quienes reportaron una eficiencia del 78,32 %. Esto podría deberse a la relación entre los dos polímeros y la temperatura de entrada, ya que en dicho estudio se aplicó una relación 60:40 (maltodextrina:goma arábica) y una temperatura de entrada de 170 °C. Otro estudio realizado por **Tupuna et al. (2020)** se logró una eficiencia de 70,97 %, siendo menor al estudio anterior, esto podría ser atribuido a la utilización de la goma arábica como único biopolímero. Por ende, la combinación de goma arábica y maltodextrina en el presente estudio parece haber contribuido significativamente a mejorar la eficiencia de la microencapsulación.

Este resultado resulta superior al estudio analizado por **Sailema, (2024)** el cual fue de $91,74 \pm 0,028 \%$ y al estudio realizado por **Tupuna et al. (2020)** mismo que fue del 70, 97% Eficiencia de la microencapsulación del extracto obtenido de las semillas del yuwi. Mismo que podría deberse al porcentaje de la combinación de la combinación de la maltodextrina y de la goma arábica.

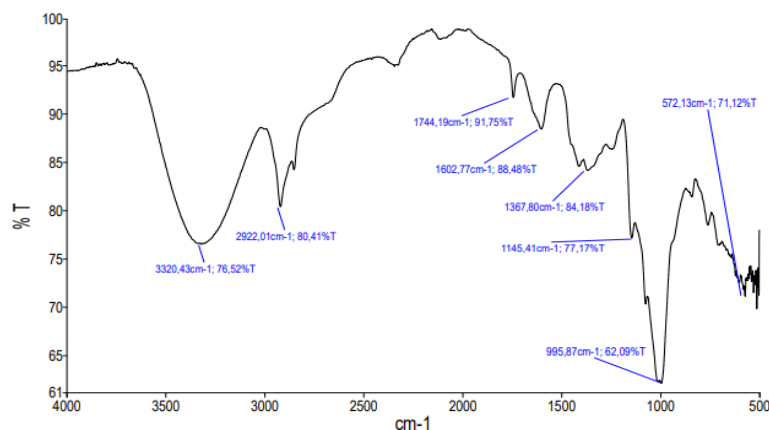
3.1.4.1. Eficiencia cualitativa de la microencapsulación del extracto de semillas yuwi

La eficiencia cualitativa de la microencapsulación del extracto de semillas de yuwi se utilizó aplicando la técnica de Espectroscopía Infrarroja por la Transformada de Fourier (FT-IR).

La figura 10 representa el espectro del extracto concentrado de carotenoides extraídos de las semillas del yuwi, en la cual se observa de vibraciones de estiramiento O-H en el pico que ronda entre 3320 y 3922 cm^{-1} característicos en grupos hidroxilos vinculados a los agentes microencapsulantes.

Figura 10

Espectro infrarrojo por transformada de Fourier del microencapsulado de ácidos grasos del yuwi



Nota. El círculo verde en el diagrama presenta el característico pico de una muestra concentrada microencapsulada de ácidos grasos.

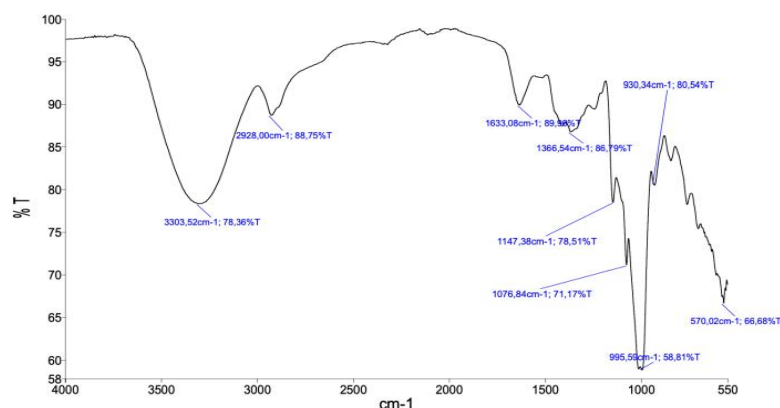
Por otro lado, se observa el pico 1744 cm^{-1} con un porcentaje de transmitancia del 91 %, común para lípidos esterificados como los triglicéridos, similar al encontrado por **Vladimír et al., (2021)** en muestras de uva el cual fue de 1745 cm^{-1} . Así mismo, muestra los picos 1367 y 1145 cm^{-1} vinculados a ésteres saturados.

Del mismo modo el pico de 995 cm^{-1} con un porcentaje de transmitancia del 62% asociadas a vibraciones de los grupos olefínicos y vinilos resulta semejante al determinado por **Vladimír et al., (2021)** el cual fue de 965 cm^{-1}

En **Figura 11** obtenida del estudio realizado por **Sailema, (2024)** se observa los picos representativos de los polímeros de la maltodextrina al 35% y la goma arábiga al 35 %. En el que resalta $1147,38\text{ cm}^{-1}$ y $1076,84\text{ cm}^{-1}$ y 995 cm^{-1} representativos de los biopolímeros utilizados.

Figura 11

Espectro infrarrojo por transformada de Fourier del combinado de biopolímeros.



Nota. Espectro infrarrojo por transformada de Fourier del combinado de biopolímeros utilizado en el microencapsulado.

Por otro lado, al superponer los dos espectros previamente analizados, se observa picos similares, lo cual apunta a que los carotenoides están efectivamente microencapsulados

3.1.5. Evaluación in vitro de la capacidad antioxidante mediante el método DPPH en extractos del mesocarpio del yuwi.

En la presente investigación el análisis de la capacidad antioxidante fue llenado a cabo mediante el método del radical 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH). Según **Yamauchi et al., (2024)** los antioxidantes actúan como captadores de radicales libres provenientes de las reacciones en cadena de la peroxidación lipídica. En la **Tabla 15** se detalla los resultados porcentaje de inhibición del radical DPPH del microencapsulado y del extracto concentrado.

Tabla 15*Porcentaje de inhibición de carotenoides*

DPPH	% Inhibición
Extracto sin microencapsular	46,62 ± 1,44
Extracto microencapsulado	89 ± 0,003

Como se visualiza en la **Tabla 15**, el porcentaje de inhibición del extracto concentrado sin microencapsular, en una concentración de 800 µg/mL es del 46,62 ± 1,44 % mientras que del extracto microencapsulado en una concentración de 100 g/mL fue del 89 ± 0,003 %. Este resultado refleja el contenido significativo de carotenoides presentes en el microencapsulado, en comparación con la investigación de **Sailema, (2024)** donde el porcentaje de inhibición del microencapsulado fue del 49,52 ± 0,618 %. Según **Luana et al., (2022)** los cambios podrían ser debido a la mezcla polimérica como también a la técnica de microencapsulación.

3.1.5. Evaluación in vitro de la capacidad antioxidante mediante el método DPPH en extractos de semillas del yuwi.

En la presente investigación el análisis de la capacidad antioxidante fue llenado a cabo mediante el método del radical 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH). En la Tabla 16 se detalla los resultados porcentaje de inhibición del radical DPPH del microencapsulado.

Tabla 16*Resultados del porcentaje de Inhibición de ácidos grasos*

DPPH	% Inhibición
Extracto Microencapsulado	77 ± 0,09

Como se visualiza en la **Tabla 16**, el porcentaje de inhibición del extracto concentrado sin microencapsular, en una concentración de 500 µg/ml es del $77 \pm 0,09$ %, mismo resultado que resalta contenido significativo de ácidos grasos presentes en el microencapsulado. Según **(Asres, 2025)** el porcentaje de inhibición del aceite de tomillo es del 45,15 %. Estos hallazgos muestran el alto potencial de la capacidad antioxidante de los ácidos grasos microencapsulado, los cuales, según **(Asres, 2025)** podrían brindar protección de los productos alimenticios contra el daño oxidativo.

3.2. Verificación de hipótesis

H₀ ≠ 0. Se rechaza la hipótesis nula

H_a = 0. Se acepta la hipótesis alternativa y se concluye que los carotenoides y ácidos grasos microencapsulados y sin microencapsular provenientes del yuwi (*Gurania spinulosa*) presentan capacidad antioxidante significativa.

CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- Mediante la técnica de secado por aspersión, se consiguió microcápsulas de carotenoides y ácidos grasos de yuwi. Los polisacáridos encapsulantes, como goma arábica y la maltodextrina en proporciones 35:35, resultaron la clave para garantizar la estabilidad de los compuestos bioactivos. De la misma manera, los diseños factoriales 2^3 y 2^2 , permitieron identificar condiciones óptimas para la extracción de los compuestos bioactivos.

- La eficiencia de la microencapsulación de los compuestos bioactivos provenientes de del yuwi fue verificada exitosamente mediante espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR). La aparición de las bandas como $1016,97\text{ cm}^{-1}$ en extractos microencapsulados a partir del mesocarpio del yuwi y 995 cm^{-1} extractos microencapsulados a partir de las semillas del yuwi evidenciaron enlaces e interacciones químicas entre polisacáridos y los compuestos bioactivos, indicando la integración de los carotenoides y ácidos grasos en la matriz encapsulante. Así mismo, la cuantificación cuantitativa de la eficiencia de la microencapsulación que fue del $93,02\%$ confirman la integración de los carotenoides en los agentes microencapsulantes.
- La actividad antioxidante de los extractos del mesocarpio y semillas microencapsulados fueron determinadas exitosamente empleando el método DPPH. El porcentaje de inhibición obtenido para las microcápsulas de extractos del mesocarpio del yuwi del $89 \pm 0,003\%$, mientras en extractos del mesocarpio del yuwi fue del $77 \pm 0,09\%$. Estos resultados reflejan el alto potencial de la capacidad antioxidante de los carotenoides ácidos grasos microencapsulados.
- De acuerdo con los resultados, la implementación de la microencapsulación de compuestos antioxidantes, específicamente de carotenoides y ácidos grasos en plantas como el yuwi presentan una oportunidad significativa para abordar problemas críticos como las enfermedades no transmisibles. Además, los que los extractos demostraron contener alto contenido de compuestos bioactivos que podrían implementarse en producción de alimentos funcionales y nutraceuticos.

4.2. Recomendaciones

- Comparar factores como el tipo de disolvente y la temperatura en el proceso de extracción de ácidos grasos y carotenoides.
- Emplear diferentes agentes microencapsulantes tanto naturales como sintéticos con la finalidad de analizar cómo influyen en la eficiencia del proceso.
- Analizar la capacidad antiinflamatoria *in vitro* e *in vivo* de los extractos microencapsulados con la finalidad de obtener resultados robustos para el desarrollo de posibles productos con aplicaciones terapéuticas.
- Estimar el tiempo de vida útil y las características de almacenamiento de los microencapsulados con la finalidad de garantizar la conservación de compuestos bioactivos.

CAPÍTULO V. MATERIALES DE REFERENCIA

Referencias bibliográficas

- Asres, Y., Hymete, A., Admassu, H., & Ayalew, A. (2025). Application of microencapsulated essential oil extracted from *Thymus schimperi* for its antibacterial and antioxidant activity on minced meat. *Discover Applied Sciences*, 7(5), 1-17.
<https://link.springer.com/article/10.1007/s42452-025-06786-9>
- Azuola, R., & Vargas, P. (2007). Extracción de sustancias asistida por ultrasonido (EUA). *Tecnología en marcha*, 20(4), 30-40.
<https://www.redalyc.org/pdf/6998/699878328004.pdf>
- Bautista Gavilanes, S. N. (2024). Evaluación de la estabilidad de las cápsulas de gelatina formuladas a partir de microencapsulados de carotenoides extraídos de la cáscara de tomate de árbol (*Solanum betaceum*).
- Cajaleón Soto, J. (2021). Aditivos alimentarios y las enfermedades no transmisibles.
<http://hdl.handle.net/20.500.12404/20911>
- Cajiao Valdivieso, J. N. (2025). Evaluación in vitro de la capacidad antioxidante de los componentes bioactivos microencapsulados provenientes del hongo *Hericium erinaceus*.
- Chamorro Requena, H. R. (2017). Efecto de la presión y temperatura en la extracción por CO₂ supercrítico de carotenoides de zanahoria (*Daucus carota*).
<http://hdl.handle.net/20.500.12894/1584>

- Delascio-Chitty, F., & López, R. (2007). Las cucurbitáceas del estado Cojedes, Venezuela. *Acta Botanica Venezuelica*. Esquivel-González, B. E., Martínez, L. O., & Rutiaga-Quñones, O. M. (2015). Microencapsulación mediante secado por aspersión de compuestos bioactivos. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 16(2), 45-60. <https://www.redalyc.org/pdf/813/81343176006.pdf>
- Estrella, M. A. E., Infantes, S., & Román, K. (2023). Impacto del uso de colorantes naturales en la industria alimentaria. <https://doi.org/10.47187/0ks9nf12>
- Ezquerria-Brauer, J. M., & Chan-Higuera, J. E. (2021). Carotenoides: propiedades, funciones y aplicaciones. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*, 15(1), 45-60.
- Fратиanni, A., Adiletta, G., Di Matteo, M., Panfili, G., Niro, S., Gentile, C., Farina, V., Cinquanta, L., & Corona, O. (2020). Evolution of Carotenoid Content, Antioxidant Activity and Volatiles Compounds in Dried Mango Fruits (*Mangifera Indica* L.). *Foods*, 9(10), 1424. <https://doi.org/10.3390/foods9101424>.
- Gallegos Garza, M. M. (2024). Efecto de una emulsión w/o con extracto de *Haematococcus pluvialis* en la estabilidad oxidativa del aceite de aguacate (*Persea americana* Mill).
- Gan, X., Fei, G., Wang, J., Wang, Z., Lavorgna, M., & Xia, H. (2020). Powder quality and electrical conductivity of selective laser sintered polymer composite components. *Structure and Properties of Additive Manufactured Polymer Components*, 149–185. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819535-2.00006-5>
- Global Biodiversity Information Facility. (1999). *Gurania lobata* (L.) Pruski. GBIF Backbone Taxonomy. <https://www.gbif.org/es/species/3623397>
- Habib, A., Biswas, S., Siddique, A. H., Manirujjaman, M., Uddin, B., Hasan, S., ... & Asaduzzaman, M. (2015). Nutritional and lipid composition analysis of pumpkin seed

- (*Cucurbita maxima* Linn.). *J Nutr Food Sci*, 5(4), 374. Doi: 10.4172/2155-9600.1000374
- Hornero-Méndez, D., y Minguez-Mosquera, M. I. (2001). Rapid spectrophotometric determination of red and yellow isochromic carotenoid fractions in paprika and red pepper oleoresins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(8), 3584–3588. <https://doi.org/10.1021/jf010400l+->
- Konrade, D., & Spalvins, K. (2022). Extraction of bioactives from pumpkin by-products and determination of their antioxidant activity. *RESEARCH FOR RURAL DEVELOPMENT*, 37. Doi. 10.22616/rrd.28.2022.016
- Kultys, E., & Kurek, M. A. (2022). Green extraction of carotenoids from fruit and vegetable byproducts: A review. *Molecules*, 27(15), 5182. León-Cristancho, A. P., Roa-Higuera, K. A., Meneses-Marentes, N., & Tarazona-Díaz, M. (2022). Cuantificación de compuestos con potencial bioactivo en *Citrullus lanatus*, *Luffa cylindrica* y *Sicana odorifera*. *Revista UDCA*, 25(2), e2123. <https://doi.org/10.31910/rudca.v25.n2.2022.2123>
- Kwiri, R., Winini, C., Musengi, A., Mudyiwa, M., Nyambi, C., Muredzi, P., & Malunga, A. (2014). Proximate composition of pumpkin gourd (*Cucurbita pepo*) seeds from Zimbabwe. doi: 10.11648/j.ijnfs.20140304.17
- Ladislav, H. (2022). *Gurania Lobata* (L.) Pruski. *BOTANY.cz*. Sinónimos: *Anguria arrabidae*, *A. kegeliana*, *A. lobata*, *A. multiflora*, *A. spinulosa*, *A. wagneriana*; *Gurania angustiflora*, *G. annulata*, *G. arabidae*. <https://botany.cz/cs/gurania-lobata/>

- Mendoza García, D. K. (2024). Evaluación de la capacidad antioxidante y antiinflamatoria de polifenoles microencapsulados procedentes de los residuos de tamarindo (*Tamarindus indica*).
- Morillo Reinoso, Y. M., Haro Morales, G. J., & Ichau Espinoza, M. A. (2019). Eficiencia de encapsulación de carotenoides extraídos de *Capsicum annum* en nanopartículas de Zeina. FIGEMPA: Investigación y Desarrollo, 1(1), 1- 12.
<https://doi.org/10.29166/revfigurav1i1.1017>
- Naranjo, B., Suárez, A., Gutiérrez, R. I. A., & Tapia, A. (2014). Caracterización químico-nutritiva de especies vegetales consumidas por el tapir amazónico (*Tapirus terrestris*). Revista Amazónica Ciencia y Tecnología, 3(1), 21-32.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5271956>
- Nasiff-Hadad, A., & Meriño-Ibarra, E. (2003). Ácidos grasos omega-3: pescados de carne azul y concentrados de aceites de pescado. Lo bueno y lo malo. Revista Cubana de Medicina, 42(3), 184-191.
- Organización de los Estados Americanos. (2023). Enfermedades no transmisibles y derechos humanos: Informe sobre el derecho a la salud en las Américas. Comisión Interamericana de Derechos Humanos.
https://www.oas.org/es/cidh/informes/pdfs/2023/REDESCA_enfermedades_NoTransmisibles_DDHH_SPA.pdf
- Parra, H. R. (2010). Revisión: microencapsulación de alimentos. Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín, 63(2), 5571- 5586.
<http://www.scielo.org.co/pdf/rfnam/v63n2/a20v63n01.pdf>

- Pérez, C. (2019). Extracción y microencapsulación de licopenos provenientes de residuos agroindustriales del tomate de árbol (*Solanum betaceum*). [http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/29416/1/BQ 178.pdf](http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/29416/1/BQ%20178.pdf).
- Pilco, C. R. J., Chico, K. B. A., Sinchipa, S. A. A., Chela, C. R. C., & Silva, V. D. M. (2023). Biotecnología para la extracción de pigmentos vegetales, para uso industrial. LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades, 4(1), 1- 15. <https://doi.org/10.56712/latam.v4i1.353>
- Pruski, J. F. (1999). *Gurania lobata* (Cucurbitaceae), a new combination for an overlooked Linnaean name. *Brittonia*, 51(3), 326-330. <https://doi.org/10.2307/2666612>
- Rodríguez Graña, T., Peña González, M., Gómez Trujillo, N., Santisteban Lozano, Y., & Hernández Tamayo, M. (2015). Estrés oxidativo: genética, dieta y desarrollo de enfermedades. *Correo Científico Médico*, 19(1), 1- 15. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S156043812017000100014&script=sci_arttext&tlng=pt
- Rodríguez-Hernández, L. M., Aragüez-Fortes, Y., & Pino, J. A. (2022). Microencapsulación de aceites vegetales mediante secado por aspersión. *Revista de Ingeniería Química*, 45(2), 123- 135. <https://doi.org/10.55815/400725>
- Saedisomeolia, A., & Ashoori, M. (2018). Riboflavin in human health: a review of current evidences. *Advances in Food and Nutrition Research*, 83, 57- 81. <https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2017.11.002>
- Sailema Criollo, A. E. (2024). Evaluación de la actividad antioxidante y antiinflamatoria de carotenoides microencapsulados a partir de los residuos de la naranjilla (*Solanum quitoense*).

- Salma, A. (2006). Las Cucurbitáceas. Importancia económica, bioquímica y medicinal. Universidad Nacional de Colombia. 10 Sanhueza Catalán, J., Durán Agüero, S., & Torres García, J. (2015). Los ácidos grasos dietarios y su relación con la salud. *Nutrición Hospitalaria*, 32(3), 1362- 1375. <https://dx.doi.org/10.3305/nh.2015.32.3.9276> Suárez Heredia, M. A., Rosero, J. A.,
- Silva Manjarres, C. E. (2023). Evaluación de la vida útil de microencapsulados de carotenoides provenientes de desechos agroindustriales de tomate de árbol (*Solanum betaceum*) en la provincia de Tungurahua.
- Strati, I., & Oreopoulou, V. (2011). Process optimisation for recovery of carotenoids from tomato waste. *Food Chemistry*, 129(3), 747–752. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2011.05.015>
- Udensi, J., Loskutova, E., Loughman, J., & Byrne, H. (2022). Quantitative Raman Analysis of Carotenoid Protein Complexes in Aqueous Solution. *Molecules*, 27(15). <https://doi.org/10.3390/MOLECULES27154724/S1>
- Universidad Autónoma de Nuevo León. <http://eprints.uanl.mx/27677/1/1080312940.pdf>
- Valentino, G., Tagle, R., & Acevedo, M. (2014). Dieta DASH y menopausia: Más allá de los beneficios en hipertensión arterial. *Revista chilena de cardiología*, 33(3), 215- 222. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-85602014000300008>
- Vilela-Santos, M. C., Barbosa, L. F., Coutinho, N. A., Pinheiro, M. H., Rodrigues, D. J., Cavalheiro, L., ... & Burnham, R. J. (2012). Cucurbitaceae, Gurania Cogn., for southern Amazonia, Mato Grosso, Brazil. *Check List*, 8(2), 239-241. <https://doi.org/10.15560/8.2.239>

Villamizar Ortiz, M. A., & Aristizábal Serna, M. C. (2023). Revisión sistemática cualitativa sobre los factores nutricionales que contribuyen a la prevención de la degeneración macular asociada a la edad. <https://hdl.handle.net/20.500.14625/4254>

Vladimír, M., Matwiczuk, A. P., Niemczynowicz, A., Kycia, R. A., Karcz, D., Gładyszewska, B., ... & Burg, P. (2021). Chemometric approach to characterization of the selected grape seed oils based on their fatty acids composition and FTIR spectroscopy. *Scientific Reports*, 11(1), 19256. <https://www.nature.com/articles/s41598-021-98763-6>

Anexos

Anexo 1

Concentración de carotenoides del mesocarpio del yuwi para cada tratamiento

Tratamiento	N° Réplica	Blanco	Absorbancia	% Concentración (mg/L)
T1	1	0,099	2,258	13,90
	2	0,099	2,275	14,01
	3	0,099	2,239	13,78
T2	1	0,044	1,928	12,13
	2	0,044	2,128	13,42
	3	0,044	2,154	13,58
T3	1	0,044	2,758	17,47
	2	0,044	2,872	18,20
	3	0,044	2,894	18,35
T4	1	0,099	1,777	10,80
	2	0,099	1,857	11,32
	3	0,099	1,887	11,51
T5	1	0,044	1,770	11,11
	2	0,044	1,845	11,59
	3	0,044	1,870	11,75
T6	1	0,044	1,863	11,71
	2	0,044	1,861	11,70
	3	0,044	1,862	11,70
T7	1	0,099	1,291	7,67
	2	0,099	1,357	8,10
	3	0,099	1,357	8,10
T8	1	0,044	1,376	8,57
	2	0,044	1,501	9,38
	3	0,044	1,497	9,35
T9	1	0,044	1,486	9,28
	2	0,044	1,498	9,36
	3	0,044	1,559	9,75

Nota. Los datos corresponden a la absorbancia de 472 nm y la y la concentración de carotenoides

Anexo 2

Concentración de sólidos totales del mesocarpio del yuwi para cada tratamiento

Tratamiento	Réplica	% de Humedad	% Sólidos Totales
1	1	98.250	1.750
	2	98.044	1.956
	3	98.093	1.907
2	1	98.631	1.369
	2	98.844	1.156
	3	98.669	1.331
3	1	97.353	2.647
	2	97.401	2.599
	3	97.380	2.620
4	1	98.283	1.717
	2	98.323	1.677
	3	98.397	1.603

Nota. La tabla muestra el contenido de la concentración de carotenoides de los sólidos totales

Anexo 3

Contenido de humedad de las muestras secas

Muestra	MC % (R1)	MC % (R2)	MC % (R3)	MC (%) promedio	desv e
Zapallo (Fruta)	7,27	6,99	6,87	7,04	0,21
Zapallo (Semilla)	4,97	5,14	5,68	5,26	0,37

Anexo 4

Datos de la eficiencia cuantitativa de la microencapsulación de carotenoides

Tratamiento	N° Réplica	Blanco	Absorbancia	% Concentración (mg/L)
Etanol	1	0,044	1,641	10,28
	2	0,044	1,603	10,03
	3	0,044	1,576	9,86
Agua destilada	1	0,044	0,158	0,73
	2	0,044	0,157	0,72
	3	0,044	0,147	0,04

Anexo 5

Eliminación de radicales DPPH con el extracto de fruto de Yuwi acuoso

Concentración (ug/mL)		R1	R2	PROM	Desv est	%AA	%AA2	Prom AA	Desv est4
Control		0,5707	0,5799	0,575	0,0065				
800	800	0,2841	0,3071	0,296	0,0163	48,62	46,62	47,62	1,41
700	700	0,3462	0,3486	0,347	0,0017	39,61	39,41	39,51	0,15
600	600	0,3709	0,37	0,370	0,0006	35,61	35,69	35,65	0,06
500	500	0,4495	0,4418	0,446	0,0054	22,54	23,21	22,87	0,47
250	250	0,5123	0,4792	0,496	0,0234	13,83	16,70	15,27	2,03
100	100	0,5428	0,5121	0,527	0,0217	8,32	10,99	9,65	1,89

Anexo 6

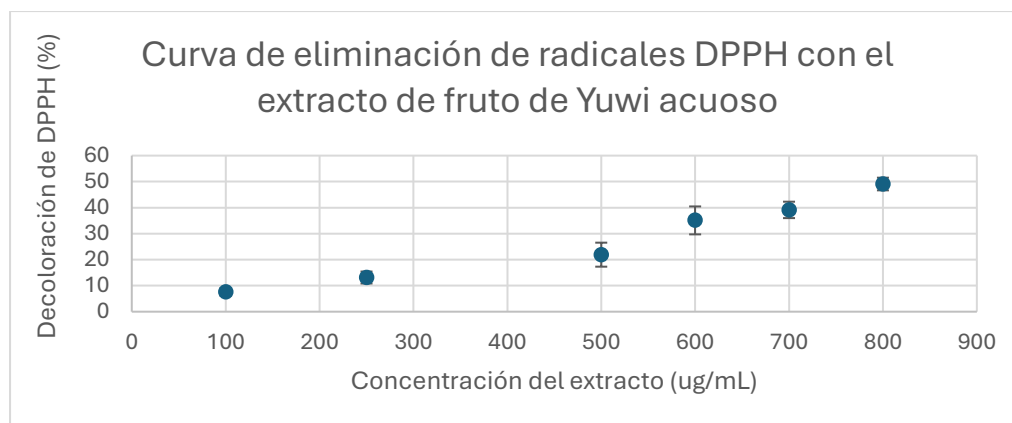
Eliminación de radicales DPPH con el microencapsulado de fruto de Yuwi

Concentración (ug/mL)	R1	R2	Prom	Desv est	%AA
Control	0,5707	0,5799	0,571	0,009	
1000	0,0592	0,0641	0,062	0,003	89
500	0,434	0,4198	0,427	0,010	25
250	0,482	0,4849	0,483	0,002	15
100	0,5617	0,5164	0,539	0,032	6

50	0,5575	0,4997	0,529	0,041	7
----	--------	--------	-------	-------	---

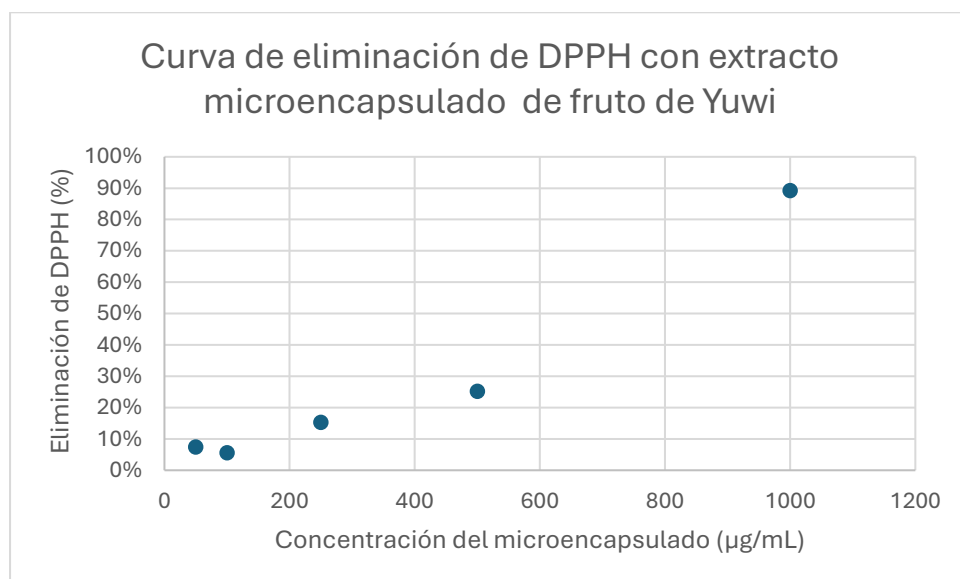
Anexo 7

Curva de eliminación de radicales DPPH con el extracto de fruto de Yuwi acuoso



Anexo 8

Curva de eliminación de DPPH con extracto microencapsulado de fruto de Yuwi



Anexo 9

Curva de eliminación de DPPH con extracto microencapsulado de las semillas de Yuwi

