UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERÍA EN ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGÍA

CARRERA DE BIOTECNOLOGÍA

Tema: Obtención de extractos a partir de harina de chonta (*Bactris gasipaes*) mediante propano-butano subcrítico y soxhlet. Articulado al Proyecto de Investigación aprobado mediante la resolución N° UTA-CONIN-2025-0146-R.

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.

Este trabajo esta articulado al Proyecto de Investigación "Enfoque de biorrefinería aplicado a los frutos de chonta *(Bactris gasipaes)* para la obtención de productos con valor agregado, mediante la aplicación de CO2 supercrítico" aprobado mediante la resolución N° UTA-CONIN-2025-0146-R.

Autor: Francisco Javier Mena Guzmán

Tutor: Mg. Cristian Fernando Galarza Galarza

Ambato – Ecuador

Julio – 2026

APROBACIÓN DEL TUTOR

Mg. Cristian Fernando Galarza Galarza

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, 04 de junio de 2026

Mg. Cristian Fernando Galarza Galarza

18XXXXXX72

TUTOR

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

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

Francisco Javier Mena Guzmán

18XXXXXX15

AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga uso 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.

Francisco Javier Mena Guzmán

18XXXXXX15

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:

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
ESTEBAN MAURICIO FUENTES PEREZ

Presidente del Tribunal

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
LILIANA ALEXANDRA CERDA MEJIA

Dra. Liliana Alexandra Cerda Mejía

18XXXXXX86

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
MARIO DANIEL GARCIA SOLIS

Dr. Mario Daniel García Solís

11XXXXXX71

Ambato, 16 de junio de 2026

DEDICATORIA

Dedico este proyecto, antes que nada, a Dios, quien ha sido una guía y mi refugio durante este largo camino, por impulsarme, guiarme y no dejarme caer, ha sido mi casa cuando el mundo se me viene encima, gracias ayudarme a cumplir este pequeño logro.

A mis padres Mónica y Francisco, quienes a pesar de los problemas y adversidades han estado para mí en todo momento, por estar presentes, por nunca faltarme, por no fallarme. Ustedes fueron quienes formaron la persona y profesional que soy hoy en día, gracias por enseñarme valores, respeto y amor. Este pequeño paso se los dedico a ustedes, antes que a mí, porque sin ustedes no soy ni seré lo que algún día soñé.

A mi hermanas Michelle y Cristina, por ser mi segundo hogar a pesar de estar lejos, por cada "Como haz estado mijo", por cada sonrisa, cada momento vivido, por cada travesura tapada, quiero decirles que yo estoy orgulloso de ustedes, porque gracias a eso, a que nunca se rindieron yo hoy estoy culminando esta etapa de mi vida.

A mi sobrino Cristopher quien ha ido mi distracción en cada momento duro de la vida, por cada videojuego compartido, por ser mi primer mejor amigo y por dejarme ser "tu hermano mayor". Recuerda que siempre tendrás un lugar a donde ir y yo estaré aquí Mi Negrito.

A mis mejores amigos, quienes han sido ese impulso que necesitaba, por cada noche de videollamada, cada partido de fútbol, cada partido de básquet. Por enseñarme que a veces personas desconocidas pueden ser tu familia. A mi hermano de otra madre Kevin, quien desde hace un año y medio me cuidó, me guio desde el cielo, esto es lo que soñábamos y hoy lo estoy cumpliendo por nosotros.

A mi fiel mascota, mi conejo, quien fue y es mi compañía, quien estuvo para mi y muchas veces me escuchó, que aunque no lo sepa, a sido mi apoyo en los momentos difíciles de la vida.

Finalmente me lo dedico a mí, por confiar en mí mismo, por no rendirme, por levantar cabeza, por cumplir ese sueño que un día un adolescente lo pensó, por no dejarse vencer por todo lo malo que ocurría y por ser la persona que eres, esto es por ti Francisco, lo lograste.

AGRADECIMIENTO

Aquí culmina una etapa importante en mi vida, llena de buenas personas y momentos que jamás olvidaré, que me transformaron y me impulsaron a ser mejor, cada momento de esta tesis está marcado por alguno de ustedes y por eso este logro lo comparto con todos los que estuvieron para mí.

Mi familia, mi linda familia, gracias por todo por ser el impulso cuando no tenía fuerzas para hacer nada, cuando estaba a punto de rendirme y dejarlo todo, gracias por oírme, por aconsejarme, por guiarme, por cada buen momento y cada palmada en la espalda, la vida me quedará corta para agradecerles todo lo que han hecho por mí.

A mis compañeros de carrera, me quedó corto nombrando a todos ustedes, sé que compartimos momentos inolvidables y la amistad que se formó va más allá de todo. Gracias por todo y por impulsarme en etapas complicadas de la Universidad, gracias por sacarme una sonrisa y por ser lo que fueron. Gracias Micro G9 por cada bello recuerdo, cada uno ya es y será un profesional más, lo logramos.

A mis mejores amigos, Alvaro, Juan, Josué, José, Julio, Marco, Andrés, Patricio, Danny, Javier quienes han sido mis hermanos, las personas que más necesitaba, esas amistades que nunca morirán y son eternas, porque sé que mi felicidad es también la suya, por eso les aprecio con todo el alma. A Dally, Dome y Deneb por estar durante todo este proceso y ser buenas amigas, por aconsejarme y escucharme en los momentos difíciles de la vida, por ser buenas personas y por siempre impulsarme y apoyarme para ser mejor, siempre las llevaré presentes.

A ti Génesis, por haber sido mi refugio tantos años, por haber compartido tantos bellos momentos y estar para mi cuando sentía que no tenía nada más. Gracias por ser mi guía y ser parte de este corto momento en mi vida. No olvides que cada pequeño logro que cumplas yo estaré orgulloso de ti.

Gracias a todas las personas que formaron parte de mi vida y que por motivos de la misma hoy ya no están presentes.

Esto es fruto de todos ustedes, siempre los tendré presente, gracias por todo.

Francisco Mena

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL TUTOR....ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN....iii
DERECHOS DE AUTOR....iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO....v
DEDICATORIA....vi
AGRADECIMIENTO....vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS....viii
ÍNDICE DE TABLAS....xi
ÍNDICE DE FIGURAS....xii
ÍNDICE DE ANEXOS....xiii
RESUMEN EJECUTIVO....xiv
ABSTRACT....xv
CAPÍTULO I.- MARCO TEÓRICO....1
1.1. Antecedentes Investigativos....1
1.1.1. Justificación....1
1.1.2. Chonta: Generalidades....2
1.1.2.1. Composición nutricional de la chonta....4
1.1.2.2. Usos de la chonta....6
1.1.2.3. Actividad biológica de los extractos de la chonta....6
1.1.3. Métodos de extracción de metabolitos secundarios....7
1.1.4. Solventes orgánicos....8
1.1.5. Fluidos supercríticos....8
1.1.6. Propano – butano subcrítico....9
1.1.7. Método Soxhlet....10
1.2. Objetivos....11
1.2.1. Objetivo general....11

1.2.2. Objetivos Específicos.....11
CAPÍTULO II.- METODOLOGÍA 12
2.1. Materiales.....12
2.2. Métodos.....13
2.2.1. Extracción de compuestos bioactivos derivados de la harina de chonta utilizando propano-butano subcrítico y la técnica convencional Soxhlet. 13
2.2.1.1. Extracción empleando propano-butano subcrítico.....13
2.2.1.2. Extracción convencional con Soxhlet.....14
2.2.1.3. Determinación del rendimiento global de extracción 14
2.2.2. Comparación del perfil químico de los extractos de la chonta obtenidos con propano-butano subcrítico en relación con el método convencional Soxhlet mediante cromatografía de capa fina TLC. 14
2.2.2.1. Cromatografía en capa fina (TLC).....15
2.2.3. Evaluación de la capacidad antioxidante y antiinflamatoria de los extractos de la chonta 15
2.2.3.1. Evaluación de las capacidad antioxidante método DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidracilo).....16
2.2.3.2. Evaluación de la capacidad antiinflamatoria 16
2.2.4. Análisis estadístico.....17
CAPÍTULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN 19
3.1. Análisis y discusión de los resultados.....19
3.1.1. Extracción de compuestos bioactivos derivados de la harina de chonta utilizando propano-butano subcrítico y la técnica convencional Soxhlet. 19
3.1.2. Comparación del perfil químico de los extractos de la chonta obtenidos con propano-butano subcrítico en relación con el método convencional Soxhlet mediante cromatografía de capa fina TLC. 22
3.1.3. Evaluación de la capacidad antioxidante y antiinflamatoria de los extractos de la chonta 25
3.1.3.1. Capacidad antioxidante.....25

3.1.3.2. Capacidad antiinflamatoria 28
CAPÍTULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 33
4.1. Conclusiones 33
4.2. Recomendaciones 34
BIBLIOGRAFÍA 35
ANEXOS 41

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Reactivos, materiales y equipos. 12
Tabla 2. Resultados de la extracción por el método convencional Soxhlet. 19
Tabla 3. Resultados de la extracción por el método Propano-Butano subcrítico..20
Tabla 4. Resultados de la cromatografía de capa fina TLC de los extractos de chonta por el método Soxhlet. 23
Tabla 5. Resultados de la cromatografía de capa fina TLC de los extractos de chonta por el método propano-butano subcrítico. 23
Tabla 6. Resultados de la capacidad antioxidante de los extractos obtenidos por el método Soxhlet. 26
Tabla 7. Resultados de la capacidad antioxidante de los extractos obtenidos por el método propano-butano subcrítico. 26
Tabla 8. Resultados de la capacidad antiinflamatoria de los extractos obtenidos por el método Soxhlet. 29
Tabla 9. Resultados de la capacidad antiinflamatoria de los extractos obtenidos por el método propano-butano subcrítico. 29

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Morfología de la planta y fruto de Bactris gasipaes. 2
Figura 2. Distribución geográfica de B. gasipaes en Centro y Sur América. 4
Figura 3. Composición fitoquímica de B. gasipaes. 5
Figura 4. Esquema del montaje del equipo soxhlet. 10
Figura 5. Análisis T-student de los rendimientos de ambos métodos. 21
Figura 6. Resultados experimentales de la cromatografía de capa fina. 22
Figura 7. Análisis T-student de los factores de retención de ambos métodos. 24
Figura 8. Resultados experimentales de la capacidad antioxidante por el método DPPH. 25
Figura 9. Análisis T-student de los factores del % de Inhibición de la capacidad antioxidante de ambos métodos. 27
Figura 10. Análisis T-student de los factores del % de Desnaturalización de la capacidad antiinflamatoria de ambos métodos. 30

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A. Cálculo demostrativo del rendimiento global de la extracción. 41
Anexo B. Cálculo demostrativo del Factor de Retención de los extractos de chonta. 41
Anexo C. Curva de calibración Trolox para el ensayo antioxidante por el método DPPH. 41
Anexo D. Cálculo demostrativo del % Inhibición del DPPH de capacidad antioxidante de los extractos de chonta.....42
Anexo E. Cálculo demostrativo del % Inhibición de la desnaturalización proteica de la capacidad antiinflamatoria de los extractos de chonta.....42

RESUMEN EJECUTIVO

La chonta (*Bactris gasipaes*) es un fruto de gran importancia nutricional debido a su contenido de compuestos bioactivos, entre ellos carotenoides, ácidos grasos y compuestos fenólicos, asociados con propiedades antioxidantes y antiinflamatorias. Actualmente, existe un creciente interés por la búsqueda de fuentes naturales de compuestos funcionales y por el desarrollo de tecnologías de extracción sostenibles que permitan aprovechar recursos vegetales con potencial aplicación en las industrias alimentaria y farmacéutica. La presente investigación tuvo como objetivo obtener extractos derivados de la harina de chonta mediante los métodos de extracción Soxhlet y propano-butano subcrítico, comparar su perfil químico y evaluar su capacidad antioxidante y antiinflamatoria. Se determinó el rendimiento de extracción por gravimetría, se caracterizaron los extractos mediante cromatografía en capa fina (TLC), se evaluó la actividad antioxidante mediante el ensayo DPPH y la actividad antiinflamatoria mediante la inhibición de la desnaturalización de albúmina. Los resultados evidenciaron que el método Soxhlet presentó un mayor rendimiento de extracción que el método propano-butano subcrítico, además de diferencias en el perfil químico de los extractos obtenidos. Por otra parte, la extracción con propano-butano subcrítico mostró la mayor capacidad antioxidante, alcanzando una inhibición del radical DPPH de hasta 77,20 por ciento, mientras que los extractos obtenidos mediante Soxhlet registraron la mayor actividad antiinflamatoria, con una inhibición de la desnaturalización proteica de hasta 96,00 por ciento. Concluyendo que la harina de chonta constituye una fuente prometedora de compuestos bioactivos y que ambos métodos de extracción representan alternativas viables para la obtención de ingredientes funcionales de valor agregado.

Palabras clave: *Bactris gasipaes*, chonta, extracción subcrítica, Soxhlet, antioxidante, antiinflamatorio, compuestos bioactivos.

ABSTRACT

Peach palm (*Bactris gasipaes*) is a fruit of great nutritional importance due to its content of bioactive compounds, including carotenoids, fatty acids, and phenolic compounds, which are associated with antioxidant and anti-inflammatory properties. Currently, there is growing interest in the search for natural sources of functional compounds and in the development of sustainable extraction technologies that enable the utilization of plant resources with potential applications in the food and pharmaceutical industries. The aim of this study was to obtain extracts derived from peach palm flour using Soxhlet and subcritical propane–butane extraction methods, compare their chemical profiles, and evaluate their antioxidant and anti-inflammatory capacities. Extraction yield was determined gravimetrically, the extracts were characterized by thin-layer chromatography (TLC), antioxidant activity was assessed using the DPPH assay, and anti-inflammatory activity was evaluated through the inhibition of albumin denaturation. The results showed that the Soxhlet method achieved a higher extraction yield than the subcritical propane–butane method, as well as differences in the chemical profiles of the extracts obtained. On the other hand, subcritical propane–butane extraction exhibited the highest antioxidant capacity, reaching DPPH radical inhibition values of up to 77.20%, whereas extracts obtained by Soxhlet extraction showed the greatest anti-inflammatory activity, with protein denaturation inhibition values of up to 96.00%. It was concluded that peach palm flour represents a promising source of bioactive compounds and that both extraction methods constitute viable alternatives for obtaining value-added functional ingredients.

Keywords: *Bactris gasipaes*, peach palm, subcritical extraction, Soxhlet, antioxidant activity, anti-inflammatory activity, bioactive compounds.

CAPÍTULO I.- MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes Investigativos

1.1.1. Justificación

En Ecuador, particularmente en la región Amazónica, se presentan datos alarmantes relacionados a malnutrición **(Lee et al., 2020)**, este fenómeno está asociado a los cambios sociales, económicos, ambientales y geográficos lo que ha provocado variaciones en la dieta ancestral de los habitantes de estas regiones. Bajo este contexto, la industria de alimentos se enfoca principalmente en la palatabilidad y larga vida a bajo costo, colocando en segundo plano el valor nutricional o procesos productivos sustentables **(Donders & Barriocanal, 2020)**. Como consecuencia, alimentos tradicionales como la fariña, los zumos naturales y la panela han sido reemplazados por harina refinada de trigo, bebidas azucaradas y azúcar procesada respectivamente, afectando la seguridad y soberanía alimentaria y limitando el acceso a alimentos nutricionalmente adecuados capaces de satisfacer los requerimientos fisiológicos de la población.

Frente a esta problemática, el aprovechamiento biotecnológico de especies nativas amazónicas representa una alternativa sostenible para el desarrollo de ingredientes funcionales y compuestos bioactivos con potencial aplicación alimentaria e industrial. En este sentido, los frutos de chonta (*Bactris gasipaes*) destacan por su elevado contenido de proteínas, fibra, carbohidratos, ácidos grasos mono y poliinsaturados y carotenoides con actividad provitamina A **(Martínez - Girón et al., 2024)**. Debido a ello, la recuperación eficiente de estos metabolitos mediante técnicas extractivas adecuadas resulta de gran interés biotecnológico, ya que la selección del método de extracción influye directamente en el rendimiento, estabilidad y conservación de los compuestos bioactivos obtenidos.

Los extractos de la chonta pueden obtenerse por varios métodos de extracción tales como Soxhlet o Propano – Butano subcrítico, este último es una técnica de extracción caracterizada por ser amigable con el medio ambiente y de bajo coste, siendo altamente empleado en la extracción de compuestos lipofílicos, terpenos y compuestos fenólicos. Este es un método que por sus condiciones bajas de temperatura permite conservar de mejor manera las características antioxidantes y sus propiedades organolépticas, además de presentar una alta capacidad para reciclar el solvente **(Zhang et al., 2024)**. Recientes estudios han demostrado la eficiencia de este método en matrices vegetales oleaginosas y ricas en carotenoides; por

ejemplo, **Wang et al. (2021),** reportaron que la extracción con propano subcrítico favoreció la obtención de aceites con mejor estabilidad oxidativa y elevada calidad química frente a métodos convencionales de extracción, mientras que **Li et al. (2024)** señalaron que las propiedades fisicoquímicas del propano subcrítico favorecen la difusión y solubilización selectiva de metabolitos lipofílicos.

1.1.2. Chonta: Generalidades

La chonta, conocida científicamente como *Bactris gasipaes*, pertenece al reino Plantae, división Magnoliopsida, clase Liliopsida, familia Arecaceae y género *Bactris.* Este fruto proviene de la palma tropical originaria de la región amazónica y se caracteriza por presentar formas ovoides, cilíndricas o cónicas, con tamaños que oscilan entre 2 y 7 cm de longitud, aunque algunos ejemplares pueden alcanzar hasta 10 cm. El fruto posee un epicarpio delgado que protege la pulpa interna y presenta tonalidades que varían desde amarillo hasta naranja claro y rojizo, dependiendo del estado de maduración y la variedad genética, como se observa en la **Figura 1, (González-Jaramillo et al., 2022).**

Figura 1

Morfología de la planta y fruto de Bactris gasipaes.

Nota. Obtenido de **González-Jaramillo et al. (2022).**

Dentro del tronco de la chonta se encuentra lo conocido como palmito, el cual se caracteriza por presentar un sabor ligeramente dulce y una textura fibrosa altamente apreciada en la industria alimentaria. Además, esta especie posee la capacidad de continuar su desarrollo después de los procesos de postcosecha, lo que la convierte en una fuente sostenible para la

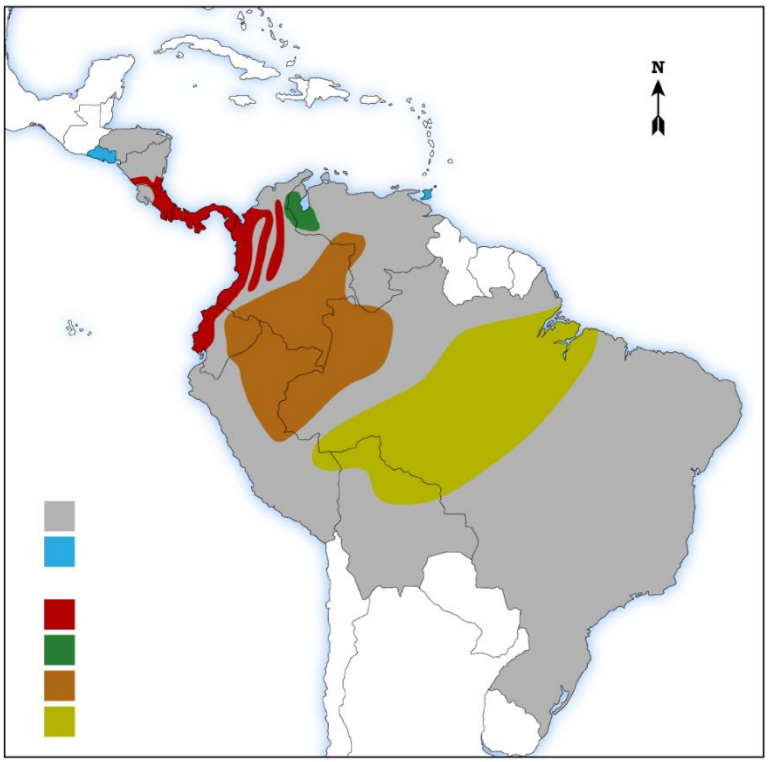
obtención de frutos y subproductos, al igual que otras especies de importancia económica como *Euterpe oleracea* (Asaí). Por otra parte, el fruto de la chonta presenta una textura harinosa o aceitosa y una baja actividad de polifenol oxidasa, característica que favorece su utilización en productos mínimamente procesados y contribuye a una mayor estabilidad durante el procesamiento industrial.

Este fruto se cultiva principalmente en suelos tropicales ácidos y de baja fertilidad en altitud inferiores a 1.000 msnm, y a temperaturas de 22 °C. Su distribución se extiende a lo largo de Centro y Sudamérica, como se muestra en la **Figura 2, (González-Jaramillo et al., 2022).** Actualmente, Brasil se posiciona como el principal productor de chonta, seguido de Ecuador y Costa Rica **(Graefe et al., 2012)**. Adicionalmente, la similitud morfológica y genética con otras especies de palmas sugiere que su domesticación ocurrió en regiones amazónicas mediante procesos de hibridación. Debido a su elevado valor nutricional y contenido de aceites, la chonta ha despertado interés biotecnológico e industrial, considerándose una materia prima promisoria para el desarrollo de nuevos productos alimentarios y funcionales.

En Ecuador, la chonta representa un recurso de elevada importancia económica y biotecnológica debido a su potencial para el aprovechamiento integral de frutos, palmito y subproductos derivados. Su cultivo y comercialización constituyen una fuente de ingresos para comunidades amazónicas y pequeños productores rurales, además de contribuir a la diversificación de sistemas agroforestales sostenibles. Diversos estudios han señalado que esta especie posee un alto valor estratégico por su composición nutricional, contenido de carotenoides, aceites y compuestos bioactivos, características que han despertado interés en las industrias alimentaria, farmacéutica y cosmética **(González-Jaramillo et al., 2022)**.

Figura 2

Distribución geográfica de B. gasipaes en Centro y Sur América.



Nota. Gris: nativo; azul: introducido; rojo: zona occidental amazónica; verde: Maracaibo; marrón: zona alta amazónica; amarillo: zona oriental amazónica. Obtenido de **González-Jaramillo et al. (2022).**

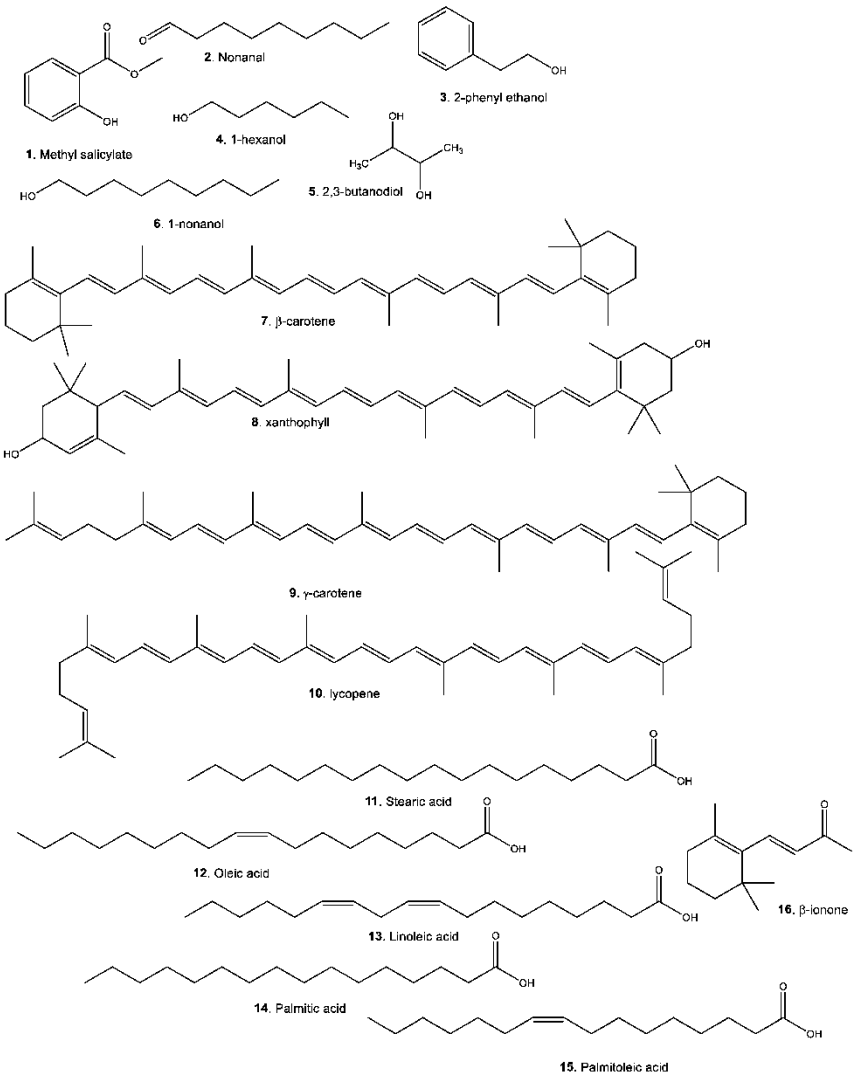
1.1.2.1. Composición nutricional de la chonta

La composición nutricional que muestran **Rojas-Garbanzo et al. (2016)**, evidencian que el fruto de la chonta presenta aproximadamente 56 g de humedad, 1.80 g de cenizas, 14 g de grasas, 11 g de fibra, 5 g de proteínas y 12.20 g de carbohidratos. Además, destaca por su elevado contenido de β-caroteno, vitaminas A, B y C, así como minerales esenciales como calcio, hierro y fósforo. Por otro lado, se ha evidenciado que la chonta se comprende de 16 compuestos fitoquímicos **(Figura 3)**, entre los que se incluyen un éster, un aldehído, cuatro alcoholes, cuatro carotenoides, cinco ácidos grasos y un compuesto aromático. La presencia de estos metabolitos bioactivos ha motivado múltiples investigaciones relacionadas con su capacidad antioxidante y efecto protector frente al daño oxidativo **(González-Jaramillo et al., 2022)**.

Sin embargo, la composición nutricional y fitoquímica de la chonta puede variar considerablemente dependiendo de factores como el estado de maduración del fruto y la coloración de la cáscara, características que influyen directamente en la composición de la pulpa **(Soares et al., 2022)**. Otro aspectos a considerar es el mesocarpio cuando el fruto es de color amarillo, ya que, posee aminoácidos esenciales como la leucina, lisina, tirosina, arginina, treonina, valina e histidina. Por otro lado, los frutos de color rojo contienen los mismos aminoácidos, aunque en menores concentraciones, además de ácido glutámico y ácido aspártico. Estas diferencias composicionales sugieren que la variabilidad fenotípica del fruto puede influir en sus propiedades nutricionales, funcionales y tecnológicas, aspectos de interés para aplicaciones alimentarias, farmacéuticas y biotecnológicas.

Figura 3

Composición fitoquímica de B. gasipaes.



Nota. Principales compuestos del fruto. Obtenido de **González-Jaramillo et al. (2022).**

1.1.2.2. Usos de la chonta

La chonta es considerada uno de los frutos tropicales con mayor valor nutricional debido a su contenido de carbohidratos, fibra, lípidos y compuestos bioactivos. Tradicionalmente su fruto ha sido utilizado como materia prima para la elaboración de diversos productos alimenticios básicos y nutritivos, entre los que destacan harinas, chicha fermentada, ensilados de fermentación lenta, aceites, pulpas, formulaciones infantiles y sustitutos parciales de piensos destinados a animales de granja y sistemas de piscicultura **(Torres-Vargas et al., 2021)**. En estudios realizados por **Zamora (2022)** ha demostrado que las características fisicoquímicas del fruto varían en función de su tamaño, evidenciando que los frutos de menor tamaño tienden a acumular mayores concentraciones de aceite y fibra, mientras que los frutos de mayor tamaño presentan contenidos superiores de almidón.

Además de sus aplicaciones tradicionales, investigaciones recientes han identificado nuevas alternativas de aprovechamiento para los subproductos derivados de la chonta, incluyendo cáscaras, residuos fibrosos, harinas residuales y fracciones lipídicas obtenidas durante el procesamiento industrial. Estos subproductos han sido empleados en la elaboración de mermeladas, jaleas, vinos, harinas y productos derivados como pan, pudines y pastas. De igual manera, se ha reportado su utilización como ingredientes funcionales en alimentos enriquecidos, en procesos de elaboración de cerveza artesanal y como fuente de colorantes naturales y aditivos alimentarios con actividad antioxidante. Adicionalmente, se han explorado aplicaciones en la descontaminación de aguas, específicamente para la remoción de minerales como el plomo y el cadmio, lo que ha generado un creciente interés en la industria en los últimos años **(González-Jaramillo et al., 2022)**.

1.1.2.3. Actividad biológica de los extractos de la chonta

Los extractos obtenidos de los frutos de chonta contienen un perfil bioactivo complejo, este se encuentra combinado por la presencia de lípidos, carotenoides y compuestos fenólicos que atribuyen características antioxidantes y funcionales. En cuanto a su composición fitoquímica, esta varía en función de factores como el estado de madurez del fruto, el método de extracción empleado y las condiciones de procesamiento del mismo, influyendo directamente en la estabilidad oxidativa y biodisponibilidad de los compuestos bioactivos **(Rodríguez-Amaya, 2016)**. Debido a ello, la selección de técnicas extractivas adecuadas resulta fundamental para optimizar la recuperación y preservación de metabolitos de interés.

La chonta se caracteriza por un contenido importante de ácidos grasos saturados y monoinsaturados, destacando el ácido palmítico y el ácido oleico. Estos compuestos lipídicos

cumplen funciones estructurales y metabólicas que actúan como matrices lipofílicas capaces de favorecer la solubilización y estabilidad de los carotenoides presentes en el fruto. Asimismo, la presencia de ácidos grasos insaturados se ha relacionado comúnmente con propiedades antiinflamatorias y cardioprotectoras **(Dubois et al., 2007)**. De igual manera, la chonta posee una fuente importante de compuestos provitamina A, principalmente β-caroteno, estos carotenoides liposolubles cumplen funciones esenciales como la captación y disipación de energía lumínica en procesos fotosintéticos y protección frente a radiación que ocasiona daño oxidativo **(Britton et al., 2009)**.

Por último, los compuestos fenólicos representan uno de los principales responsables de la actividad antioxidante observada en los extractos de chonta, estos incluyen: flavonoides y ácidos fenólicos. Estos compuestos son capaces de neutralizar especies reactivas de oxígeno aplicando mecanismos de transferencia electrónica y quelación de metales. Diversos estudios como los realizados por **Ignat et al. (2011),** han demostrado que los extractos ricos en fenoles presentan elevada capacidad antioxidante y potencial antimicrobiano, respaldando su aplicación en la industria alimentaria y biotecnología.

1.1.3. Métodos de extracción de metabolitos secundarios

Los metabolitos secundarios del fruto de chonta, tales como compuestos fenólicos, carotenoides y otros analitos lipofílicos, se obtienen mediante procesos de extracción selectivos. Estos metabolitos presentan estructuras diversas que establecen sus propiedades funcionales. Por un lado, los compuestos fenólicos contienen anillos aromáticos con grupos hidroxilo responsables de la capacidad antioxidante y reacción redox. Por otro lado, los carotenoides poseen cadenas poliénicas conjugadas que son esenciales en la actividad antioxidante liposoluble, sin embargo, esta misma estructura los hace altamente susceptibles a procesos de degradación inducidos por factores como la luz, el oxígeno y las elevadas temperaturas **(Rodríguez – Amaya, 2016)**.

Aunque estos metabolitos no participan directamente en el metabolismo primario de las plantas, cumplen funciones esenciales relacionadas con la respuesta frente al estrés ambiental, la defensa contra fitopatógenos y la protección celular frente al daño oxidativo. Su recuperación biotecnológica está condicionada por la complejidad de la matriz vegetal, la polaridad del solvente y a las variables fisicoquímicas involucradas en el sistema de extracción. Entre las técnicas más utilizadas para la obtención de estos compuestos destacan la maceración con solventes orgánicos, la extracción convencional Soxhlet y métodos emergentes asistidos por ultrasonido o microondas **(Azmir et al., 2013)**.

1.1.4. Solventes orgánicos

La elección del solvente orgánico es un factor crítico en la extracción de metabolitos bioactivos a partir de la harina de chonta, debido a la coexistencia de compuestos polares y lipofílicos en esta matriz vegetal. La eficiencia extractiva depende principalmente de la polaridad del solvente, la afinidad química con los metabolitos de interés y su capacidad para penetrar la estructura celular deshidratada del material vegetal, favoreciendo así la liberación y solubilización de compuestos bioactivos **(Azmir et al., 2013).** En este contexto, la adecuada selección del solvente influye directamente en el rendimiento de extracción, la estabilidad de los compuestos recuperados y la calidad funcional de los extractos obtenidos.

Entre los orgánicos más empleados para la extracción de metabolitos secundarios se encuentran el etanol, metanol, acetona y hexano, cada uno con propiedades fisicoquímicas específicas que determinan su selectividad extractiva. El etanol es ampliamente aplicado en matrices alimentarias debido a su baja toxicidad y elevada eficacia para extraer compuestos fenólicos, especialmente cuando se emplean mezclas hidroalcohólicas que mejoran la solubilización de flavonoides y ácidos fenólicos. Por otro lado, el metanol presenta alta eficiencia para metabolitos fenólicos de bajo peso molecular, debido a su elevada polaridad. Asimismo, la acetona, al poseer polaridad intermedia, permite extraer tanto fenoles como algunos carotenoides facilitando además la liberación de metabolitos asociados a matrices polisacarídicas presentes en harinas vegetales. En contraste, solventes no polares como el hexano son utilizados principalmente para la extracción de fracciones lipofílicas, incluyendo carotenoides y ácidos grasos, siendo comúnmente empleados en sistemas Soxhlet debido a su elevada afinidad con compuestos hidrofóbicos **(Azmir et al., 2013; Dai & Mumper, 2010)**.

1.1.5. Fluidos supercríticos

Entre los fluidos supercríticos más comunes para la extracción de compuestos bioactivos se puede ubicar al CO_2 supercrítico, el cual puede combinarse con tratamientos mecánicos o incluso con aceites vegetales para mejorar la eficiencia extractiva, como mencionan **(Krichnavaruk et al., 2008)**. Este método tiene alta relevancia para la extracción de compuestos bioactivos debido al control de sus propiedades fisicoquímicas (densidad, viscosidad y difusividad). Este método ha adquirido gran relevancia en la recuperación de metabolitos bioactivos debido a la posibilidad de controlar propiedades fisicoquímicas como densidad, viscosidad y difusividad. El equilibrio de estas características permite una mayor selectividad en la extracción de metabolitos presentes en matrices vegetales como la chonta, favoreciendo la obtención de extractos de alta pureza y calidad (**Hussain et al., 2022)**.

Por otro parte, la extracción con agua subcrítica emplea agua a temperaturas de entre los 100 °C y los 374°C con presión suficiente para que permanezca en estado líquido **(Herrero et al., 2006)**. Bajo estas condiciones la constante dieléctrica del agua disminuye, lo que le permite que actúe como solvente orgánico altamente polar, con la capacidad de solubilizar compuestos bioactivos que normalmente no lograrían ser extraídos con agua a condiciones normales. En este método se ha demostrado una alta eficiencia en la recuperación de compuestos antioxidantes, polisacáridos y otro metabolitos funcionales.

Sin embargo, investigaciones recientes como las realizadas por **Yerena-Prieto et al., (2022)** han demostrado que la eficiencia de extracción por CO2 supercrítico puede mejorarse con el uso de co-solventes polares, tales como el etanol, ya que estos solventes mejoran la solubilidad de compuestos fenólicos y otros metabolitos de mayor polaridad, ampliando así el espectro de compuestos recuperados y mejorando el rendimiento global del proceso extractivo. Con este enfoque se permite ampliar el espectro de los compuestos extraídos, mejorando así el rendimiento global del proceso y facilitando su aplicación en la industria alimentaria y farmacéutica.

1.1.6. Propano – butano subcrítico

La extracción mediante propano-butano subcrítico es una técnica eficaz para la extracción de compuestos lipofílicos, terpenos y compuestos fenólicos, siendo principalmente empleada para la extracción de aceites esenciales. Este método se caracteriza por ser ambientalmente amigable y presentar costos operativos relativamente bajos en comparación con técnicas convencionales de extracción. Asimismo, el empleo de bajas temperaturas durante el proceso permite preservar compuestos termolábiles que podrían degradarse bajo las condiciones térmicas elevadas utilizadas en otros métodos extractivos, favoreciendo así la conservación de las propiedades antioxidantes, funcionales y organolépticas de los extractos obtenidos **(Wang et al., 2021)**.

Las condiciones subcríticas confieren al propano propiedades fisicoquímicas que lo convierten en un solvente altamente eficiente para procesos extractivos. Entre estas propiedades destacan la baja viscosidad y densidad, así como una elevada difusividad y capacidad de solubilización, características que favorecen la transferencia de masa y mejoran la recuperación de metabolitos lipofílicos presentes en matrices vegetales **(Li et al., 2024)**. Adicionalmente el proceso de separación del solvente se facilita gracias a su bajo punto de ebullición siendo el punto de ebullición del propano de -42.1 °C, lo que permite una rápida

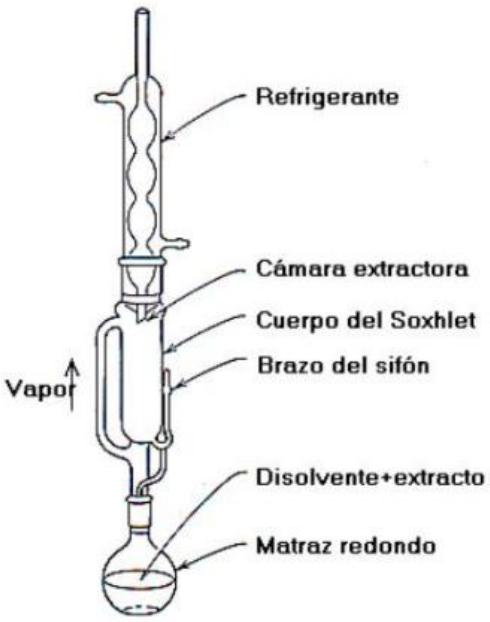
evaporación y recuperación de la fase oleosa obtenida. Estas condiciones favorecen el reciclaje del solvente y contribuyen a disminuir los costos operativos del proceso **(Zhang et al., 2024)**.

1.1.7. Método Soxhlet

El método Soxhlet constituye una de las técnicas convencionales más utilizadas en la extracción de compuestos bioactivos a partir de matrices vegetales, debido a su simplicidad, reproducibilidad y capacidad de extracción exhaustiva. Este método se basa en la recirculación continua de un solvente caliente sobre la muestra sólida, permitiendo la disolución progresiva de los compuestos de interés. De acuerdo con **Pelayo-Velásquez et al. (2025)**, la extracción Soxhlet resulta eficiente para la recuperación de metabolitos como compuestos fenólicos y curcuminoides; sin embargo, las condiciones de operación, particularmente las altas temperaturas y los prolongados tiempos de extracción, pueden ocasionar la degradación de compuestos termolábiles y afectar la estabilidad de ciertos metabolitos bioactivos. En el caso de matrices como la harina de chonta, que contiene compuestos termolábiles como carotenoides, el uso de Soxhlet puede afectar negativamente la calidad del extracto, a pesar de lograr altos rendimientos. No obstante, esta técnica sigue siendo ampliamente utilizada como método de referencia en estudios comparativos, debido a su capacidad para extraer una amplia gama de compuestos y su relativa facilidad de implementación a nivel de laboratorio.

Figura 4

Esquema del montaje del equipo soxhlet.



Nota. Obtenido de **(Cocovi-Solberg & Miró, 2021).**

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Obtener extractos a partir de harina de chonta (*Bactris gasipaes*) mediante propano-butano subcrítico y Soxhlet.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Extraer compuestos bioactivos derivados de la harina de chonta utilizando propano-butano subcrítico y la técnica convencional Soxhlet.
- Comparar el perfil químico de los extractos de la chonta obtenidos con propano-butano subcrítico en relación con el método convencional Soxhlet mediante cromatografía de capa fina TLC.
- Evaluar la capacidad antioxidante y antiinflamatoria de los extractos de la chonta.

CAPÍTULO 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. Con el objetivo de obtener extractos de la harina de chonta mediante propano-butano subcrítico y soxhlet. Para lo cual se emplearon lo siguientes materiales, reactivos y equipo como se listan en la **Tabla 1.**

Tabla 1

Reactivos, materiales y equipos.

Material	Cantidad
Reactivos	
Agua destilada	2 L
Etanol 96 %	1 L
Etanol Puro	1 L
Propano-Butano	200 oz
2,2-Difenil-1-Picrilhidrazilo (DPPH)	1 g
Trolox	3 g
Diclofenaco Sódico	50 mg
Metanol	1 L
Material fungible	
Harina de chonta	-
Frasco ámbar	24
Tubos Eppendorf	10
Papel filtro	3
Papel aluminio	1
Vasos de precipitación de 250 mL	6
Probeta volumétrica 100 mL	1
Micropipetas	2

Vaso de precipitación de 50 mL	6
Papel industrial	1
Tubos de ensayo con tapa rosca	24
Equipos	
Refrigerador	1
Espectrofotómetro	1
Licuadora	1
Deshidratador por convección	1
Baño María	1
Centrifuga	1
Incubadora	1
Balanza de precisión	1
Equipo de extracción Soxhlet	1
Equipo de extracción de Butano-Propano	1
Rotavapor	1
Estufa	1

2.2. Métodos

2.2.1. Extracción de compuestos bioactivos derivados de la harina de chonta utilizando propano-butano subcrítico y la técnica convencional Soxhlet.

Se trabajó con materia prima previamente procesada, los frutos de los cuales fue obtenida fueron adquiridos en la provincia de Tena – Ecuador de forma comercial.

2.2.1.1. Extracción empleando propano-butano subcrítico

Se pesó 30 g de harina de chonta empleando la balanza de precisión (Radwag, Ps10100R2 Radom, Polonia), posteriormente se selló el equipo de extracción subcrítica con capacidad de 30 mL con rango de presión 0-10 bares y se adicionó el propano-butano 200 oz (LG products, Quito-Ecuador) hasta llegar a las condiciones de presión y temperatura correspondientes, posteriormente se esperó durante una hora para finalmente poder recuperar el extracto.

2.2.1.2. Extracción convencional con Soxhlet

Para la extracción en el equipo Soxhlet se pesó 22,50 g de la harina de chonta empleando la balanza de precisión (Radwag, Ps10100R2 Radom, Polonia), tras pesar la muestra se colocó en los viales para posteriormente ser pesado y colocado en el interior del equipo Soxhlet. Se preparó para ello el solvente empleado el cual fue Etanol puro. El tiempo de extracción en el equipo Soxhlet fue de aproximadamente 14 h, posteriormente fue llevado al evaporador rotativo a 40°C para de esta manera eliminar el solvente y conservar únicamente los extractos, estos fueron almacenados en frascos de vidrio ámbar de 50 mL que posteriormente fueron recubiertos con papel aluminio y almacenados en el congelador (Indurama, N2BE8U, Ambato-Ecuador) a una temperatura de 4 °C. En todo momento se evitó tiempos prolongados de exposición térmica, para lo cual siempre se cubrió el extracto **(Luque de Castro & Priego-Capote, 2010)**.

2.2.1.3. Determinación del rendimiento global de extracción

El rendimiento global de extracción se determinó mediante gravimetría, el cual es un método que permite cuantificar la proporción de extracto recuperado respecto a la masa inicial de la muestra seca a partir de métodos tradicionales como Soxhlet, maceración o fluidos comprimidos. Se siguió el siguiente procedimiento descrito por **Luque de Castro & Priego-Capote (2010)**, en donde se registró el pesaje inicial m_0 de la harina de chonta seca, esto previo a la extracción con el método seleccionado que en este caso es Soxhlet. Una vez aplicado el proceso de extracción Soxhlet, y se haya eliminado completamente el solvente del extracto se registró el pesaje final del extracto seco m_e. Para finalmente aplicar la siguiente formula de rendimiento **(Ecuación 1)**:

$$R(\%) = \frac{m_e}{m_0}\ x\ 100 \qquad (1)$$

2.2.2. Comparación del perfil químico de los extractos de la chonta obtenidos con propano-butano subcrítico en relación con el método convencional Soxhlet mediante cromatografía de capa fina TLC.

Se comparó al extracto obtenido con el método de propano-butano subcrítico con el extracto obtenido por el método de extracción con el equipo Soxhlet en el que se empleó como solvente etanol puro.

2.2.2.1. Cromatografía en capa fina (TLC)

Para comparar el perfil de ácidos grasos de los extractos de chonta obtenidos, se empleó la metodología descrita por **Touchstone (1995)**. Se utilizó placas de sílice gel 60 F_{254} como fase estacionaria y una mezcla de hexano: éter dietílico: ácido acético 80:20:1 (v/v/v) como fase móvil, la cual permitió la adecuada separación de los compuestos lipídicos presentes en los extractos. Previo al análisis, las placas cromatográficas fueron activadas en estufa a 105 °C durante 30 minutos para eliminar humedad residual. Posteriormente, utilizando capilares o micropipetas, se sembraron aproximadamente 10 µL de cada extracto lipídico sobre la línea de aplicación trazada a 1,5 cm del borde inferior de la placa, manteniendo una separación uniforme entre muestras para evitar superposición durante la migración.

La cámara cromatográfica se saturó previamente con la fase móvil durante aproximadamente 15 minutos, colocando papel filtro impregnado con eluyente en las paredes internas para favorecer una atmósfera homogénea. Luego, la placa fue introducida cuidadosamente en la cámara evitando que las muestras entraran en contacto directo con el solvente, hasta que finalizó la corrida cromatográfica. Finalmente se retiró la placa y se registró la distancia recorrida por cada mancha y la distancia recorrida por el frente del solvente para calcular el factor de retención (Rf) de los ácidos grasos presentes en las muestras.

Se calculó los valores de Rf y se comparó ambos perfiles de ácidos grasos de los extractos conforme su distancia de separación y manchas detectadas. El factor de retención (Rf) de los ácidos grasos de las muestras, se calculó mediante la **(Ecuación 2)**:

$$Rf = Dc/Dfm \qquad (2)$$

En donde:

Rf = Factor de retención

Dc = Distancia recorrida por el compuesto

Dfm = Distancia recorrida por la fase móvil.

2.2.3. Evaluación de la capacidad antioxidante y antiinflamatoria de los extractos de la chonta

Se evaluó la capacidad antioxidante y antiinflamatoria de los extractos obtenidos, tanto los extraídos con propano-butano subcrítico y los extraídos con el equipo Soxhlet

2.2.3.1. Evaluación de las capacidad antioxidante método DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidracilo)

Para la evaluación de la capacidad antioxidante se realizó un ensayo con DPPH, para lo cual se empleó la metodología de **(Herald et al., 2012)** con ciertas modificaciones. Primeramente, se preparó la solución estándar Trolox y posteriormente se construyó una curva de calibración en concentraciones de 50- 500 µM/L., el uso de la solución estándar indicará el porcentaje de inhibición del DPPH.

Para el ensayo en la microplaca se tomó 180 µL del reactivo DPPH y 20 µL de la muestra y se colocó en los pocillos de la microplaca, esta se agitó durante 60 segundos. Tras esto, se esperó 40 minutos en oscuridad a temperatura ambiente. Transcurrido ese tiempo, se registró la absorbancia en el lector de microplacas (Fisher Scientific, ACCUSKA N GO) mismo que fué configurado con una longitud de onda de 515 nm. Con los datos obtenidos se empleó la **(Ecuación 3)** para determinar el % de inhibición.

$$\%inhibición\ DPPH = \left[1 - \left(\frac{A_{muestra} - A_{blanco}}{A_{control} - A_{blanco}}\right)\right] * 100 \quad (3)$$

Donde:

$A_{muestra}$= Absorbancia de las muestras (Muestra + 180 µL de DPPH)

$A_{control}$= Absorbancia de agua destilada + 180 µL de DPPH

A_{blanco}= Absorbancia de agua destilada + 180 µL solución metanol: agua

$\%\ de\ inhibición$= Cantidad de DPPH neutralizado

2.2.3.2. Evaluación de la capacidad antiinflamatoria

Para evaluar la capacidad antiinflamatoria se empleó la metodología de **Yesmin et al., (2020)**. Primeramente se preparó una solución de albúmina al 1% (v/v), mezclando 1 mL de clara de huevo con 99 mL de agua destilada. Posteriormente, la solución fue homogenizada mediante agitación constante hasta obtener una mezcla uniforme.

Seguidamente, se colocaron 50 mL de la solución preparada en tubos Falcon y se centrifugaron empleando una centrífuga (HETTICH, ROTINA 380, Uttlingen, Alemania) a 4000 rpm durante 10 minutos, con la finalidad de separar los componentes insolubles. Posteriormente, se recuperó el sobrenadante correspondiente a la albúmina soluble.

Para el ensayo antiinflamatorio se preparó la mezcla de reacción en tubos de ensayo, añadiendo 0,2 mL del sobrenadante de albúmina, 2,8 mL de solución salina tamponada al 0,9 % (NaCl) y 2 mL del extracto de chonta a diluida 1:100, el volumen final de reacción fue de 5

mL. Posteriormente, se llevó las muestras a la incubadora (MEMME RT, NE, Schwabach, Alemania.) a una temperatura de 37 °C durante 15 minutos para posteriormente medir la absorbancia a una longitud de onda de 660 nm en el espectrofotómetro (Fisher Scientific, ACCUSKA N GO).

Cómo último paso, se desnaturalizó las muestras empleando el baño maría (Wisebath, WSB-18 Seúl, Corea del sur), para lo cual fue necesario someter a las muestras a 70 °C durante 5 minutos, se dejó reposar la muestra por 20 minutos y se midió la absorbancia a la longitud de onda de 660 nm. Como control positivo se utilizó diclofenaco sódico a una concentración de 100 µg/mL, mientras que el control negativo estuvo constituido por la mezcla de reacción sin extracto. Finalmente se midió la inhibición empleando la ecuación:

$$(\%\ Inh)Desnaturalización = \left[1 - \left(\frac{A_{calentada} - A_{\text{sin } calentar}}{A_{Control\ calentado} - A_{\text{sin } calentar}}\right)\right] * 100 \qquad (4)$$

Donde

$A_{calentada}$= Absorbancia de la muestra calentada

$A_{\text{sin } calentar}$= Absorbancia de la muestra sin calentar

$A_{control\ calentado}$= Absorbancia de la muestra control calentada

2.2.4. Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se empleó la suite de Microsoft cuya licencia la provee la Universidad Técnica de Ambato, específicamente se utilizó una hoja de cálculo de la herramienta Excel, donde se realizó una prueba T-student para comprobar las eficiencia de los métodos de extracción aplicados, con este análisis se verificó la eficiencia de los extractos obtenidos en el proceso de extracción con propano-butano subcrítico y Soxhlet. Se toma en consideración:

- Si $p < 0.05$, Si existe diferencias significativas.
- Si $p > 0.05$, No existen diferencias significativas.

Las hipótesis y las variables serán las siguientes:

Hipótesis nula

El rendimiento y perfil de los extractos de chonta es constante respecto a las condiciones de extracción de presión, temperatura y solvente.

Hipótesis alternativa

El rendimiento de la extracción varía significativamente con las combinaciones de presión y temperatura.

Variable dependiente

- Rendimiento presente en el extracto.
- Perfil químico.
- Actividad antioxidante
- Actividad antiinflamatoria.

Variables independientes

- Presión de extracción.
- Temperatura de extracción.
- Solvente
- Técnica

CAPÍTULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Análisis y discusión de los resultados

3.1.1. Extracción de compuestos bioactivos derivados de la harina de chonta utilizando propano-butano subcrítico y la técnica convencional Soxhlet.

En la **Tabla 2** se presentan los resultados del rendimiento de extracción por el método Soxhlet, mientras que en la **Tabla 3** se presentan los resultados del rendimiento de extracción propano-butano subcrítico, Se observa que el rendimiento promedio se encuentra entre un 34.12% y 29.65% respectivamente. El cálculo demostrativo se encuentra en el **Anexo A**.

Tabla 2

Resultados de la extracción por el método convencional Soxhlet.

Réplica	Materia prima pesada (g)	Extracto obtenido (g)	Rendimiento (%)
R1	22.5100	9.30	41.31
R2	22.5085	6.91	30.69
R3	22.5051	6.73	29.90
R4	22.5090	7.79	34.60

Nota. Elaboración propia.

En comparación con la literatura reciente a los presentados en la **Tabla 2**, los rendimientos obtenidos en este estudio son considerablemente superiores a los reportados en distintas matrices vegetales. Por ejemplo, en los estudios realizados por **Alves et al. (2022)**, reportaron rendimientos de extracción de hasta 8.3 % mediante Soxhlet en hojas de *Monteverdia aquifolia*, mientras que **Abbas et al. (2021)**, observaron valores próximos al 3 % en la extracción de compuestos de *Lagenaria siceraria*. De igual manera, diversos estudios han reportado rendimientos de extracción comprendidos entre aproximadamente 10 % y 25 % mediante el uso de solventes orgánicos en sistemas Soxhlet. Por ejemplo, en los estudios realizados por **Alara et al. (2018)** en hojas de *Vernonia cinerea* obtuvieron un rendimiento de 10,01 % utilizando etanol como solvente, mientras que en los estudios de **Bin Mokaizh et al. (2024)** en *Commiphora gileadensis* se alcanzaron valores de hasta 23,20 % bajo condiciones

optimizadas de extracción, resaltando que los valores obtenidos en la presente investigación (hasta 41,31 %) podrían estar relacionados con una alta concentración de compuestos solubles en la matriz vegetal evaluada o su vez debido a una mayor afinidad del solvente utilizado.

Asimismo, investigaciones que comparan Soxhlet con técnicas emergentes indican que, aunque métodos como la extracción asistida por ultrasonido o microondas pueden mejorar la eficiencia en tiempo y consumo de solvente, el método convencional Soxhlet continúa destacando por su capacidad de extracción exhaustiva **(Abbas et al., 2021)**. En este sentido, los altos rendimientos observados en las muestras M1 y M4 (41,31 % y 34,60 %, respectivamente) son coherentes debido a la naturaleza intensiva del método, que favorece la solubilización de compuestos tanto polares como no polares.

Tabla 3

Resultados de la extracción por el método Propano-Butano subcrítico.

Réplica	Materia prima pesada (g)	Extracto obtenido (g)	Rendimiento (%)
R1	30	8.55	28.5
R2	30	9.06	30.2
R3	30	8.82	29.4
R4	30	9.15	30.5

Nota. Elaboración propia.

Los resultados presentados en la **Tabla 3** muestran una reducida variabilidad entre las réplicas, lo que evidencia una adecuada reproducibilidad del proceso de extracción, esto sugiere que existe estabilidad entre las condiciones operativas que se emplearon. Estos resultados indican que la aplicación de fluidos subcríticos fue eficiente para la recuperación de la fracción lipídica de la materia prima, permitiendo obtener cantidades significativas de extracto a partir de una reducida cantidad de materia prima.

Los rendimientos obtenidos son comparables e incluso superiores a los reportados en diversas investigaciones recientes que emplearon solventes presurizados para la extracción de aceites vegetales. Por ejemplo, **Iwassa et al. (2021)** evaluaron la extracción de aceite de semillas de *Crambe abyssinica* mediante la aplicación de propano comprimido y reportaron rendimientos próximos al 25 %, destacando principalmente que la elevada capacidad de solvatación del propano favorece la recuperación eficiente de los compuestos lipídicos

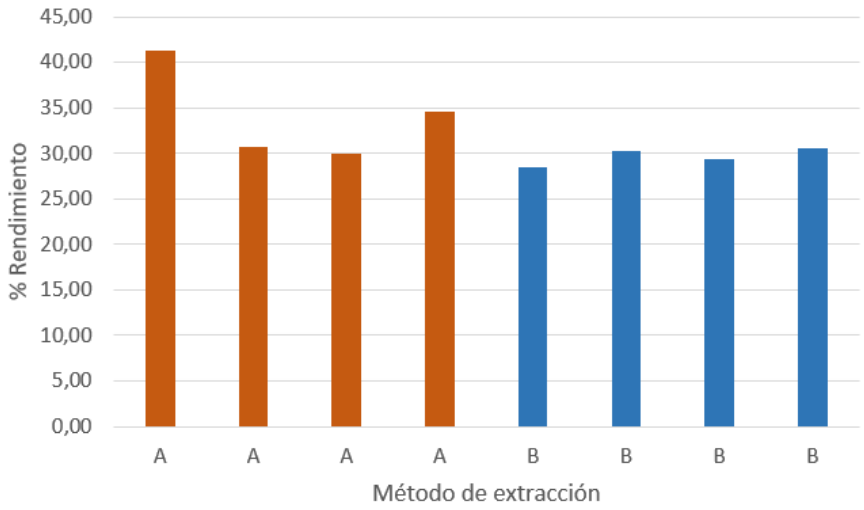
presentes en las muestras, de igual manera señalaron que los fluidos subcríticos presentan una alta afinidad por moléculas no polares, permitiendo obtener rendimientos superiores a los alcanzados mediante técnicas convencionales de extracción.

La eficiencia observada puede explicarse por las propiedades fisicoquímicas de la mezcla propano-butano utilizada como solvente. Estos hidrocarburos poseen baja viscosidad, elevada difusividad y tensión superficial reducida, características que facilitan su penetración en la matriz vegetal y favorecen la transferencia de masa durante el proceso extractivo. Según **Chemat et al. (2020)**, la combinación de propano y butano en condiciones subcríticas mejora la solubilización de compuestos lipofílicos y aumenta la velocidad de extracción, lo que se traduce en mayores rendimientos y menor consumo energético en comparación con métodos tradicionales. Asimismo, los rendimientos obtenidos en este estudio superan los reportados para diversas matrices vegetales extraídas mediante Soxhlet.

Antony y Farid (2022) indicaron que los métodos convencionales suelen presentar ciertas limitaciones relacionadas con la degradación térmica de compuestos sensibles y con la extracción simultánea de sustancias no deseadas, estos factores pueden afectar la eficiencia y rendimiento global del proceso. En contraste, y debido a las condiciones de la extracción subcrítica que opera a temperaturas moderadas, se puede reducir el deterioro de los compuestos bioactivos y mejorar la selectividad dirigida a la fracción oleosa de interés.

Figura 5

Análisis T-student de los rendimientos de ambos métodos.



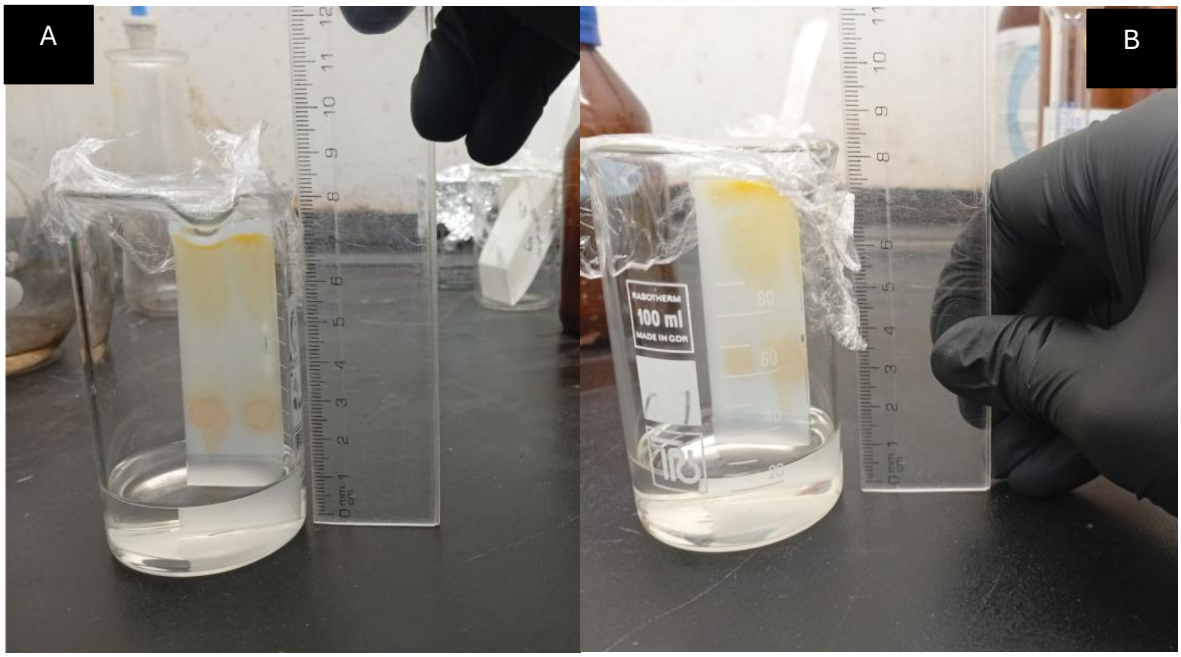
Nota. [A] Extractos obtenidos mediante Soxhlet, [B] Extractos obtenidos mediante propano-butano subcrítico. El valor_p calculado es de 0.184050, lo que sugiere que no existe diferencias estadísticamente significativas entre los métodos. Realizado en Excel. Autoria propia.

3.1.2. Comparación del perfil químico de los extractos de la chonta obtenidos con propano-butano subcrítico en relación con el método convencional Soxhlet mediante cromatografía de capa fina TLC.

En la **Tabla 4** se muestran los resultados de la cromatografía de capa fina de los extractos obtenidos por Soxhlet, donde se observa una similitud entre los resultados del factor de retención de los extractos, así también, en la **Tabla 5** se observa los resultados de la cromatografía de capa fina de los extractos obtenidos por propano-butano subcrítico, en el cual el factor de retención varia levemente.

Figura 6

Resultados experimentales de la cromatografía de capa fina.



Nota. [A] Extractos obtenidos mediante Soxhlet, [B] Extractos obtenidos mediante propano-butano subcrítico. Autoria propia

Tabla 4

Resultados de la cromatografía de capa fina TLC de los extractos de chonta por el método Soxhlet.

Muestra	Distancia recorrida por el compuesto (cm)	Distancia recorrida por la fase móvil (cm)	Factor de retención
1	4	8	0.50
2	4.5	8	0.56
3	4.5	8	0.56
4	4.5	8	0.56

Nota. Elaboración propia **(Anexo B)**.

Tabla 5

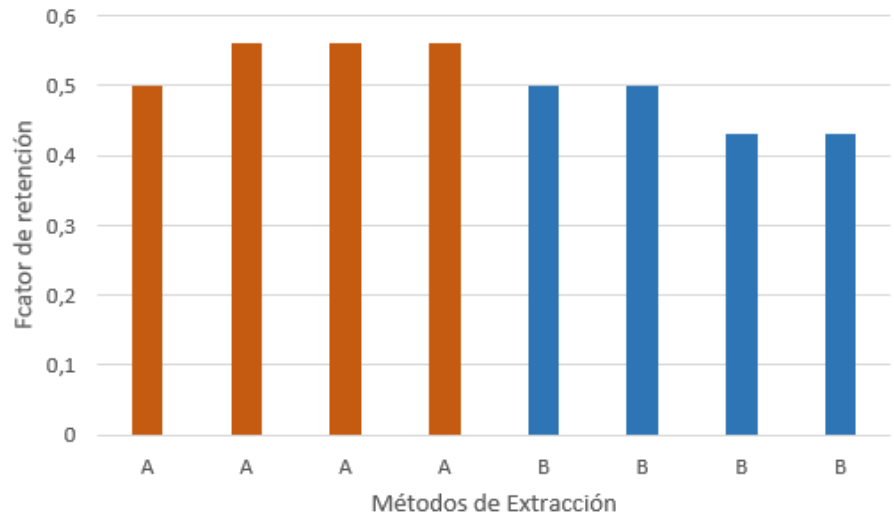
Resultados de la cromatografía de capa fina TLC de los extractos de chonta por el método propano-butano subcrítico.

Muestra	Distancia recorrida por el compuesto (cm)	Distancia recorrida por la fase móvil (cm)	Factor de retención
1	4	8	0.50
2	4	8	0.50
3	3.5	8	0.43
4	3.5	8	0.43

Nota. Elaboración propia **(Anexo B)**.

Figura 7

Análisis T-student de los factores de retención de ambos métodos.



Nota. [A] Extractos obtenidos mediante Soxhlet, [B] Extractos obtenidos mediante propano-butano subcrítico. El valor_p calculado es 0.02133, por lo que se sugiere que existen diferencias estadísticamente significativas entre los métodos. Realizado en Excel. Autoria propia.

Los resultados obtenidos (**Tabla 4 y 5)** muestran que los extractos de chonta obtenidos mediante ambos métodos de extracción presentaron factores de retención (Rf) comprendidos entre 0.43 y 0.56. En cromatografía de capa fina, el factor de retención constituye un indicador de la afinidad de los compuestos entre la fase estacionaria y la fase móvil. En sistemas convencionales sobre sílica gel como fase estacionaria, los valores de Rf moderados (0.30 y 0.70) suelen asociarse con una eficiente separación cromatográfica y permiten inferir diferencias en la polaridad de los metabolitos obtenidos **(Vázquez et al., 2023)**. En consecuencia, los valores obtenidos en el presente estudio demuestran una migración intermedia de los compuestos detectados. Esta característica se observa en fracciones lipídicas que se encuentran compuestas por triglicéridos, ácidos grasos y otros metabolitos de naturaleza predominantemente apolar.

Los extractos obtenidos mediante Soxhlet presentaron valores de Rf ligeramente superiores (0.50 – 0.56) en comparación con los obtenidos mediante propano-butano subcrítico (0.43–0.50). Esta diferencia podría atribuirse a una mayor extracción de compuestos menos polares durante el proceso Soxhlet, debido al contacto prolongado entre la muestra y el solvente caliente. Sin embargo, la exposición continua a elevadas temperaturas puede generar modificaciones químicas en algunos constituyentes lipídicos y afectar directamente la selectividad de la extracción. Estudios como los realizados por **Wagner & Oellig, 2022,**

señalan que los métodos convencionales de extracción de metabolitos tienden a recuperar una mezcla más extensa de compuestos, incluyendo sustancias que pueden alterar el perfil cromatográfico final.

Por otra parte, los menores valores de Rf presentados en los extractos obtenidos mediante propano-butano subcrítico sugieren una mayor presencia de compuestos con cierta afinidad hacia la fase estacionaria, lo que podría estar relacionado con una extracción más selectiva de determinados lípidos y metabolitos bioactivos. Según la investigación de **Lee et al. (2023)**, la cromatografía en capa fina aplicada a extractos oleosos permite diferenciar perfiles lipídicos a partir de ligeras variaciones en los valores de Rf, las cuales interpretan cambios en la composición de triglicéridos y otros componentes de naturaleza lipofílica.

3.1.3. Evaluación de la capacidad antioxidante y antiinflamatoria de los extractos de la chonta

3.1.3.1. Capacidad antioxidante

Los resultados de la capacidad antioxidante se realizaron por el método DPPH con una curva estándar Trolox **(Anexo C)**. Los resultados experimentales obtenidos de las 4 réplicas fueron promediados y se presentan en la **Tabla 6 y 7,** correspondiente al método Soxhlet y propano-butano subcrítico respectivamente. Donde el control tuvo una absorbancia de 0.684 y el blanco de 0.051.

Figura 8

Resultados experimentales de la capacidad antioxidante por el método DPPH.

Nota. Colocación de 8 muestras por cuadriplicado en microplaca. Elaboración propia.

Tabla 6

Resultados de la capacidad antioxidante de los extractos obtenidos por el método Soxhlet.

Muestra	Promedio Abs (515nm)	% Inhibición	[uM/L] de trolox
1	0.260	66.98	382.230
2	0.428	40.40	225.247
3	0.297	61.09	347.414
4	0.305	30.50	166.866

Nota. Elaboración propia **(Anexo D)**.

Tabla 7

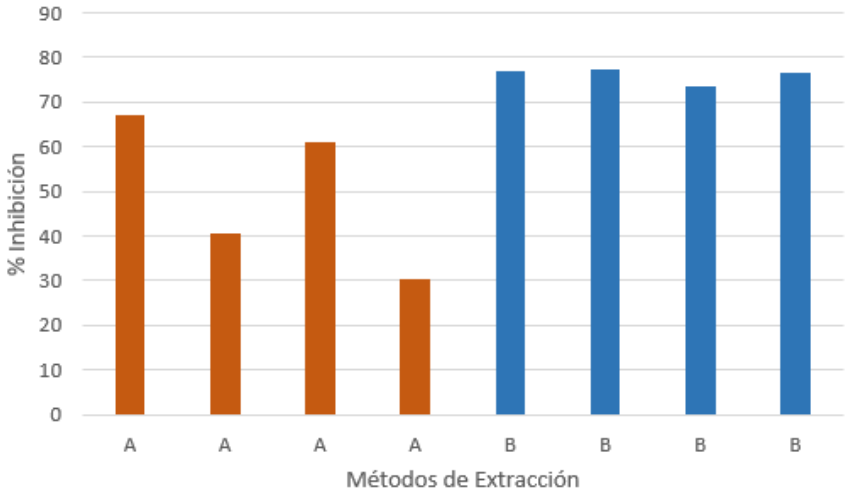
Resultados de la capacidad antioxidante de los extractos obtenidos por el método propano-butano subcrítico.

Muestra	Promedio Abs (515nm)	% Inhibición	[uM/L] de trolox
1	0.198	76.73	439.738
2	0.195	77.20	442.536
3	0.219	73.46	420.465
4	0.201	76.36	437.562

Nota. Elaboración propia **(Anexo D)**.

Figura 9

Análisis T-student de los factores del % de Inhibición de la capacidad



Nota. [A] Extractos obtenidos mediante Soxhlet, [B] Extractos obtenidos mediante propano-butano subcrítico. El valor_p calculado es de 0.05457, lo que sugiere que no existe diferencias estadísticamente significativas entre métodos. Realizado en Excel. Autoria propia.

Los resultados obtenidos mediante el ensayo antioxidante DPPH evidenciaron diferencias evidentes entre los extractos obtenidos por Soxhlet y los obtenidos mediante extracción subcrítica con propano-butano. En el caso de la extracción Soxhlet, los tratamientos presentaron porcentajes de inhibición entre 30.50 % y 66.98 %, así como valores de capacidad antioxidante equivalentes a Trolox entre 166.866 y 382.230 µM/L, respectivamente. El tratamiento 1 destacó por registrar la mayor actividad antioxidante, mientras que el tratamiento 4 presentó el valor más bajo. Por otro lado, los extractos obtenidos mediante propano-butano subcrítico mostraron porcentajes de inhibición considerablemente superiores, comprendidos entre 73.46 % y 77.20 %, acompañados de concentraciones equivalentes de Trolox entre 420.465 y 442.536 µM/L, lo que demuestra una mayor eficiencia del método para recuperar compuestos antioxidantes.

Estos resultados sugieren que la extracción subcrítica favoreció la conservación y recuperación de metabolitos con capacidad reductora, esto debido a las condiciones controlada de temperatura y a la elevada afinidad de los solventes presurizados por compuestos lipofílicos y fenólicos. Estudios recientes han reportado comportamientos similares. **Guo et al. (2021)**, señalaron que la extracción mediante fluidos presurizados permitió obtener aceites con mayor contenido fenólico y con mejor capacidad antioxidante en comparación con métodos

convencionales. De manera semejante, **Iwassa et al. (2021)** evidenciaron que la extracción con propano comprimido favoreció la conservación de compuestos bioactivos, incrementando significativamente la actividad antioxidante de los extractos obtenidos.

La superioridad observada en los extractos obtenidos mediante propano-butano subcrítico también puede relacionarse con la naturaleza del solvente y la presión aplicada durante el proceso. Los fluidos subcríticos presentan alta difusividad y baja viscosidad, características que mejoran la penetración en la matriz vegetal y favorecen la solubilización selectiva de compuestos antioxidantes. En este contexto, **Mesquita et al. (2022)** indicaron que las tecnologías de extracción presurizada incrementan la recuperación de compuestos bioactivos y reducen el deterioro oxidativo ocasionado por tratamientos térmicos prolongados. A su vez, **Hu et al. (2021)** describieron que la extracción con solventes presurizados produjo aceites con mayores concentraciones de fitoesteroles, tocoferoles y polifenoles, compuestos estrechamente relacionados con la capacidad antioxidante determinada mediante el método DPPH.

En contraste, los valores inferiores registrados en los extractos obtenidos mediante Soxhlet podrían atribuirse al uso prolongado de temperaturas elevadas, las cuales favorecen la degradación parcial de compuestos termolábiles, especialmente polifenoles y carotenoides. **Antony y Farid (2022)** indicaron que los procesos convencionales de extracción térmica pueden reducir la estabilidad de los compuestos fenólicos debido a fenómenos de oxidación y degradación térmica. De igual manera, **Gao et al. (2022)** demostraron que los métodos convencionales de extracción generan extractos con menor actividad antioxidante en comparación con tecnologías de extracción presurizada, debido principalmente al mayor tiempo de exposición al calor y al consumo excesivo de solvente.

De modo que, los resultados obtenidos permiten establecer que la extracción subcrítica con propano-butano fue más eficiente para preservar y recuperar compuestos antioxidantes presentes en la matriz de chonta, evidenciándose en los mayores porcentajes de inhibición del radical DPPH y en las concentraciones equivalentes de Trolox alcanzadas. Esto confirma el potencial de las tecnologías de extracción presurizada como alternativas sostenibles y eficientes frente a métodos convencionales como Soxhlet.

3.1.3.2. Capacidad antiinflamatoria

Los resultados de la capacidad antiinflamatoria se realizaron por el método de la albúmina de huevo. La absorbancia inicial corresponde a la absorbancia medida antes de la

desnaturalización, mientras que la absorbancia final corresponde a la medida tomada después del proceso de desnaturalización. La absorbancia del control positivo fue de 0.013 a 660 nm y su concentración fue de 25mg/mL o 25000 µg/mL equivalente al 100% de inhibición de la desnaturalización proteica y la absorbancia del control negativo fue de 0,066 a 660nm. Los resultados experimentales obtenidos fueron promediados y se presentan en la **Tabla 8 y 9**.

Tabla 8

Resultados de la capacidad antiinflamatoria de los extractos obtenidos por el método Soxhlet.

Muestra	Abs inicial (660 nm)	Abs final (660 nm)	% Inh Desnaturalización
1	0.395	0.380	95.44
2	0.366	0.354	96
3	0.696	0.591	83.33
4	0.857	0.759	87.61

Nota. Elaboración propia (**Anexo E)**.

Tabla 9

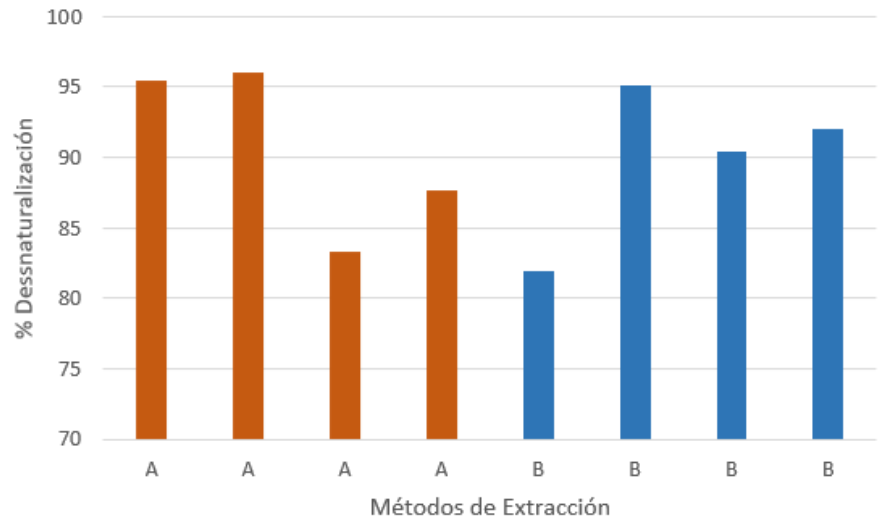
Resultados de la capacidad antiinflamatoria de los extractos obtenidos por el método propano-butano subcrítico.

Muestra	Abs inicial (660 nm)	Abs final (660 nm)	% Inh Desnaturalización
1	0.865	0.721	81.97
2	0.515	0.493	95.10
3	0.756	0.690	90.43
4	0.817	0.757	92.01

Nota. Elaboración propia **(Anexo E)**.

Figura 10

Análisis T-student de los factores del % de Desnaturalización de la capacidad antiinflamatoria de ambos métodos.



Nota. [A] Extractos obtenidos mediante Soxhlet, [B] Extractos obtenidos mediante propano-butano subcrítico. El valor_p calculado es de 0.86920, lo que sugiere que no existe diferencias estadísticamente significativas entre métodos. Realizado en Excel. Autoria propia.

Los resultados presentados en las **Tabla 8 y 9** muestran que los extractos de chonta obtenidos mediante ambos métodos de extracción presentan una elevada capacidad para inhibir la desnaturalización proteica, mecanismo ampliamente utilizado como indicador de actividad antiinflamatoria *in vitro*. En los extractos obtenidos por Soxhlet, los porcentajes de inhibición oscilaron entre 83.33 % y 96.00 %, mientras que en los extractos obtenidos mediante propano-butano subcrítico los valores variaron entre 81.97 % y 95.10 %. Estos resultados evidencian que ambas técnicas permitieron recuperar compuestos con potencial antiinflamatorio significativo.

La inhibición de la desnaturalización de proteínas constituye uno de los mecanismos empleados para evaluar la capacidad de una sustancia para prevenir procesos inflamatorios. Durante la inflamación, la desnaturalización de proteínas puede llegar a generar autoantígenos responsables de la progresión de diversas patologías inflamatorias, por ello, los compuestos capaces de estabilizar las proteínas frente al estrés térmico son considerados potenciales agentes antiinflamatorios **(Fathima et al., 2024)**. Diversos estudios han indicado que valores elevados de inhibición de la desnaturalización proteica reflejan una importante actividad

antiinflamatoria que se asocia con la presencia de compuestos fenólicos, flavonoides y terpenoides bioactivos **(Olędzka, & Czerwińska, 2023).**

En los extractos obtenidos mediante Soxhlet, las muestras 1 y 2 registraron los mayores porcentajes de inhibición (95.44 % y 96.00 %), mientras que las muestras 3 y 4 presentaron valores ligeramente inferiores (83.33 % y 87.61 %). Estos resultados sugieren que existe una elevada concentración de metabolitos con capacidad estabilizadora de proteínas. **Jose y Thankappan (2024)** utilizando el método de inhibición de la albúmina sérica bovina, reportaron que los extractos vegetales con porcentajes de inhibición superiores al 80 % pueden considerarse poseedores de una actividad antiinflamatoria destacable, comparable a la observada en compuestos de referencia empleados en ensayos *in vitro*.

La capacidad antiinflamatoria observada en los extractos de chonta, determinada mediante el ensayo de inhibición de la desnaturalización proteica, evidenció una notable capacidad para estabilizar la estructura de la albúmina frente al estrés térmico. Los porcentajes de inhibición obtenidos fueron comparables a los registrados para el control positivo (diclofenaco sódico), lo que sugiere una importante actividad biológica asociada a los metabolitos secundarios presentes en los extractos. Este comportamiento coincide con lo reportado por **Yesmin et al. (2020)**, quienes señalaron que los extractos vegetales ricos en compuestos fenólicos y flavonoides presentan una elevada capacidad para prevenir la desnaturalización proteica, mecanismo estrechamente relacionado con la actividad antiinflamatoria in vitro. Asimismo, **Mizushima & Kobayashi, (1968)** han demostrado que la estabilización proteica constituye uno de los mecanismos por los cuales los fármacos antiinflamatorios no esteroideos, incluido el diclofenaco sódico, ejercen su acción farmacológica. Por ende, la actividad observada puede atribuirse a la acción sinérgica de compuestos fenólicos con capacidad antioxidante, los cuales reducen las alteraciones estructurales inducidas por el calor y contribuyen a la conservación de la conformación nativa de las proteínas **(Şahin et al., 2026)**.

En términos generales, aunque ambos métodos de extracción produjeron extractos con una notable actividad antiinflamatoria, el método Soxhlet presentó los mayores porcentajes máximos de inhibición, alcanzando un valor de 96.00 %. Sin embargo, el método propano-butano subcrítico mostró una mayor homogeneidad entre muestras, demostrando que esta tecnología favorece la recuperación de metabolitos bioactivos preservando su funcionalidad biológica.

El análisis estadístico mediante la prueba T-student permitió evaluar la hipótesis nula planteada, según la cual el rendimiento y el perfil de los extractos de chonta serían constantes

independientemente de las condiciones de extracción. Los resultados obtenidos muestran un comportamiento diferenciado según la variable analizada.

En cuanto al rendimiento de extracción, el valor_p calculado fue de 0,1841, valor superior al umbral de significancia ($p > 0,05$), por lo que no se rechaza la hipótesis nula para esta variable; es decir, los rendimientos promedio de ambos métodos 34,12 % para Soxhlet y 29,65 % para propano-butano subcrítico no presentan diferencias estadísticamente significativas, lo que indica que ambas técnicas son comparables en términos de masa de extracto recuperada.

Sin embargo, al analizar el perfil químico mediante los factores de retención (Rf) obtenidos por TLC, el valor p resultó de 0,0213 ($p < 0,05$), lo que sí lleva al rechazo de la hipótesis nula para esta variable, confirmando que el método de extracción influye significativamente sobre la composición química de los extractos obtenidos. Por su parte, la capacidad antioxidante (valor_p 0,0546) y la actividad antiinflamatoria (valor_p 0,8692) no mostraron diferencias estadísticamente significativas entre métodos, aunque en términos prácticos los extractos subcríticos registraron porcentajes de inhibición del radical DPPH notablemente superiores (73,46 % – 77,20 %) frente a los de Soxhlet (30,50 % – 66,98 %), diferencia que podría adquirir relevancia biológica aun cuando el análisis estadístico no lo demuestre.

En conjunto, estos resultados apoyan parcialmente la hipótesis alternativa, pues si bien el rendimiento gravimétrico no varía de forma significativa entre métodos, la combinación de presión, temperatura y tipo de solvente sí condiciona el perfil fitoquímico de los extractos, lo que tiene implicaciones directas en su funcionalidad y potencial aplicación en la industria alimentaria y biotecnológica.

CAPÍTULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

Se logró extraer compuestos bioactivos a partir de harina de chonta (Bactris gasipaes) mediante los métodos de extracción Soxhlet y propano-butano subcrítico. El método Soxhlet presentó un rendimiento promedio de extracción superior (34,12 %) en comparación con el método propano-butano subcrítico (29,65 %), evidenciando una mayor capacidad de recuperación de compuestos solubles. Ambos métodos demostraron ser eficientes para la obtención de extractos a partir de la matriz vegetal estudiada, permitiendo recuperar cantidades significativas de metabolitos bioactivos.

La comparación del perfil químico de los extractos mediante cromatografía de capa fina (TLC) evidenció diferencias entre los métodos de extracción empleados. Los extractos obtenidos por Soxhlet presentaron valores de factor de retención (Rf) entre 0,50 y 0,56, mientras que los extractos obtenidos mediante propano-butano subcrítico registraron valores entre 0,43 y 0,50. Estas variaciones sugieren diferencias en la composición y selectividad de los compuestos extraídos, indicando que la extracción subcrítica favoreció la recuperación de determinadas fracciones lipofílicas y metabolitos bioactivos, mientras que Soxhlet obtuvo una mezcla más amplia de compuestos debido al contacto prolongado con el solvente y la aplicación de calor.

Los extractos de chonta obtenidos mediante ambos métodos mostraron actividad antioxidante y antiinflamatoria significativa, aunque con comportamientos diferentes según el ensayo realizado. La extracción con propano-butano subcrítico presentó una mayor capacidad antioxidante, alcanzando porcentajes de inhibición del radical DPPH entre 73,46 % y 77,20 %, así como valores equivalentes de Trolox de hasta 442,54 μM/L, lo que demuestra una mejor conservación de compuestos antioxidantes. Por otra parte, los extractos obtenidos mediante Soxhlet registraron los mayores porcentajes de inhibición de la desnaturalización proteica, alcanzando hasta un 96,00 %, evidenciando una destacada actividad antiinflamatoria. En conjunto, los resultados demuestran que la harina de chonta constituye una fuente promisoria de compuestos bioactivos con potencial aplicación en el desarrollo de ingredientes funcionales y productos de interés biotecnológico.

4.2. Recomendaciones

Se recomienda realizar estudios de identificación y cuantificación de los compuestos bioactivos presentes en los extractos de chonta mediante técnicas cromatográficas avanzadas, tales como cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) o cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (GC-MS), con la finalidad de determinar los metabolitos responsables de las actividades antioxidante y antiinflamatoria observadas.

Optimizar las condiciones de extracción mediante propano-butano subcrítico, evaluando diferentes niveles de presión, temperatura y tiempo de extracción, con el propósito de maximizar simultáneamente el rendimiento de extracción y la recuperación de compuestos bioactivos de interés.

Complementar la caracterización química de los extractos mediante técnicas instrumentales adicionales que permitan identificar de manera más precisa los perfiles de ácidos grasos, carotenoides, compuestos fenólicos y otros metabolitos presentes en la harina de chonta.

Realizar ensayos biológicos adicionales, tanto in vitro como in vivo, que permitan confirmar los mecanismos de acción asociados a la actividad antioxidante y antiinflamatoria observada, así como evaluar la seguridad y eficacia de los extractos en sistemas biológicos más complejos.

Finalmente, se recomienda incluir en futuras investigaciones la determinación del contenido total de compuestos fenólicos, flavonoides y carotenoides, debido a que estos metabolitos se encuentran estrechamente relacionados con la capacidad antioxidante y antiinflamatoria reportada en la presente investigación.

BIBLIOGRAFÍA

Abbas, M., Ahmed, D., Qamar, M. T., Ihsan, S., & Noor, Z. I. (2021). Optimization of ultrasound-assisted, microwave-assisted and Soxhlet extraction of bioactive compounds from *Lagenaria siceraria*: A comparative analysis. *Bioresource Technology Reports, 15*, 100746. https://doi.org/10.1016/j.biteb.2021.100746

Alara, O. R., Abdurahman, N. H., Ukaegbu, C. I., & Azhari, N. H. (2018). Soxhlet extraction of phenolic compounds from *Vernonia cinerea* leaves and its antioxidant activity. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants, 11*, 12–17. https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2018.07.003

Alves, T. P., Triques, C. C., Palsikowski, P. A., Silva, C., y colaboradores. (2022). *Improved extraction of bioactive compounds from Monteverdia aquifolia leaves by pressurized-liquid and ultrasound-assisted extraction: Yield and chemical composition*. The Journal of Supercritical Fluids, 181, 105468. https://doi.org/10.1016/j.supflu.2021.105468

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

Azmir, J., Zaidul, I. S. M., Rahman, M. M., Sharif, K. M., Mohamed, A., Sahena, F., Jahurul, M. H. A., Ghafoor, K., Norulaini, N. A. N., & Omar, A. K. M. (2013). *Techniques for extraction of bioactive compounds from plant materials: A review*. Journal of Food Engineering, 117(4), 426–436. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.01.014

Bin Mokaizh, A. A., Nour, A. H., Alazaiza, M. Y. D., Mustafa, S. E., Omer, M. S., & Nassani, D. E. (2024). Extraction and characterization of biological phytoconstituents of *Commiphora gileadensis* leaves using Soxhlet method. *Processes, 12*(8), 1567. https://doi.org/10.3390/pr12081567

Britton, G., Liaaen-Jensen, S., & Pfander, H. (Eds.). (2009). *Carotenoids: Volume 5: Nutrition and Health*. Birkhäuser Basel. https://doi.org/10.1007/978-3-7643-7501-0

Chemat, F., Vian, M. A., Ravi, H. K., Khadhraoui, B., Hilali, S., Perino, S., Tixier, A.-S. F., & Fabiano-Tixier, A.-S. (2020). A review of sustainable and intensified techniques for extraction of food and natural products. *Green Chemistry, 22*(8), 2325–2353. https://doi.org/10.1039/C9GC03878G

Cocovi-Solberg, D. J., & Miró, M. (2021). *3D printed extraction devices in the analytical laboratory—A case study of Soxhlet extraction*. *Analytical and Bioanalytical Chemistry, 413*(17), 4373–4378. https://doi.org/10.1007/s00216-021-03406-4

Dai, J., & Mumper, R. J. (2010). *Plant phenolics: Extraction, Analisis and their antioxidant and anticancer properties.* Molecules, 15(10), 7313–7352. https://doi.org/10.3390/molecules15107313

Donders, I., & Barriocanal, C. (2020). *The influence of markets on the nutrition transition of hunter-gatherers: Lessons from the Western Amazon*. International Journal of Environmental Research and Public Health, 17(17), 6307. https://doi.org/10.3390/ijerph17176307

Dubois, V., Breton, S., Linder, M., Fanni, J., & Parmentier, M. (2007). *Fatty acid profiles of 80 vegetable oils with regard to their nutritional potential*. European Journal of Lipid Science and Technology, 109(7), 710–732. https://doi.org/10.1002/ejlt.200700040

Fathima, S. N., Firdous, S. M., Pal, S., Ghazzawy, H. S., & Gouda, M. M. (2024). Assessment of in vitro antioxidant and anti-inflammatory activities of pumpkin (*Cucurbita pepo*) natural plant. *Journal of Evidence-Based Integrative Medicine, 29*, 1–14. https://doi.org/10.1177/1934578X241257127

Gao, P., Ding, Y., Chen, Z., Zhou, Z., Zhong, W., Hu, C., He, D., & Wang, X. (2022). Characteristics and antioxidant activity of walnut oil using various pretreatment and processing technologies. *Foods, 11*(12), 1698. https://doi.org/10.3390/foods11121698

González-Jaramillo, N., Bailon-Moscoso, N., Duarte-Casar, R., & Romero-Benavides, J. C. (2022). *Peach Palm (Bactris gasipaes Kunth.): Ancestral tropical staple with future potential.* Plants, 11(22), 3134. https://doi.org/10.3390/plants11223134

Graefe, S., Dofour, D., van Zonneveld, M., Rodríguez, F., & González, A. (2012). *Peach palm (Bactris gasipaes) in tropical Latin America: Implications for biodiversity conservation, natural resourse management and human nutrition.* Biodiversity and Conservation, 22(2), 269–300. https://doi.org/10.1007/s10531-012-0402-3

Guo, T., Wan, C., Huang, F., Wei, C. (2021). Evaluation of quality properties and antioxidant activities of tiger nut (*Cyperus esculentus L.)* oil produced by mechanical expression

or/with critical fluid extraction. *LWT, 141*, 110915. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.110915

Herald, T. J., Gadgil, P., & Tilley, M. (2012). *High-throughput micro plate assays for screening flavonoid content and DPPH-scavenging activity in sorghum bran and flour.* Journal of the Science of Food and Agriculture, 92(11), 2326–2331. https://doi.org/10.1002/JSFA.5633

Herrero, M., Cifuentes, A., & Ibañez, E. (2006). *Sub- and supercritical fluid extraction of functional ingredients from different natural sources: Plants, food-by-products, algae and microalgae: A review.* Food Chemistry, 98(1), 136–148. https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2005.05.058

Hu, Q. H., Ning, X. Y., Ma, C. G., & Chen, X. W. (2021). Comparative study on functional components, physicochemical properties and antioxidant activity of *Amaranthus caudatus* oils obtained by different solvents extraction. *Journal of Oleo Science, 70*(2), 155–164. https://doi.org/10.5650/jos.ess20157

Hussain, S., Rehman, A. U., Obied, H. K., Luckett, D. J., & Blanchard, C. L. (2022). *Extraction, chemical characterization, in vitro antioxidant, and antidiabetic activity of canola (Brassica napus L.) meal*. Separations, 9(2), 38. https://doi.org/10.3390/separations9020038

Ignat, I., Volf, I., & Popa, V. I. (2011). *A critical review of methods for characterisation of polyphenolic compounds in fruits and vegetables*. Food Chemistry, 126(4), 1821–1835. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.12.026

Iwassa, I. J., Saldaña, M., Cardozo-Filho, L., & da Silva, C. (2021). Yield and quality parameters of pretreated crambe seed oil extracted using C3H8, CO2 and C3H8+CO2 mixtures under pressurized conditions. *The Journal of Supercritical Fluids, 175*, 105277. https://doi.org/10.1016/j.supflu.2021.105277

Jose, S., & Thankappan, S. (2024). Evaluation of in vitro anti-inflammatory activity of leaves of *Terminalia chebula* Retz. (Combretaceae). *Asian Journal of Biological and Life Sciences, 12*(3), 558–563. https://doi.org/10.5530/ajbls.2023.12.73

Krichnavaruk, S., Shotipruk, A., Goto, M., & Pavasant, P. (2008). *Supercritical carbon dioxide extraction of astaxanthin from Haematococcus pluvialis with vegetable oils as co-solvent.*

Bioresource Technology, 99(13), 5556–5560. https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2007.10.049

Lee, G. O., Gutiérrez, C., Castro Morillo, N., Cevallos, W., Jones, A. D., & Eisenberg, J. N. S. (2020). *Multiple burdens of malnutrition and relative remoteness in rural Ecuadorian communities.* Public Health Nutrition, 23(17), 3149–3159. https://doi.org/10.1017/S1368980020004462

Lee, Y. S., Yu, D. N., Lee, J. E., Han, G. H., & Kook, M. (2023). *Qualitative analysis of triglyceride and ethyl ester in saw palmetto extract using thin layer chromatography*. Resources Science Research, 5(2), 102–105. https://doi.org/10.52346/rsr.2023.5.2.102

Li, F., Muhmood, A., Tavakoli, S., Park, S., Kong, L., Zhu, H., Wei, Y., & Wei, Y. (2024). *Subcritical low temperature extraction of bioactive ingredients from foods and food by-products and its applications in the agro-food industry.* Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 64(23), 8218–8230. https://doi.org/10.1080/10408398.2023.2198009

Liu, H. M., Wang, F. Y., Li, H. Y., Wang, X. D., & Qin, G. Y. (2015). *Subcritical butane and propane extraction of oil from rice bran*. BioResources, 10(3), 4652–4662. https://doi.org/10.15376/biores.10.3.4652-4662

Luque de Castro, M. D., & Priego-Capote, F. (2010). *Soxhlet extraction: Past and present panacea.* Journal of Chromatography A, 1217(16), 2383–2389. https://doi.org/10.1016/j.chroma.2009.11.027

Martínez-Girón, J., Cafarella, C., Rigano, F., Giuffrida, D., Mondello, L., Baena, Y., Osorio, C., & Ordóñez-Santos, L. E. (2024). *Peach palm fruit (Bactris gasipaes) peel: A source of provitamin A carotenoids to develop emulsion-based delivery systems.* ACS Omega, 9(26), 28738–28753. https://doi.org/10.1021/acsomega.4c03095

Mesquita, P. C., Rodrigues, L., Mazzutti, S., Vasconcelos, P., Sousa de Brito, E., Lanza, M. (2022). Untargeted metabolomic profile of recovered bioactive compounds by subcritical water extraction of acerola pomace. *Food Chemistry, 387*, 133718. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133718

Mizushima, Y., & Kobayashi, M. (1968). Interaction of anti-inflammatory drugs with serum proteins, especially with some biologically active proteins. Journal of Pharmacy and Pharmacology, 20(3), 169–173. https://doi.org/10.1111/j.2042-7158.1968.tb09718.x

Olędzka, A. J., & Czerwińska, M. E. (2023). Role of plant-derived compounds in the molecular pathways related to inflammation. *International Journal of Molecular Sciences, 24*(5), 4666. https://doi.org/10.3390/ijms24054666

Pelayo-Velásquez, E., Gamarra-Mendoza, N., Seguil-Mirones, C., Mendoza-Álvarez, M., Cusiche-Huamán, M., & Pilco-Núñez, A. (2025). *Effect of supercritical CO_2 extraction and the Soxhlet method on the content of curcuminoids, phenolic compounds, and antioxidant activity in Curcuma longa L.* Food Chemistry Advances. https://doi.org/10.1016/j.focha.2025.101212

Rodríguez-Amaya, D. B. (2016). *Natural food pigments and colorants.* Current Opinion in Food Science, 7, 20–26. https://doi.org/10.1016/j.cofs.2015.08.004

Rojas-Garbanzo, C., Pérez, A. M., Vaillant, F., & Pineda-Castro, M. L. (2016). *Physicochemical and antioxidant composition of fresh peach palm (Bactris gasipaes Kunth) fruits in Costa Rica.* Brazilian Journal of Food Technology, 19, 1-9 https://doi.org/10.1590/1981-6723.9715

Şahin, R. H., Yalçın, E., Çavuşoğlu, K., & Özkan, B. (2026). *Unveiling the antidiabetic, anti-inflammatory and anti-hemolytic activities of Raphanus sativus leaves through in-vitro and in-silico studies*. *Scientific Reports*. Advance online publication. https://doi.org/10.1038/s41598-026-47636-x

Soares, S. D., Dos Santos, O. V., Do Nascimento, F. D. C. A., & da Silva Pena, R. (2022). *A review of the nutritional properties of different varieties and byproducts of peach palm (Bactris gasipaes) and their potential as functional foods*. International Journal of Food Properties, 25(1), 2146–2165. https://doi.org/10.1080/10942912.2022.2127761

Torres-Vargas, O. L., Luzardo-Ocampo, I., Hernandez-Becerra, E., & Rodríguez-García, M. E. (2021). *Physicochemical Characterization of Unripe and Ripe Chontaduro (Bactris gasipaes Kunth) Fruit Flours and Starches*. Starch - Stärke, 73(7–8), 2000242. https://doi.org/10.1002/STAR.202000242

Touchstone, J. C. (1995). *Thin-layer chromatographic procedures for lipid separation*. Journal of Chromatography B: Biomedical Sciences and Applications, 671(1–2), 169–195. https://doi.org/10.1016/0378-4347(95)00232-8

Vázquez, A., Tabanca, N., & Kendra, P. E. (2023). HPTLC analysis and chemical composition of selected *Melaleuca* essential oils. *Molecules, 28*(9), 3925. https://doi.org/10.3390/molecules28093925

Wagner, M., & Oellig, C. (2022). Screening for mineral oil hydrocarbons in vegetable oils by silver ion-planar solid phase extraction. *Journal of Chromatography A, 1662*, 462732. https://doi.org/10.1016/j.chroma.2021.462732

Wang, Q., Oshita, K., Takaoka, M., & Shiota, K. (2021). *Influence of water content and cell disruption on lipid extraction using subcritical dimethyl ether in wet microalgae*. Bioresource Technology, 329, 124892. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.124892

Wang, W. Y., Yan, Y. Y., Liu, H. M., Qi, K., Zhu, X. L., Wang, X. De, & Qin, G. Y. (2021). *Subcritical low temperature extraction technology and its application in extracting seed oils.* Journal of Food Process Engineering, 44(10), e13805. https://doi.org/10.1111/JFPE.13805

Yerena-Prieto, B. J., Gonzalez-Gonzalez, M., García-Alvarado, M. Á., Casas, L., Palma, M., Rodríguez-Jimenes, G. d. C., Barbero, G. F., & Cejudo-Bastante, C. (2022). *Evaluation of the effect of different co-solvent mixtures on the supercritical CO_2 extraction of the phenolic compounds present in Moringa oleifera Lam. leaves*. Agronomy, 12(6), 1450. https://doi.org/10.3390/agronomy12061450

Yesmin, S., Paul, A., Naz, T., Rahman, A. B. M. A., Akhter, S. F., Wahed, M. I. I., Emran, T. Bin, & Siddiqui, S. A. (2020). *Membrane stabilization as a mechanism of the anti-inflammatory activity of ethanolic root extract of Choi (Piper chaba).* Clinical Phytoscience, 6(1), Article 59. https://doi.org/10.1186/s40816-020-00207-7

Zamora, J. (2022). Estandarización de un protocolo para la elaboración de harina de frutos de chontaduro (Bactris gasipaes KUNTH) replicable en comunidades kichwas amazónicas de Ecuador. [Tesis de grado, Universidad Regional Amazónica IKIAM]. Repositorio Institucional IKIAM. http://repositorio.ikiam.edu.ec/jspui/handle/RD_IKIAM/695

Zhang, F., Wang, X. de, Li, K., Yin, W. ting, Liu, H. min, Zhu, X. liang, & Hu, P. (2024). *Characterisation of flavourous sesame oil obtained from microwaved sesame seed by subcritical propane extraction.* Food Chemistry: X, 21, 101087. https://doi.org/10.1016/J.FOCHX.2023.101087

ANEXOS

Anexo A

Cálculo demostrativo del rendimiento global de la extracción.

$$R(\%) = \frac{m_e}{m_0}\ x\ 100$$

$$R(\%) = \frac{9.30\ g}{22.5100\ g}\ x\ 100$$

$$R(\%) = 41.31$$

Anexo B

Cálculo demostrativo del Factor de Retención de los extractos de chonta.

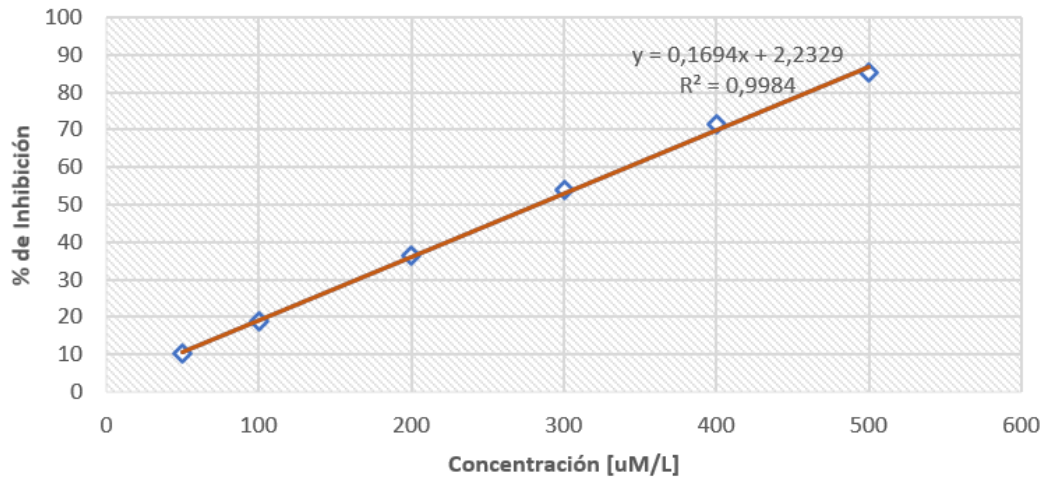
$$Rf = \frac{Dc}{Dfm}$$

$$Rf = \frac{4\ cm}{8\ cm}$$

$$Rf = 0.5$$

Anexo C

Curva de calibración Trolox para el ensayo antioxidante por el método DPPH.



Nota. Realizado en Excel. Autoria Propia.

Anexo D

Cálculo demostrativo del % Inhibición del DPPH de capacidad antioxidante de los extractos de chonta.

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

$$\%inhibición\ DPPH = \left[1 - \left(\frac{0.260 - 0.051}{0.684 - 0.051}\right)\right] * 100$$

$$\%inhibición\ DPPH = 66.98$$

Anexo E

Cálculo demostrativo del % Inhibición de la desnaturalización proteica de la capacidad antiinflamatoria de los extractos de chonta.

$$(\%\ Inh)Desnaturalización = \left[1 - \left(\frac{A_{calentada} - A_{\text{sin } calentar}}{A_{Control\ calentado} - A_{\text{sin } calentar}}\right)\right] * 100$$

$$(\%\ Inh)Desnaturalización = \left[1 - \left(\frac{0.380 - 0.395}{0.066 - 0.395}\right)\right] * 100$$

$$(\%\ Inh)Desnaturalización = 95.44$$