UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERÍA EN ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGIA

CARRERA DE BIOTECNOLOGÍA

Tema: Evaluación de la actividad antioxidante, rendimiento global y perfil de ácidos grasos de los aceites obtenidos a partir de la ungurahua (*Oenocarpus bataua*) mediante propano subcrítico y Soxhlet.

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

Articulado al proyecto de investigación "Implementación de un Centro de Bioconocimiento y Desarrollo Agrario CBDA en el cantón Taisha para promover la recuperación de plantas medicinales, maderables y alimenticias" aprobado mediante resolución Nro. UTA-CONIN-2023-0204-R.

Autora: Paola Jessica Grefa Grefa

Tutor: Dr. Santiago Esmiro Cadena Carrera

Ambato – Ecuador

Julio - 2025

APROBACIÓN DEL TUTOR

Dr. Santiago Esmiro Cadena Carrera

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, 19 de junio de 2025

Firmado electrónicamente por:
SANTIAGO ESMIRO CADENA CARRERA
Validar únicamente con FirmaEC

_____

Dr. Santiago Esmiro Cadena Carrera

1715602593

TUTOR

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Paola Jessica Grefa Grefa, manifiesto que los resultados obtenidos en el presente Informe Final del Trabajo de Titulación, Opción Proyecto de Investigación, previo a la obtención del título de Ingeniera Biotecnóloga son absolutamente originales, auténticos y personales; a excepción de las citas bibliográficas.



Paola Jessica Grefa Grefa

1550116634

AUTORA

DERECHOS DE AUTOR

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

Cedo mis 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.



Paola Jessica Grefa Grefa

1550116634

AUTORA

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los suscritos Profesores Calificadores, aprueban el presente Informe Final del Trabajo de Titulación, Opción Proyecto de Investigación, el mismo que ha sido elaborado de conformidad con las disposiciones emitidas por la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología de la Universidad Técnica de Ambato.

Para constancia firman:

Firmado electrónicamente por:
ESTEBAN MAURICIO FUENTES PEREZ
Validar únicamente con FirmaEC

Presidente del Tribunal

Firmado electrónicamente por:
LILIANA ALEXANDRA CERDA MEJIA
Validar únicamente con FirmaEC

Dra. Liliana Alexandra Cerda Mejía

1804148086

Firmado electrónicamente por:
SANTIAGO CASADO ROJO
Validar únicamente con FirmaEC

Dr. Santiago Casado Rojo

1759126954

Ambato, 04 de Julio de 2025

DEDICATORIA

A *mis padres,* ***Marcia Grefa y Ramón Grefa****, por darme la fuerza de seguir adelante a pesar de todos los momentos difíciles que se han puesto en el camino. Gracias a ustedes, he logrado alcanzar uno de mis objetivos.*

A mis hermanos, ***Mery, José*** *y* ***Jennifer****, por estar presente en cada etapa de mi vida y brindarme apoyo incondicional.*

A mis compañeros del emprendimiento ***Humanti****, por siempre aconsejarme, hacer mis días más alegres y convertirme en una mujer con muchos metas que realizar, que el emprender es la mejor opción para no ser esclavos de la sociedad laboral.*

A ***Jorge Medina,*** *por ser la persona que me ha apoyado emocionalmente en esta vida universitaria. Porque gracias a ti sé lo mucho que puedo lograr como persona, el estar presente en mi vida en todo momento me ha enseñado a no confiar en todos, y brindar mi amistad a quienes se lo merecen.*

A todos mis amigos y compañeros, que en algún momento se toparon conmigo y me dieron su apoyo. Gracias por hacer mi vida universitaria más interesante y alegre.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Técnica de Ambato y Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología por abrirme las puertas para enseñarme lo maravilloso de esta carrera y ser mi segundo hogar en todos estos años.

Agradezco a mis padres, hermanos y socios del emprendimiento Humanti, por estar presentes en mis logros y recibir el cariño incondicional y apoyo en mis metas.

A mi tutor, Ing. Santiago Cadena, por brindarme apoyo y conocimiento. Muchas gracias por su enseñanza y por siempre estar pendiente de nosotros.

A las auxiliares de laboratorio Isabel y Samantha, por ser tan amables y dispuestas a explicarnos en el uso de los equipos.

A todos los docentes que me brindaron su apoyo, su conocimiento y me inspiraron a seguir adelante para terminar esta carrera.

A Mateo Naranjo por apoyarme en el proceso de la tesis, y ser un buen compañero y amigo.

A mis amigos Johanna Paredes, Jennifer Luzuriaga, Lesly Narváez, por brindarme una amistad sincera y compartir momentos inolvidables. Quienes siempre tendrán mi ayuda y amistad en cualquier momento.

A mi enamorado Jorge, por apoyarme emocionalmente y ser la persona más especial para mí. Gracias por acompañarme en las últimas etapas de mi vida universitaria y espero lograr muchas metas junto a ti.

ÌNDICE 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
ÌNDICE GENERAL DE CONTENIDOS viii
ÍNDICE DE TABLAS xi
ÍNDICE DE FIGURAS xii
RESUMEN EJECUTIVO xiii
ABSTRACT xiv
CAPÍTULO I.- MARCO TEÓRICO 1
1.1 Antecedentes Investigativos 1
1.1.1 Justificación 1
1.1.2 Importancia de los saberes ancestrales 2
1.1.3 Aceites vegetales 2
1.1.4 Descripción de la planta 3
1.1.5 Compuestos de interés presentes en la ungurahua 4
1.1.6 Métodos de extracción 5
1.1.6.1. Método Soxhlet 6
1.1.6.2. Propano subcrítico 7
1.1.7 Capacidad antioxidante 8
1.1.7.1. Métodos para la determinación de la capacidad antioxidante 8
1.1.8 Determinación de compuestos bioactivos 9

1.2 Objetivos 10
1.2.1 Objetivo General 10
1.2.2 Objetivos específicos 10
CAPÍTULO II.- METODOLOGÍA 11
2.1 Materiales 11
2.1.1 Recursos institucionales 11
2.1.2 Material fungible y de laboratorio 11
2.1.3 Equipos 12
2.1.4 Reactivos 12
2.2 Métodos: 13
2.2.1 Obtención del aceite de ungurahua mediante propano subcrítico a presión de 5 bares a temperatura ambiente y Soxhlet a presión atmosférica. 13
2.2.1.1. Recolección de la muestra 13
2.2.1.2. Preparación de la materia prima 13
2.2.1.3. Análisis proximal 13
2.2.1.4. Proceso de extracción no convencional: propano subcrítico 14
2.2.1.5. Extracción convencional con Soxhlet 14
2.2.1.6. Evaluación del rendimiento de las extracciones realizadas 15
2.2.2 Estimación de la capacidad antioxidante mediante la técnica DPPH de los aceites obtenidos 15
2.2.2.1. Análisis de la capacidad antioxidante de las muestras de aceite extraídos. 15
2.2.2.2. Generación de una curva de calibración de Trolox 17
2.2.3 Comparación cualitativa del perfil de ácidos grasos de los aceites obtenidos mediante las diferentes técnicas, empleando para ello cromatografía en capa fina (TLC) 17
2.2.3.1. Cromatografía en capa fina (TLC) 17
2.2.3.2. Análisis de datos 18
CAPÍTULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN 19

3.1 Análisis y discusión de resultados 19

3.1.1 Obtención del aceite de ungurahua mediante propano subcrítico a presión de 5 bares a temperatura ambiente y Soxhlet a presión atmosférica. 19

3.1.1.1. Análisis proximal 19

3.1.1.2. Evaluación del rendimiento de las extracciones por Soxhlet y propano subcrítico 20

3.1.2 Estimación de la capacidad antioxidante mediante la técnica DPPH de los aceites obtenidos 23

3.1.2.1. Análisis de la capacidad antioxidante de las muestras de aceite extraídos. 23

3.1.3 Comparación cualitativa del perfil de ácidos grasos de los aceites obtenidos mediante las diferentes técnicas, empleando para ello cromatografía en capa fina (TLC) 27

3.1.3.1. Cromatografía en capa fina (TLC) 27

CAPÍTULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 30

4.1 Conclusiones 30

4.2 Recomendaciones 32

MATERIALES DE REFERENCIA 33

ANEXOS 40

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 *Perfil de ácidos grasos* 4

Tabla 2 *Material fungible y de laboratorio* 11

Tabla 3 *Equipos de laboratorio.* 12

Tabla 4 *Reactivos de laboratorio* 12

Tabla 5 *Principales resultados LACONAL del análisis proximal de la muestra de ungurahua.* 20

Tabla 6 *Rendimiento de extracción de aceites vegetales de ungurahua* 21

Tabla 7 *Resumen ANOVA del rendimiento de extracción de aceites vegetales.* 22

Tabla 8 *Actividad antioxidante de los extractos de aceites vegetales de ungurahua.* 24

Tabla 9 *Resumen ANOVA del análisis de capacidad antioxidante.* 26

Tabla 10 *Principales factores de retención de cromatografía TLC de muestras de aceite.* 27

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 *Frutos de palma ungurahua* 4

Figura 2 *Extractor de propano subcrítico* 14

Figura 3 *Gráfico de intervalos de confianza del análisis ANOVA del rendimiento de extracción* 23

Figura 4 *Gráfico de intervalos de confianza del análisis ANOVA de capacidad antioxidante.* 26

Figura 5 *Resultados de cromatografía en capa fina de los extractos.* 28

RESUMEN EJECUTIVO

La ungurahua (*Oenocarpus bataua*) es una palma originaria de la Amazonia sudamericana y apreciada por su elevado contenido de aceites vegetales y compuestos bioactivos. Tradicionalmente, la extracción de estos aceites se ha realizado mediante técnicas ancestrales y, en épocas más recientes, métodos convencionales. Sin embargo, existen alternativas no convencionales, como la extracción con propano subcrítico, cuyo empleo no ha sido documentado en ungurahua. En este estudio, se comparó el rendimiento, la capacidad antioxidante y el perfil de ácidos grasos de los aceites extraídos de los frutos de ungurahua utilizando propano subcrítico y Soxhlet con hexano. La materia prima fue caracterizada para luego proceder a la extracción con ambas metodologías y determinar el rendimiento obtenido. La actividad antioxidante se evaluó mediante la técnica DPPH y el perfil de ácidos grasos a través de cromatografía en capa fina TLC. El contenido de grasas en la muestra fue de 21.7 por ciento. El método con propano subcrítico presentó un rendimiento superior, alcanzando 27.28 por ciento, mientras que Soxhlet logró 24.06 por ciento. Asimismo, la capacidad antioxidante fue más alta en el aceite extraído con propano subcrítico, con 362.5 micromoles de Trolox por gramo de extracto, frente a 299.4 del método Soxhlet. Ambos métodos presentaron extractos con perfiles TLC similares, evidenciando la presencia de diversos ácidos grasos y otras moléculas polares, lo cual contribuye a la actividad antioxidante observada. Un análisis ANOVA indica diferencias significativas en la capacidad antioxidante entre ambos métodos de extracción, a diferencia del rendimiento de extracción donde no hubo diferencia.

Palabras clave: Extracción de aceites, ungurahua, propano subcrítico, capacidad antioxidante, cromatografía en capa fina.

ABSTRACT

Oenocarpus bataua, commonly known as ungurahua, is an endemic palm from South America's Amazon region, high valued for its content of vegetable oils and bioactive compounds. The extraction of these oils has been carried out by ancestral techniques and, most recently, conventional methods. However, there are non-conventional alternatives, such as extraction with subcritical propane, whose application in ungurahua has not yet been documented. In this study, global yield, antioxidant capacity, and fatty acid profile of extracted oils by subcritical propane and Soxhlet with hexane were compared. The raw material was characterized prior to extraction with both methods to determine the extraction yield. Antioxidant activity was evaluated using DPPH technique and fatty acid profile was analyzed by thin-layer chromatography (TLC). The fat content in the sample was 21.7 percent. The subcritical propane method showed a higher yield, reaching 27.28 percent, while the Soxhlet method achieved 24.06 percent. Likewise, the antioxidant capacity was higher in the oil extracted with subcritical propane, with 362.5 micromoles of Trolox per gram of extract, compared to 299.4 using the Soxhlet method. Both methods produced extracts with similar TLC profiles, showing the presence of various fatty acids, sterols, and other polar molecules, which contribute to the observed antioxidant activity. ANOVA analysis revealed significant differences in antioxidant capacity between the two extraction methods, whereas no such differences were observed in extraction yield.

Key words: Oil extraction, ungurahua, subcritical propane, antioxidant capacity, thin-layer chromatography.

CAPÍTULO I.- MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes Investigativos

1.1.1 Justificación

La palma ungurahua (*Oenocarpus bataua*) es una planta nativa de la Amazonía ecuatoriana de la familia de frutos oleaginosos conocidos por su alto contenido en aceites saludables, y compuestos bioactivos. Ancestralmente, se ha empleado por las comunidades locales, donde extraen su aceite a través de métodos manuales (**Agostini-Costa, 2018**). El aceite obtenido es muy valorado en la industria cosmética, alimentaria y farmacéutica debido a sus principales componentes de ácidos grasos como ácido oleico y linoleico, además de presentar propiedades antioxidantes y antiinflamatorias (**Mushtaq et al., 2019**). Sin embargo, actualmente no existe un aprovechamiento de la ungurahua a nivel industrial. Los métodos ancestrales mediante extracción manual presentan bajo rendimiento y no cubren las demandas del mercado, resultando una pérdida de ingresos y oportunidades a las comunidades productoras (**Palacios et al., 2018).**

La extracción del aceite de ungurahua por métodos convencionales presenta varias desventajas, entre ellas, destaca el uso de ciertos solventes orgánicos como el hexano, una sustancia cancerígena y relacionada con efectos adversos en el medioambiente (**Gasparetto et al., 2022**). Asimismo, implica la extracción a temperaturas elevadas (alrededor de 70 °C en hexano), lo que puede degradar ciertos compuestos bioactivos presentes en el aceite, afectando negativamente su calidad y propiedades funcionales (**Chaves et al., 2020**). Debido a las desventajas y limitaciones de los métodos tradicionales, se han buscado alternativas que permitan obtener compuestos bioactivos preservando las propiedades del extracto minimizando los daños al medio ambiente. Entre los nuevos métodos de extracción se destacan fluidos supercríticos, ultrasonido, microondas y propano subcrítico (**Alexandre et al., 2018**).

La técnica de propano subcrítico es conocida como una tecnología verde y permite trabajar a condiciones de temperatura baja y presión moderada, ayudando así a conservar de mejor manera los compuestos bioactivos y mantener las características organolépticas del aceite (**Zhang et al., 2024**)**.** A pesar de los potenciales beneficios, en Ecuador no hay estudios específicos que evalúen la utilización de propano subcrítico para la extracción del aceite de ungurahua, limitando el conocimiento sobre la eficiencia y la factibilidad de esta novedosa tecnología para mejorar la calidad y el rendimiento en comparación de las técnicas convencionales.

Dado el valor cultural y económico del aceite de ungurahua, resulta fundamental explorar métodos de extracción alternativos que no solo mejoren la eficiencia del proceso, sino que también preserven sus compuestos bioactivos. En este contexto, la presente investigación tiene como objetivo comparar el rendimiento de extracción de aceites de la ungurahua entre la técnica Soxhlet y el propano subcrítico, evaluar la actividad antioxidante mediante el ensayo DPPH y analizar cualitativamente el perfil de ácidos grasos de los aceites obtenidos, utilizando cromatografía en capa fina (TLC).

1.1.2 Importancia de los saberes ancestrales

Los saberes ancestrales son relevantes para la compresión y la utilización sostenible de los recursos naturales, como, por ejemplo, en el caso de la palma de ungurahua. Las comunidades indígenas de la Amazonia ecuatoriana han utilizado por generaciones el aceite de ungurahua con beneficios medicinales, cosméticos y alimenticios. Este conocimiento, transmitido de generación en generación, ha favorecido de manera efectiva el uso de este fruto sin la necesidad de tecnologías modernas. Estos saberes no solo han facilitado prácticas sostenibles en la recolección y manejo de los frutos, sino que también han contribuido a la preservación de la biodiversidad, al respetar las etapas de crecimiento natural de la planta (**Aguinda & Peñuela, 2024**).

Sin embargo, en la actualidad, a nivel industrial, para la obtención de aceites y extractos vegetales se aplican técnicas convencionales que generan impactos negativos a corto y largo plazo, especialmente en el ámbito ambiental. Se ha evidenciado que hay un aumento en la explotación de especies nativas como la ungurahua, que a su vez provoca un riesgo en la supervivencia de esta especie, de su entorno natural y de los saberes ancestrales asociados a la misma, es decir, la utilización de técnicas no sostenibles perjudica la biodiversidad y reduce la disponibilidad de plantas medicinales importantes para las comunidades indígenas. Así, al no adoptar técnicas sostenibles, muchas especies podrían desaparecer, reduciendo los recursos que los pobladores locales han preservado, ya que son frutos empleados para consumo propio y benefician a su dieta diaria por el alto contenido de propiedades nutricionales (**Tomchinsky et al., 2021**).

1.1.3 Aceites vegetales

Los aceites vegetales son compuestos naturales derivados de semillas, frutos, cereales y verduras (**Adewuyi et al., 2010**). Formados principalmente por triglicéridos, que son una molécula de glicerol unidos a tres ácidos grasos. También pueden contener diacilgliceroles, ácidos grasos libres, fosfolípidos, glicolípidos, y compuestos menores como tocoferoles y antioxidantes (**Wu, 2007**).

La composición de los aceites vegetales varía de acuerdo con la especie, las condiciones de cultivo y la técnica de extracción utilizada. Contiene principalmente una mezcla de ácidos grasos saturados,

monoinsaturados y poliinsaturados. Estos componentes influyen en sus características fisicoquímicas, estabilidad oxidativa y composición nutricional (**Savva & Kafatos, 2016**). Por ejemplo, los aceites ricos en ácidos grasos insaturados como el oleico y linoleico son importantes por su valor terapéutico contra el estrés oxidativo, la inflamación, las enfermedades cardiovasculares y cerebrovasculares, el cáncer y la osteoporosis (**Liu et al., 2023**).

Desde un punto de vista tecnológica y económica, los aceites vegetales tienen diversas aplicaciones en áreas industriales. En la industria alimentaria, se emplean como ingredientes en la elaboración de alimentos, productos procesados, preparación de aderezos y la conservación de alimentos (**Savva & Kafatos, 2016**). En la cosmética y la farmacéutica, son utilizados como humectantes de piel, antiinflamatorios, antioxidantes, analgésicos, anticancerígenos, anti-úlcera, antibacterianos y antifúngicos (**Masiero et al., 2021**)**.** Asimismo, en los últimos años, el interés en su capacidad como insumo para el desarrollo de biocombustibles ha incrementado (**Rathore et al., 2016**)**.**

En este sentido, el aceite de ungurahua se considera un aceite vegetal con un alto contenido nutricional y funcional, debido a su contenido de ácidos grasos insaturados. Su estudio resulta importante para promover el uso sostenible de especies amazónicas y la fabricación de productos novedosos.

1.1.4 Descripción de la planta

La palma de ungurahua (Figura 1) de nombre científico *Oenocarpus bataua* var. *Bataua* es una planta perteneciente a la familia Arecaceae, crece hasta una altura total de 25-30 m. En su fase preadulta, su tronco está envuelto por una capa densa de fibras negras, y en su madurez llega a un grosor de 45 cm. Presenta entre 18-20 hojas pinnadas en la corona foliar y todas erguidas, llegando a medir 13 m de longitud. La bráctea peduncular es membranosa y caduca con una longitud de 1.6 m. Las flores pistiladas se observan en triadas en la parte inferior de la raquilla. Sin embargo, lo que más sobresale de esta palma son los frutos, teniendo formas ovoides de color negro y brillantes (Figura 1), miden 2.2 x 4 cm, su pulpa es de color púrpura oscuro, de consistencia aceitosa y con una semilla grande (**Guarín & Valle, 2014**).

Figura 1

Frutos de palma ungurahua



Nota. Tonalidad de frutos maduros, para la selección del material vegetal para el estudio. Fuente: elaboración propia.

1.1.5 Compuestos de interés presentes en la ungurahua

El aceite de ungurahua posee un elevado contenido de ácidos grasos. Entre ellos se encuentran los ácidos grasos monoinsaturados y poliinsaturados, que son fundamentales para la salud humana por sus propiedades cardiovasculares, lo que la hace altamente valorada tanto en la industria cosmética y alimentaria. Los ácidos grasos más importantes presentes en la ungurahua se presentan en la Tabla 1 de acuerdo con estudios realizados por **Carrillo et al.** (**2018**). Se observa el contenido de ácido oleico es elevado, con un porcentaje que oscila entre el 62% y 80%, similar al aceite de oliva. Este ácido es ampliamente conocido por sus propiedades antioxidantes.

Tabla 1

Perfil de ácidos grasos

Composición	**Porcentaje**
Ácido oleico (Familia omega-9)	82.03%
Ácido linoleico (Familia omega-6)	1.60%
Ácido linolénico (Familia omega-3)	1.83%
Ácido palmítico (Ácido graso saturado)	9.90%
Ácido esteárico (Ácido graso saturado)	3.08%

Nota. Adaptado de "Fatty acids content in ungurahua oil (*Oenocarpus bataua*) from Ecuador. Findings on adulteration of ungurahua oil in Ecuador**."** por Carrillo et al., 2018, *Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research,* 11(2).

El ácido linoleico es un ácido graso poliinsaturado esencial para la salud celular e importante por sus propiedades antiinflamatorias. Mientras que el ácido palmítico y esteárico, aunque saturados, contribuyen a la estabilidad y textura del aceite (**Mushtaq et al., 2019**). El aceite de ungurahua también está constituido por fitoesteroles, de entre los cuales se destaca el beta-sitosterol, que ha demostrado propiedades antioxidantes e hipocolesterolémicas, contribuyendo a la reducción de la absorción de colesterol en el intestino. Igualmente, los tocoferoles, componentes relacionados con la vitamina E, resguardan a las células frente al estrés oxidativo (**Morais et al., 2022**).

Otro grupo de interés de compuestos bioactivos son los polifenoles y flavonoides, conocidos por su alta capacidad antioxidante y por la capacidad de prevenir enfermedades crónicas. De igual forma, el aceite es rico en carotenoides, como betacaroteno y luteína, promoviendo la salud visual y cutánea (**Morais et al., 2022**). Adicionalmente, posee minerales en bajas concentraciones como calcio, magnesio y hierro, completando su perfil nutricional (**Saravia et al., 2020**). Debido a la presencia de todos los compuestos bioactivos mencionados, el aceite de ungurahua es muy valorado en la industria cosmética, alimentaria y farmacéutica.

1.1.6 Métodos de extracción

La obtención de aceites y compuestos bioactivos a partir de plantas ha evolucionado desde métodos ancestrales, pasando por métodos convencionales hasta llegar actualmente enfoques más avanzados como las técnicas no convencionales. Para aprovechar las propiedades del aceite de ungurahua, es necesario extraerlo de sus frutos mediante diversos métodos. En el caso de la ungurahua, se han aplicado tanto técnicas ancestrales, convencionales y no convencionales, como se describe a continuación.

El método ancestral de extracción del aceite aplicado en la Región Amazónica del Ecuador implica un proceso largo de cocción donde los frutos permanecen en agua caliente hasta que el mesocarpio se separe de la semilla. Ofrece un rendimiento de 25-40% (**Castro et al., 2014**). La extracción con este proceso resulta menos eficiente en contraste con métodos convencionales en referencia a su rendimiento y la pureza del aceite. Por otro lado, métodos convencionales, como la extracción con solventes, son muy empleados para obtener aceites de alta pureza, aunque pueden formar residuos, generar riesgos para la salud y un impacto ambiental negativo (**Prasad et al., 2022**). **Fernandes et al.** (**2024**) extrajeron ácidos grasos de ungurahua mediante el método Soxhlet, utilizando etanol y hexano como disolventes, los extractos obtenidos presentaron un rendimiento del 13.89 % y 16.77 %, respectivamente, para cada solvente. Asimismo, los extractos contaban con la presencia de compuestos fenólicos, lo cual puede indicar la presencia de actividad antioxidante.

Existen varios métodos no convencionales útiles para la extracción de ácidos grasos de la ungurahua, como la extracción asistida por ultrasonido y la extracción con fluidos sub y supercríticos, cada uno con sus respectivas limitaciones y beneficios. La extracción asistida por ultrasonido es más rápida y permite una extracción eficiente de compuestos sin elevar la temperatura, lo que protege los compuestos bioactivos sensibles (**Muñoz et al., 2022**). La extracción mediante fluidos subcríticos y supercríticos se realiza bajo condiciones específicas de presión y temperatura. En el caso de los fluidos subcríticos, como el propano, el proceso se lleva a cabo por debajo de su punto crítico, lo que permite preservar compuestos sensibles al calor, como los carotenoides. Por su parte, los fluidos supercríticos, como el dióxido de carbono (CO_2), operan por encima de su punto crítico, lo que proporciona alta selectividad y eficiencia en la extracción (**Ahangari & Sargolzaei, 2012**).

Existen diversos estudios sobre la extracción de aceite a partir de plantas del género *Oenocarpus* utilizando CO_2 y otros fluidos supercríticos (**Barriga-Sánchez et al., 2024; Borges et al., 2019; Pinto et al., 2018**), entre los cuales no se encuentra a *O. bataua*. En consecuencia, **Chañi-Paucar et al.** (**2025**) establecen el potencial de los fluidos sub y supercríticos para obtener grasas a partir de plantas amazónicas, incluyendo a la ungurahua. De acuerdo con **Shi et al.** (**2014**), al trabajar a presiones de 5 – 10 bares, lograron extraer aceites con ácidos grasos como el ácido palmítico 7.31%, oleico 17.62% y linoleico 68.06%, perfiles similares a los referenciados en la pulpa de ungurahua. Asimismo**, Wang et al.** (**2021**), mencionan que, al extraer con tales presiones, se tendrá compuestos bioactivos como ácidos grasos insaturados (ácido oleico 64.40% y linoleico 73.73%), tocoferoles (vitamina E), fitoesteroles, carotenoides y polifenoles, de fuente vegetales como girasol, lino, camelia, salvado de arroz, etc. Además, el uso de temperaturas bajas permite conservar los compuestos sensibles al calor y mejorar la estabilidad oxidativa del aceite.

La selección de la técnica adecuada es importante, ya que cada método tiene una incidencia significativa en la calidad del aceite, particularmente en sus características organolépticas y en su perfil bioactivo. Las técnicas modernas, especialmente aquellas que disminuyen el uso de altas temperaturas, son preferibles para mantener la integridad de los compuestos naturales y ofrecer un producto final de mayor calidad. De entre las técnicas convencionales y no convencionales que son de gran interés por su rendimiento y que pueden ser útiles para la obtención de ácidos grasos destacan la extracción Soxhlet y el propano subcrítico.

1.1.6.1. Método Soxhlet

Es una técnica estándar utilizada desde hace más de un siglo para la recuperación de compuestos solubles en disolventes orgánicos, especialmente en la obtención de compuestos bioactivos de origen vegetal (**Luque & Priego-Capote, 2010**). El proceso consiste en colocar un cartucho con materia prima fresca

triturada, donde un solvente caliente disuelve los compuestos de interés, este proceso se repite hasta completar la operación. Este método es eficiente en la recuperación de compuestos lipofílicos, además de extraer cantidades de material sin la necesidad de supervisión constante del equipo (**López-Bascón & Luque de Castro, 2020**). Sin embargo, presenta desventajas como períodos de extracción largos y no se descarta la posibilidad de descomposición térmica de los compuestos termolábiles, además del alto consumo de solventes por lo cual es obligatorio un paso de evaporación.

El método ha sido empleado en la extracción a partir de ungurahua y otras plantas como el sacha inchi, aguacate, achiote y amaranto, mostrando rendimientos aceptables (13% al 42%) en la recuperación de aceite (**Gatbonton et al., 2013; Kraujalis et al., 2013; Zanqui et al., 2016**). Sin embargo, debido a su naturaleza térmica, puede afectar la composición del aceite, alterando su perfil de ácidos grasos y reduciendo la actividad antioxidante de compuestos sensibles (**Fernandes et al., 2024; Hu et al., 2021**). Por lo cual, estudios actuales han explorado alternativas de extracción amigables con el medio ambiente y aceite de mayor calidad sin comprometer sus propiedades bioactivas.

1.1.6.2. Propano subcrítico

El uso de propano en estado subcrítico representa una tecnología limpia en la extracción de aceites vegetales y compuestos bioactivos. Este solvente ha ganado popularidad debido a su eficacia en el proceso de extracción de aceites y sus beneficios medioambientales.

A diferencia de los fluidos supercríticos, el propano subcrítico opera bajo condiciones de presión y temperatura de operación moderadas, teniendo un punto crítico 369.82 K y 4.25 MPa, permitiendo una extracción eficaz de componentes lipídicos y bioactivos sin degradarlos. El propano subcrítico permite una extracción altamente selectiva, siendo importante para conservar las propiedades bioactivas sensibles en extractos de aceites vegetales (**Turola et al., 2019**). Además, su uso presenta ventajas en términos de sustentabilidad, ya que no quedan residuos tóxicos en el producto final y que no representa un riesgo al consumidor. Comparado con solventes orgánicos como el hexano, el propano subcrítico ofrece una alternativa menos tóxica y más segura, al no dejar trazas químicas en el producto. Asimismo, comparado con CO_2 en estado supercrítico, el propano subcrítico necesita menos presión, implicando un menor consumo energético. Sin embargo, unas de las desventajas de este método es su inflamabilidad (**Ferreira et al., 2021**).

El uso de propano subcrítico contribuye a reducir el impacto ambiental de los procesos de extracción, posicionándose como una opción sostenible para la obtención de aceites en la industria biotecnológica. Asimismo, el empleo de propano subcrítico para la extracción de compuestos bioactivos del aceite de

ungurahua permite conseguir un aceite de alta calidad, manteniendo sus propiedades naturales y ampliando su potencial para aplicaciones cosméticas y medicinales, una de ellas, la capacidad antioxidante.

1.1.7 Capacidad antioxidante

La actividad antioxidante se refiere a la capacidad de ciertos compuestos para neutralizar los radicales libres y prevenir el daño oxidativo en las células. Estos antioxidantes pueden ser de origen natural o sintético, y su mecanismo de acción puede ser: la donación de electrones, la quelación de metales prooxidantes y la inhibición de reacciones en cadena que provocan estrés oxidativo. En los aceites vegetales, la presencia de compuestos fenólicos, tocoferoles y carotenoides, son los responsables de la actividad antioxidante, protegiendo tanto al aceite como a sistemas biológicos donde se aplica el producto **(Mostafa et al., 2024)**.

Los aceites vegetales obtenidos de la ungurahua poseen diversas actividades biológicas, entre las cuales destaca su capacidad antioxidante, ampliamente documentada en varios estudios (**Leba et al., 2016; Rezaire et al., 2014; Saravia et al., 2020**). No obstante, la concentración de compuestos bioactivos con actividad antioxidante puede variar según el método de extracción empleado. Métodos térmicos como la extracción Soxhlet, degradan algunos antioxidantes sensibles al calor, mientras que métodos menos agresivos como el propano subcrítico, preservan mejores los compuestos bioactivos. Por ello, resulta necesario realizar un estudio comparativo que permita identificar la técnica más eficiente para obtener extractos con mayor capacidad antioxidante, así como identificar la mejor técnica de evaluación de la capacidad antioxidante.

1.1.7.1. Métodos para la determinación de la capacidad antioxidante

Existen algunas técnicas para evaluar la capacidad antioxidante de un extracto, cada uno de ellos con enfoques diferentes según el mecanismo de acción del antioxidante. Entre los ensayos más empleados se encuentra el ensayo DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazilo), el cual mide la capacidad de donación de los electrones; ABTS (ácido 2,2’-azino-bis(3-etilbenzotiazolin)-6-sulfónico), que evalúa la capacidad antioxidante en sistemas hidrofílicos y lipofílicos; y el FRAP (capacidad antioxidante de disminución férrica), que mide la actividad de disminuir iones férricos. Los ensayos mencionados permiten comparar la capacidad antioxidante de distintas muestras y conocer el impacto de los métodos de extracción en la conservación de los compuestos bioactivos (**Selby-Pham et al., 2025**).

El método DPPH es el más adecuado para analizar la capacidad antioxidante de extractos de aceites vegetales debido a su alta sensibilidad frente a compuestos lipofílicos, como los presentes en los extractos de aceites vegetales. Además, permite evaluar la capacidad de los antioxidantes para neutralizar radicales libres mediante la donación de hidrógeno y transferencia de electrones, lo que lo convierte en una

herramienta eficaz y directa para estimar la actividad antioxidante en extractos ricos en ácidos grasos insaturados, polifenoles y carotenoides (**Gulcin, 2020**). Sin embargo, no es suficiente saber si un extracto posee actividad antioxidante, es necesario complementar con la identificación de los compuestos responsables de dicha actividad, para este fin, existen diferentes métodos para la identificación de compuestos.

1.1.8 Determinación de compuestos bioactivos

Es muy importante identificar los compuestos presentes en los extractos de aceites vegetales, ya que pueden ser responsables de varias actividades biológicas y así poder estimar sus potenciales aplicaciones. Es por eso que existen algunas técnicas de identificación de compuestos bioactivos en extractos de aceites vegetales como: la cromatografía líquida de alta resolución (HPLC), cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (GC-MS), espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR), cromatografía de capa fina (TLC), microscopía electrónica, entre otras (**Rahim et al., 2023**). Estas metodologías permiten analizar perfiles de ácidos grasos, detectar impurezas y evaluar la presencia de compuestos antioxidantes. Debido a su simplicidad, bajo costo y rapidez, la TLC es muy empleada en análisis cualitativos en diferentes áreas como la química, biotecnología, alimentos y farmacología **(Engel & Schiller, 2023**). Es una técnica analítica empleada para la separación e identificación de compuestos en mezclas complejas. Se basa en el principio de la adsorción diferencial de los analitos en una fase estacionaria sólida como sílice, alúmina o celulosa y su migración diferencial con una fase móvil liquida.

El perfil de ácidos grasos de extractos de ungurahua han sido analizados mediante cromatografía de gases (**Carrillo et al., 2018; Chaves et al., 2020; Montúfar et al., 2010**), HPLC (**Leba et al., 2016; Rezaire et al., 2014**), entre otros. Es necesario realizar un análisis del perfil de ácidos grasos en los extractos de aceites vegetales, dado que los métodos de extracción influyen en la composición y en la presencia de trazas específicas.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Evaluar la actividad antioxidante, rendimiento global y perfil de ácidos grasos de los aceites obtenidos a partir de la ungurahua (*Oenocarpus bataua*) mediante propano subcrítico y Soxhlet.

1.2.2 Objetivos específicos

- Obtener aceite de ungurahua mediante propano subcrítico a presión de 5 bares a temperatura ambiente y Soxhlet a presión atmosférica.
- Estimar la capacidad antioxidante mediante la técnica DPPH de los aceites obtenidos.
- Comparar cualitativamente el perfil de ácidos grasos de los aceites obtenidos mediante las diferentes técnicas, empleando para ello cromatografía en capa fina (TLC).

CAPÍTULO II.- METODOLOGÍA

2.1 Materiales

2.1.1 Recursos institucionales

El presente trabajo de titulación fue de tipo experimental y se llevó a cabo en los laboratorios UODIDE de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología de la Universidad Técnica de Ambato.

2.1.2 Material fungible y de laboratorio

En la Tabla 2 se mencionan los materiales de laboratorio y material vegetal utilizado en el proyecto.

Tabla 2

Material fungible y de laboratorio

Material	**Cantidad**
Frasco ámbar	2
Tubos Eppendorf	10
Papel filtro	3
Placa de 96 micropocillos	1
Papel aluminio	1
Vaso de precipitación 250 mL	5
Probeta volumétrica 100 mL	1
Micropipetas	2
Vaso de precipitación 50 mL	2
Papel industrial	1
Tubos de ensayo con tapa rosca	10
Fruto de ungurahua	4 kg

2.1.3 Equipos

En la Tabla 3 se mencionan los equipos utilizados en el desarrollo del proyecto.

Tabla 3

Equipos de laboratorio.

Equipo	Marca	Modelo
Balanza analítica	OHAUS	N13M1U
Secadora	Kalstein	YR05265
Refrigerador	Indurama	N2BE8U
Espectrofotómetro	Fisher Scientific	ACCUSKA N GO
Extractor subcrítico	P PBAUTOS	90GM-02
Rotavapor	EYELA	0SB-2100
Moledora de café	DECAKILA	KUCF006B

2.1.4 Reactivos

En la Tabla 4 se listan los reactivos y soluciones usadas en el desarrollo del proyecto.

Tabla 4

Reactivos de laboratorio

Reactivo	Cantidad
Etanol 96%	1 L
Agua destilada	2 L
2,2-Difenil-1-Picrilhidrazilo (DPPH)	1 g
Trolox	3 g
Metanol	1 L
Cloro al 5%	500 mL
Propano	500 oz
Acetona	100 mL
Ácido acético	10 mL

2.2 Métodos:

2.2.1 Obtención del aceite de ungurahua mediante propano subcrítico a presión de 5 bares a temperatura ambiente y Soxhlet a presión atmosférica.

2.2.1.1. Recolección de la muestra

Las muestras de frutos de ungurahua fueron recolectados entre los meses de marzo y abril de 2025, durante la temporada de fructificación en la región de Archidona-Porotoyaku (latitud-0°53'02.6"N y longitud 77°45'36.7"W) y trasladas a los laboratorios de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología para su respectivo procesamiento. Las plantas seleccionadas para la recolección de frutos tienen una edad promedio de 6 años y se recogió únicamente frutos maduros con colores marrones o negros, asegurando la homogeneidad de la muestra (**Montúfar et al., 2010**). Los frutos se colocaron en saquillos pequeños para su transporte, asegurando su integridad. En este proceso se documentó con fotografías y se geolocalizó mediante un dispositivo móvil.

2.2.1.2. Preparación de la materia prima

Los frutos recolectados se lavaron con una solución acuosa de hipoclorito de sodio al 5% para eliminar microorganismos y suciedad superficial, con un período de contacto de 5 minutos. Después se eliminó el exceso de humedad con papel toalla. Posteriormente, se continuó con el secado empleando una secadora industrial (Kalstein, YR05265, Montpellier, Paris, Francia), funcionando a una temperatura de 40 °C durante 24 horas para impedir la desnaturalización de los compuestos bioactivos (**Leba et al., 2016**). Se utilizaron bandejas de acero inoxidable para garantizar una distribución homogénea del calor y prevenir la contaminación de la materia prima.

2.2.1.3. Análisis proximal

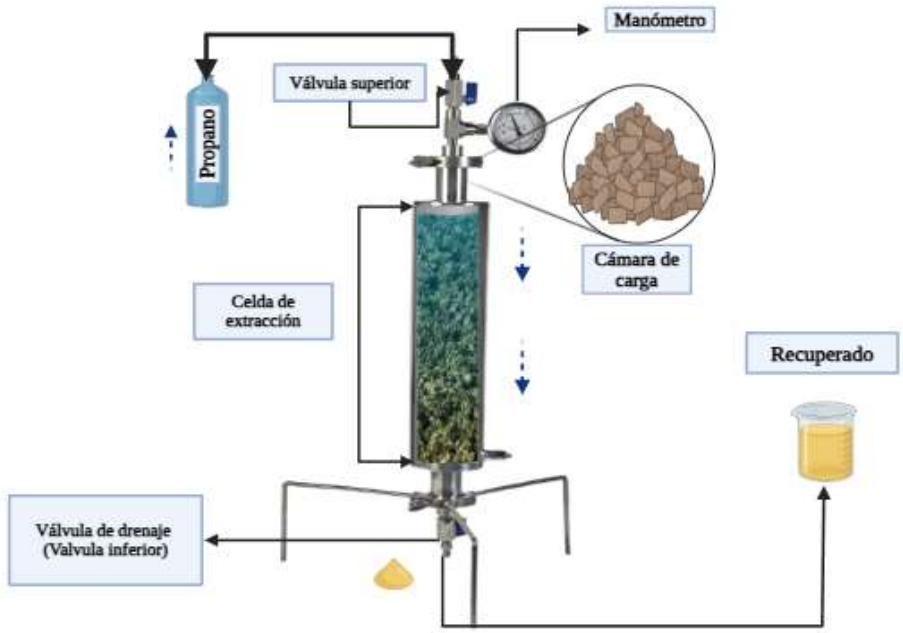
La composición química de la materia prima ungurahua se basó en la metodología establecida por la AOAC 2023 y AOAC 2005. Para el análisis, se empleó 200 g de la muestra. Se analizaron los siguientes parámetros: contenido de humedad, por el método de secado en estufa (AOAC 925.09); proteínas, mediante el método de Kjeldahl (AOAC 2001.11); contenido de cenizas, por incineración de la muestra (AOAC 923.03); y fibra dietética total y carbohidratos totales, mediante el método por diferencia (AOAC 986.25).

2.2.1.4. Proceso de extracción no convencional: propano subcrítico

La extracción del aceite se realizó conforme a la metodología descrita por **Zhang et al.** (**2024**), 30 gramos de muestra seca y triturada se colocaron en una celda de extracción subcrítica (ver Figura 2) con rango de presión 0-10 bares y se adicionó el propano (LG products, Quito, Pichincha, Ecuador) hasta llegar a las condiciones de presión: (5 bares). La extracción se mantuvo durante 1 hora para asegurar la eficacia en la recuperación de compuestos bioactivos, para finalmente poder recuperar el aceite mediante la evaporación del propano excedente.

Figura 2

Extractor de propano subcrítico



Nota. Fuente: Elaboración propia

2.2.1.5. Extracción convencional con Soxhlet

Para la extracción en el equipo Soxhlet se pesaron 23.4 g de muestra, cantidad seleccionada con el fin de mantener la proporción muestra-solvente utilizada en el método de extracción con propano subcrítico. El pesaje se realizó empleando la balanza de analítica (OHAUS, modelo N13M1U, EE. UU.). Posteriormente, se colocó la muestra en dedales para ser pesado nuevamente y colocado en el interior del equipo Soxhlet. Se siguió la metodología de **Carrillo et al.** (**2018**), para lo cual se midieron 150 mL de hexano y fueron colocados en el matraz de fondo redondo. El tiempo de extracción en el equipo Soxhlet fue de 6 h. Posteriormente, el extracto obtenido se llevó al rotavapor a 40°C para eliminar el solvente y conservar

únicamente el aceite de ungurahua, el aceite se almacenó en frascos de vidrio ámbar de 50 mL recubiertos con papel aluminio y conservados en un congelador (Indurama, N2BE8U, Ambato-Tungurahua-Ecuador) a una temperatura de -20 °C.

2.2.1.6. Evaluación del rendimiento de las extracciones realizadas

Para evaluar el rendimiento de extracción del aceite de ungurahua con propano subcrítico y método Soxhlet, se cuantificó el aceite extraído mediante métodos gravimétricos. Se pesó la muestra inicial y el aceite obtenido usando una balanza analítica de alta precisión (OHAUS, N13M1U, EE. UU.) con sensibilidad de 0.01 g para garantizar exactitud en las mediciones.

Posteriormente, se calculó el rendimiento del proceso de extracción utilizando la Ecuación 1:

$$Y[\%] = \frac{m_{extracto}}{m_{materi\,prima}} \times 100 \qquad \text{Ecuación 1}$$

En donde:

Y[%] = rendimiento de extracción

$m_{extracto}$= masa del extracto [g]

$m_{materia\,prima}$ = masa de la muestra inicial [g]

Este enfoque permitió determinar el porcentaje de aceite recuperado en relación con la cantidad de materia prima utilizada.

2.2.2 Estimación de la capacidad antioxidante mediante la técnica DPPH de los aceites obtenidos

2.2.2.1. Análisis de la capacidad antioxidante de las muestras de aceite extraídos.

La capacidad antioxidante del aceite de ungurahua se determinó mediante el método descrito por **Bobo-García et al.** (**2015**). Se empleó una placa de 96 pocillos, en la que se colocaron 20 µL del extracto sin diluir y 180 µL de una solución de DPPH (2,2 diphenil-1-1-picrylhdrazil) preparada en metanol y agua (80:20, v/v) a una concentración de 150 µmol L^{-1}. La mezcla se agitó enérgicamente durante 1 minuto y luego se incubó en oscuridad a temperatura ambiente por 45 minutos. Como blanco, se usó una mezcla de 180 µL de metanol-agua con 20 µL de agua destilada; para el control, 180 µL de reactivo DPPH con 20 µL de agua destilada. Posteriormente, se midió la absorbancia a 515 nm en un espectrofotómetro UV-Vis (Fischer Scientific, ACCUSKAN GO, Massachusetts, EE.UU.).

Los análisis se realizaron por triplicado. La absorbancia obtenida se transformó a concentración equivalente de Trolox (µM) utilizando la curva de calibración (ver apartado 2.2.2.2) y luego se obtuvieron los resultados como porcentaje de inhibición del DPPH (Ecuación 2), actividad equivalente a Trolox por gramo de materia prima (Ecuación 3) y actividad equivalente a Trolox por gramo de extracto (Ecuación 4).

$$\%\ \boldsymbol{Inhibición\ DPPH} = \left[\mathbf{1} - \left(\frac{\boldsymbol{A_{muestra} - A_{blanco}}}{\boldsymbol{A_{control} - A_{blanco}}}\right)\right] * \mathbf{100} \qquad \text{Ecuación 2}$$

En donde:

$A_{muestra}$= Absorbancia de la muestra a 515 nm.

A_{blanco} = Absorbancia del blanco a 515 nm.

$A_{control}$= Absorbancia del control a 515 nm.

$$\boldsymbol{TEq._{MP} = C_{Trolox} * \frac{V*f}{m_{MP}}} \qquad \text{Ecuación 3}$$

En donde:

$TEq._{MP}$ = Actividad equivalente a Trolox por gramo de materia prima [µmol Trolox g^{-1}_{MP}]

C_{Trolox} = Concentración de equivalente de Trolox calculado mediante curva de calibración [µM]

V = Volumen total del extracto de aceites [L].

f = factor de dilución del extracto.

m_{MP} = Masa total de la materia prima [g].

$$\boldsymbol{TEq._{EX} = C_{Trolox} * \frac{V*f}{m}} \qquad \text{Ecuación 4}$$

En donde:

$TEq._{Ex}$ = Actividad equivalente a Trolox por gramo de extracto [µmol Trolox g^{-1}_{Ex}].

C_{Trolox} = Concentración de equivalente de Trolox calculado mediante curva de calibración [µM].

V = Volumen total del extracto de aceites [L].

f = factor de dilución del extracto.

m = Masa total del extracto [g].

2.2.2.2. Generación de una curva de calibración de Trolox

Para generar la curva de calibración, se prepararon distintas disoluciones de Trolox desde 50 a 500 µmol L^{-1}, se colocaron en micro pocillos junto con 180 µL de la solución de DPPH. Para el blanco y el control se realizó el mismo procedimiento que en el punto anterior (2.2.2.1). Se agitó durante 1 minuto e incubó por 45 minutos en oscuridad para luego analizar la microplaca en un espectrofotómetro UV-Vis a 520 nm. Se calculó el porcentaje de inhibición de DPPH con la Ecuación 2 y se graficó una curva de calibración del porcentaje de inhibición (Ecuación 2) vs concentración de Trolox para posteriormente obtener la ecuación de la recta.

2.2.3 Comparación cualitativa del perfil de ácidos grasos de los aceites obtenidos mediante las diferentes técnicas, empleando para ello cromatografía en capa fina (TLC)

Se comparó de manera cualitativa los aceites obtenidos mediante la extracción con propano subcrítico y Soxhlet, empleando la cromatografía en capa fina (TLC).

2.2.3.1. Cromatografía en capa fina (TLC)

Para comparar el perfil de ácidos grasos de los extractos de ungurahua obtenidos, se empleó la metodología descrita por **Touchstone** (**1995**). Se analizaron las muestras de aceite obtenidos mediante Soxhlet y propano subcrítico en secciones anteriores. Igualmente, se analizó una muestra de aceite de oliva extra-virgen obtenido de un supermercado regular para poder comparar el perfil con un aceite comercial existente. Se utilizó placas de sílice gel 60 F_{254} como fase estacionaria y una mezcla de hexano: acetona (80:20 v/v) como fase móvil. Esta mezcla se seleccionó por su capacidad para favorecer una separación efectiva de compuestos lipídicos según su polaridad, facilitando una adecuada migración y visualización en la placa. Se llevó a cabo una dilución de la muestra en una proporción 1:10 (v/v) con hexano, con el fin de añadir una cantidad exacta y controlada sobre la placa de cromatografía en capa fina (TLC) y prevenir una sobrecarga que perjudique la separación. Se usó el vapor de yodo como revelador para una visualización más efectiva. Se calcularon los valores de Rf y se compararon ambos perfiles de ácidos grasos de extractos de aceites conforme su distancia de separación y manchas identificadas.

El factor de retención (Rf) de los triglicéridos de las muestras, se calculó conforme la Ecuación 5.

$$\boldsymbol{Rf} = \frac{\boldsymbol{D_c}}{\boldsymbol{D_{fm}}} \qquad \text{Ecuación 5}$$

En donde:

Rf = Factor de retención

D_c = Distancia recorrida por el compuesto

D_{fm} = Distancia recorrida por la fase móvil.

2.2.3.2. Análisis de datos

El análisis de diferencias de las medias muestrales se realizó con un análisis de varianza (ANOVA) a nivel de significancia de $p < 0.05$ para evaluar las diferencias de rendimiento y capacidad antioxidante entre métodos de extracción (Soxhlet y propano subcrítico). Para la interpretación de los resultados, se calculó la media aritmética, la desviación estándar (S) y el coeficiente de variación (CV) con el fin de evaluar la dispersión relativa de los datos en cada grupo experimental. Se realizó en análisis estadístico en el programa Minitab versión 22 gratuita.

CAPÍTULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Análisis y discusión de resultados

3.1.1 Obtención del aceite de ungurahua mediante propano subcrítico a presión de 5 bares a temperatura ambiente y Soxhlet a presión atmosférica.

3.1.1.1. Análisis proximal

En la Tabla 5 se observan los resultados de la composición proximal en base a la materia prima seca de la ungurahua. Se destaca que la ungurahua posee una cantidad de cenizas de 1.46 % lo que representa la cantidad de minerales en la muestra. **Fernandes et al**. (**2024**), reportan valores inferiores con un contenido de cenizas de 0.71%. Esta diferencia puede estar relacionada a la localidad de origen o al periodo de recolección del material vegetal. Por otro lado, **Monteiro et al**. (**2023**), indican un contenido de cenizas que aumenta desde 1.1% hasta 2.6% a medida que se aumenta la temperatura de secado y la concentración del tratamiento con NaOH. Esto indica que el tratamiento a mayor temperatura y mayores concentraciones de NaOH puede extraer mayor cantidad de material sólido y, por ende, minerales. El contenido de cenizas se relaciona con el contenido mineral de la muestra. **Saravia et al**. (**2020**) indica la presencia de minerales en la ungurahua como Ca, K, Mg, Na, P, B, Cu, Fe, Mn y Zn, destacando concentraciones altas de P, Fe y Mn.

La proteína total fue de 6.93% indicando una cantidad similar en comparación con otras frutas oleaginosas tropicales (**Monteiro et al., 2023**).Asimismo, **Darnet et al.** (**2011**) indica un contenido de proteínas en la ungurahua fresca de 4.9% con una humedad de 33.5%. Este valor es ligeramente menor debido a que la fruta no pasó por un proceso de secado como en el realizado en este estudio, llegando a tener un 7.4% de humedad. Por otro lado, **Carrillo et al**. (**2018**) hallaron un 7.4% de proteínas en la ungurahua, esta diferencia puede estar relacionado al grado de madurez de los frutos, las condiciones ambientales o las técnicas de procesamiento antes de su análisis.

El contenido de grasa hallado en la ungurahua de 21.7% es notablemente elevado, ya que representa una fuente rica en ácidos grasos insaturados. Resultados similares fueron encontrados en investigaciones realizadas por **Carrillo et al.** (**2018**), donde fue de 29.1% y por **Mushtaq et al.** (**2019**) con 20 a 25%, representando una fuente nutricional importante, rica en ácidos grasos y otros lípidos útiles para la obtención de un extracto de aceites vegetales con actividad antioxidante.

Los hallazgos del análisis proximal indican que la materia prima seca de ungurahua presenta un elevado contenido de grasa (21.7%) y proteína (6.93%) lo cual sugiere un buen potencial como materia prima para extractos en productos alimenticios o cosméticos. Su escasa humedad promueve la estabilidad y

conservación, y la presencia de nutrientes fundamentales permite considerar su uso como ingrediente funcional o suplemento. Entre las limitaciones del estudio se destaca que el análisis se realizó sobre una mezcla de pulpa y cáscara de ungurahua, por lo que no se puede establecer la aportación individual de cada componente.

Tabla 5

Principales resultados LACONAL del análisis proximal de la muestra de ungurahua.

Ensayos/Técnica	Métodos	Resultados (%)
Cenizas, Gravimetría	AOAC Ed. 22,2023 923.03	1.46
Proteína total, Kjeldhal	AOAC Ed. 22,2023 2001.11	6.93
Humedad, Gravimetría	AOAC Ed. 22,2023 925.10	7.40
Grasa, Gravimetría	AOAC Ed. 22,2023 2003.06	21.70
Fibra dietética total, Gravimétrico-Enzimático	AOAC Ed. 22,2023 985.29	53.60
Carbohidratos totales, Cálculo	Cálculo	9.0

Nota. Laboratorio de Control y Análisis de Alimentos (LACONAL).

3.1.1.2. Evaluación del rendimiento de las extracciones por Soxhlet y propano subcrítico

En la Tabla 6 se presentan los rendimientos de extracción de aceites vegetales de ungurahua obtenidos mediante métodos de extracción convencional (Soxhlet) y no convencional (propano subcrítico). El rendimiento de extracción obtenido mediante el método no convencional con propano subcrítico fue de 27.28 % y método Soxhlet con hexano de 24.06 %. Esta diferencia de rendimiento puede atribuirse a las propiedades fisicoquímicas del propano, que, al actuar como un solvente no polar en condiciones subcríticas, mejora la difusión y solubilidad de los compuestos lipofílicos presentes en la matriz vegetal. Aunque el hexano también es un solvente no polar, el sistema Soxhlet implica un calentamiento continuo que puede generar cierta degradación térmica. Adicionalmente, el proceso de extracción mediante propano subcrítico duró 1 hora, mientras que mediante Soxhlet tomó 6 horas. Esto indica una mayor eficiencia con respecto al tiempo de extracción del propano sobre Soxhlet.

Tabla 6

Rendimiento de extracción de aceites vegetales de ungurahua

Método de extracción	*Y* (%)	*S (%)*	Agrupación
Soxhlet	24.06	1.36	A
Propano subcrítico	27.28	1.64	A

Nota. Y (%): rendimiento de extracción promedio, *S* (%): Desviación estándar, Agrupación: Letras iguales indican que no existen diferencias significativas entre los promedios ($p > 0.05$), según la prueba de Tukey aplicada.

Peña et al. (**como se citó en Trucillo et al., 2025**) reportaron la obtención de aceite de ungurahua mediante un método ancestral basado en la extracción mecánica por prensado, alcanzando un rendimiento del 19.06 %. Este valor sugiere que las técnicas mecánicas optimizadas pueden extraer aceites vegetales sin recurrir a solventes orgánicos. Además, este tipo de extracción conserva el carácter natural del producto y podría ser una alternativa viable en contextos sostenibles o de pequeña escala productiva. Por otro lado, **Morales–Muñoz** (**2016**) realizó extracciones mediante técnicas ancestrales del aceite de ungurahua, reportando rendimientos desde 15 a 20 mL de aceite extraído por cada kg de fruto. Esto indica que el método convencional Soxhlet y el propano subcrítico mejoran el rendimiento de extracción por sobre métodos ancestrales. Por otra parte, el estudio realizado por **Mosquera et al**. (**2019**) compara la eficiencia de extracción de aceites vegetales de ungurahua y otras palmas utilizando dos métodos: el artesanal (ancestral) y el Soxhlet con éter de petróleo como disolvente. Los autores reportan un rendimiento de extracción del 11 % mediante el método artesanal, mientras que el método Soxhlet alcanzó una eficiencia significativamente superior del 47 %. Esta diferencia resalta la mayor capacidad del método Soxhlet para extraer compuestos lipídicos, atribuida tanto al uso de un disolvente orgánico apolar como a las condiciones de temperatura y recirculación controladas que optimizan el proceso de extracción. Sin embargo, el solvente necesita ser retirado a temperaturas relativamente altas (alrededor de 60°C) por lo que podrían degradarse o volatilizarse compuestos bioactivos con actividad biológica.

Chañi-Paucar et al. (**2025**) recopilan información sobre métodos de extracción de la *O. bataua* y otras plantas amazónicas, en donde destaca la extracción de aceites mediante Soxhlet utilizando benceno de petróleo de 40 a 60°C obteniendo un rendimiento del 62%. En este mismo estudio se muestran los resultados de varias investigaciones en la obtención de aceites a partir de plantas del género *Oenocarpus* mediante CO_2 supercrítico. Las condiciones de operación varían ligeramente entre estudios, con temperaturas entre 43 y 60°C, presiones entre 27 y 50 MPa y tiempo mayor a 3 horas. Asimismo, los rendimientos de extracción fueron de 45%-46% (*O. distichus*), 60.4% (*O. bacaba*) y 30.4% (*O. mapora*). Estas condiciones

de operación elevadas pueden ocasionar la degradación de compuestos con actividad biológica en la muestra, aunque presenten rendimientos de extracción elevados de aceites en comparación con métodos de extracción menos agresivos, como el uso de propano subcrítico, del cual no existen estudios aplicados en la extracción de aceites en la ungurahua.

Varios estudios se han realizado sobre el uso de propano subcrítico en extracción de aceites vegetales. **Knez et al.** (**2018**), extrajeron aceites de semillas de chía (*Salvia hispanica* L.) utilizando temperaturas de 40 y 60°C y presiones de 100, 200 y 300 bar. Los investigadores obtuvieron extractos de entre 18 y 20% de rendimiento, destacando que mientras mayor es la presión, la temperatura afecta en menor medida. Sin embargo, extracciones con presiones por debajo de los 200 bar favorecen las mismas al aumentar la temperatura. Por otra parte, **Turola et al**. (**2019**) utilizan *Maximiliana maripa* para la obtención de aceites mediante propano subcrítico y Soxhlet, se obtuvieron extractos con rendimientos de 25.69% con propano subcrítico a 20°C y 2MPa, 28.77% en Soxhlet con hexano y 30.33% en Soxhlet con éter de petróleo. **Illés et al**. (**2000**) y **Ferreira et al.** (**2021**) mencionan que al utilizar propano o disolventes ricos en propano se puede lograr extraer por totalidad el contenido de aceites de una muestra.

Los rendimientos de extracción obtenidos en el presente estudio mediante los métodos Soxhlet con hexano (24.06 %) y propano subcrítico (27.28 %) resultan inferiores a los reportados en algunos estudios previos, lo cual puede atribuirse principalmente a la composición de la materia prima utilizada. En este caso, el contenido de aceites en la muestra de ungurahua fue del 21.70 %, lo que limita el rendimiento máximo teórico de extracción. Además, otros trabajos podrían reportar valores más elevados debido a diferencias en la calidad, madurez, época de recolección o estado de conservación de los frutos, así como al empleo de condiciones más agresivas o tiempos de extracción prolongados que favorecen la recuperación no solo de triglicéridos, sino también de otros compuestos apolares como ceras, pigmentos, esteroles y fosfolípidos. Asimismo, la variabilidad natural entre ecotipos de *O. bataua* puede influir en la concentración y disponibilidad del aceite y su distribución, afectando directamente la eficiencia del proceso extractivo.

El análisis de varianza (ANOVA) realizado para comparar los rendimientos de extracción de aceites vegetales entre los dos métodos de extracción (Soxhlet-hexano y propano subcrítico) indican una diferencia no significativa ($p = 0.059$) (ver Tabla 7). En la Figura 3 se observa que los intervalos de confianza al 95 % para ambos métodos se superponen, lo que sugiere que los valores de rendimiento podrían corresponder a la misma media. A pesar de esto, resulta relevante destacar que el método con propano subcrítico requirió únicamente una hora de operación, en contraste con las seis horas necesarias para la extracción mediante Soxhlet, lo que posiciona al propano subcrítico como una alternativa más eficiente en términos de tiempo, sin comprometer el nivel de rendimiento alcanzado.

Tabla 7

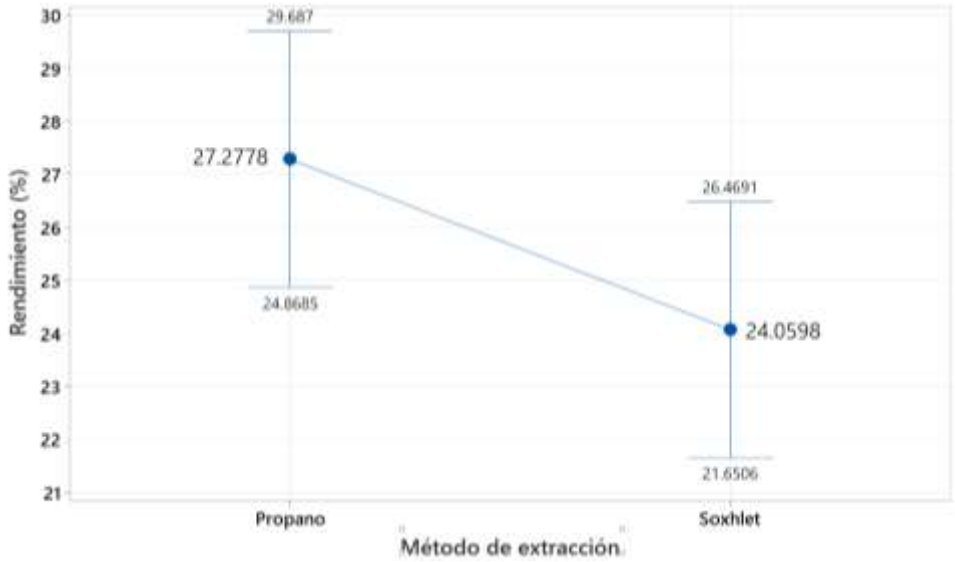
Resumen ANOVA del rendimiento de extracción de aceites vegetales.

Fuente	Contribución (%)	Valor p
Extracción	63.22	0.059
Error	36.78	
Total	100.00	

Nota. Nivel de confianza 95%.

Figura 3

Gráfico de intervalos de confianza del análisis ANOVA del rendimiento de extracción.



Nota. Intervalo de confianza del 95%. α = 0.05.

3.1.2 Estimación de la capacidad antioxidante mediante la técnica DPPH de los aceites obtenidos

3.1.2.1. Análisis de la capacidad antioxidante de las muestras de aceite extraídos.

La actividad antioxidante de los extractos de aceites ha despertado un creciente interés debido a su potencial para reemplazar antioxidantes sintéticos considerados potencialmente nocivos. Esta actividad se atribuye principalmente a la capacidad de ciertos compuestos, en especial los fenoles, para interrumpir las reacciones en cadena de oxidación iniciadas por radicales libres, mediante mecanismos de transferencia de átomos de

hidrógeno. Los extractos de aceites vegetales pueden presentar efectos antioxidantes debido a la química radicalaria de algunos terpenoides y fenilpropanoides, lo cual amplía las posibilidades de aplicación de estos aceites en la protección de lípidos y alimentos frente a la oxidación (**Amorati et al., 2013**).

En la Tabla 8 se presentan los resultados del ensayo de DPPH, expresados como porcentaje de inhibición del radical DPPH, equivalentes de Trolox por unidad de masa de material vegetal utilizado en la extracción ($TEq._{MP}$) y equivalentes de Trolox por unidad de masa de extracto obtenido ($TEq._{Ex}$). Estos valores fueron obtenidos a partir de los valores de absorbancia, los cuales fueron convertidos a concentración de Trolox mediante la curva de calibración (ver Anexo A). Los datos muestran que el método de extracción con propano subcrítico incrementa notablemente los indicadores de capacidad antioxidante. En particular, los valores de $TEq._{MP}$ y $TEq._{EX}$ obtenidos mediante este método superan en más del 20% a los registrados con el método Soxhlet-hexano, lo que sugiere una mayor eficiencia en la extracción o mayor disponibilidad de fitocompuestos con actividad antioxidante en el extracto obtenido por propano subcrítico.

Tabla 8

Actividad antioxidante de los extractos de aceites vegetales de ungurahua.

Método de extracción	Inhibición DPPH (%)	$TEq._{MP}$ ($\mu mol\ L^{-1}\ g^{-1}_{MP}$)	$TEq._{Ex}$ ($\mu mol\ L^{-1}\ g^{-1}_{Ex}$)	Agrupación
Soxhlet	46.53 ± 3.71	72.25 ± 9.71	299.4 ± 24.1	A
Propano subcrítico	56.24 ± 4.73	99.18 ± 14.2	362.5 ± 30.7	B

Nota. $TEq._{MP}$: Equivalentes de Trolox por cada gramo de materia prima. $TEq._{Ex}$: Equivalentes de Trolox por cada gramo de extracto. Agrupación: Letras iguales indican que no existen diferencias significativas entre los promedios ($p > 0.05$), según la prueba de Tukey aplicada. Datos presentados en forma de promedios ± desviación estándar. Factor de dilución 1.

El método de extracción con propano subcrítico demuestra una mayor eficacia en la recuperación de compuestos antioxidantes en comparación con la técnica Soxhlet con hexano. Estudios comparativos, como los realizados por **Pereira et al**. (**2017**) con *Passiflora alata* Curtis, han encontrado que los aceites obtenidos por tratamiento con propano contienen significativamente niveles más altos de actividad antioxidante comparado con el método Soxhlet con hexano. Sin embargo, la extracción Soxhlet con etanol obtuvo resultados ligeramente superiores al propano subcrítico. Esos mismos autores explican que extractos obtenidos con etanol y propano subcrítico obtienen una mayor cantidad moléculas bioactivas, entre ellas tocoferoles, tocotrienoles y compuestos fenólicos, los cuales poseen reconocida acción como donadores de hidrógenos o quelantes de radicales libres, explicando el incremento observado en la inhibición de DPPH. Asimismo, el método de extracción de aceites mediante propano subcrítico se puede ver beneficiado al no

usar temperaturas elevadas que degraden compuestos con actividad antioxidante como lo es el caso del Soxhlet con hexano (**Liu et al., 2015**). Un nuevo análisis ANOVA compara la capacidad antioxidante de aceites vegetales obtenidos mediante las dos técnicas de extracción estudiadas, indicando que este factor ejerce un efecto estadísticamente significativo sobre la actividad antioxidante de los aceites vegetales.

Existen varios estudios que analizan la actividad antioxidante de extractos obtenidos de ungurahua. **Rezaire et al**. (**2014**) trabajaron con extractos de pulpa del fruto utilizando una mezcla de acetona/agua (70:30 v/v), asistido por sonicación, obteniendo un valor de actividad antioxidante DPPH de 2292.5 ± 122.77 µmol Trolox/g extracto seco. Por otro lado, **Leba et al.** (**2016**) analizaron hojas y raíces, encontrando la mayor actividad antioxidante DPPH en el extracto de hoja en acetona/agua (70/30) con 461 ± 35.8 µmol Trolox/g de materia seca, mientras que el extracto de raíz con el mismo solvente mostró valores más bajos, de 288.7 ± 12.7 µmol Trolox/g de materia seca.

Las diferencias observadas pueden atribuirse principalmente a las metodologías de extracción empleadas. Mientras que los estudios de **Rezaire et al**. (**2014**) y **Leba et al**. (**2016**) se enfocaron en la obtención de compuestos fenólicos a partir de diferentes partes de la planta de ungurahua (pulpa, hojas y raíces), el presente estudio se orienta hacia la extracción de aceites vegetales del fruto. Los valores elevados reportados por **Rezaire et al**. (**2014**) se explican por el uso de extractos liofilizados y el cálculo de la capacidad antioxidante expresada como equivalentes de Trolox por gramo de extracto seco ($TEq._{Ex}$). En cambio, **Leba et al.** (**2016**) calcularon directamente la capacidad antioxidante sobre la materia prima ($TEq._{MP}$), lo que puede generar resultados aparentemente menores. Por otro lado, **Maytahuari** (**2022**) realizó una extracción de aceite de ungurahua mediante Soxhlet con éter de petróleo, obteniendo capacidades antioxidantes entre 2.57 ± 0.01 y 4.71 ± 0.01 µg de Trolox/g de aceite, equivalentes a aproximadamente 0.01–0.02 µmol de Trolox/g. En comparación, el presente estudio muestra una capacidad antioxidante significativamente mayor, tanto para la extracción por Soxhlet con hexano como para la extracción con propano subcrítico. Esta diferencia se puede atribuir a la muy baja polaridad del petróleo de éter que puede influir negativamente en la extracción de compuestos bioactivos con capacidad antioxidante como polifenoles, carotenoides, ácidos carboxílicos, entre otros.

El ANOVA presentado en la Tabla 9 permite comparar la capacidad antioxidante de aceites vegetales obtenidos mediante dos técnicas de extracción diferentes: Soxhlet con hexano y extracción con propano subcrítico. El análisis reporta un valor p de 0.009 para el método de extracción utilizado, esto indica que las muestras de aceites son significativamente diferentes entre sí. Es decir, la técnica de extracción ejerce un efecto estadísticamente significativo sobre la actividad antioxidante de los aceites vegetales. El valor de 64.70% de contribución del error puede deberse a que los datos crudos de absorbancia obtenidos en el ensayo DPPH fueron procesados por una serie de ecuaciones para obtener la actividad equivalente a Trolox,

causando una alta variabilidad en los datos usados en el ANOVA. Asimismo, este nivel de contribución puede indicar que existen otros factores no estudiados que puedan afectar a la variabilidad de los datos, incluyendo temperatura, presión, humedad, etc.

La Figura 4 muestra los intervalos de confianza al 95% para la media de la capacidad antioxidante $TEq._{Ex}$ de ambos métodos de extracción. A diferencia del rendimiento de extracción, los intervalos de confianza de la capacidad antioxidante se solapan en menor medida, por lo que, considerando la cantidad de mediciones que se obtuvieron para este análisis (n=18), esta gráfica indica que las medias son significativamente distintas.

Tabla 9

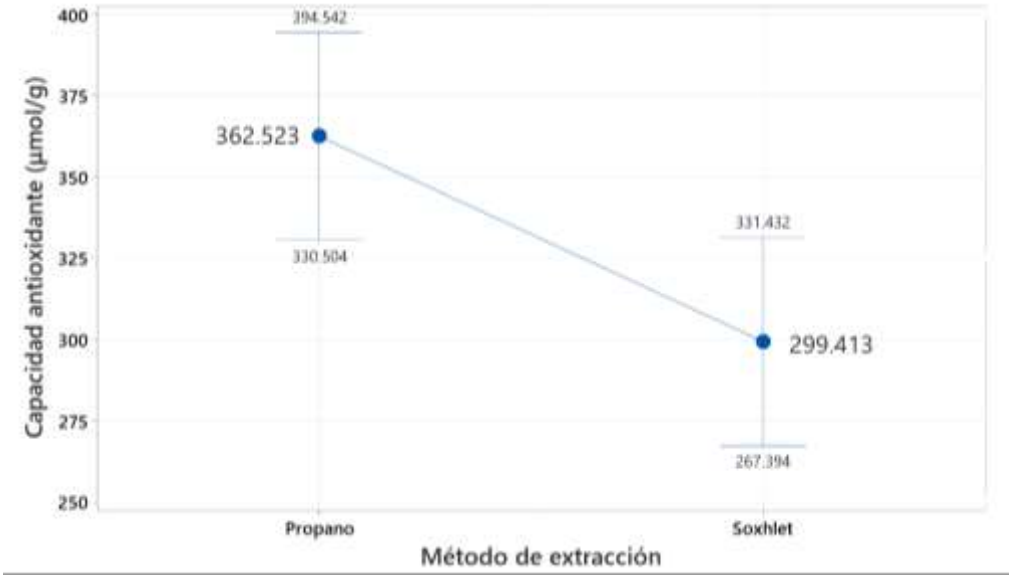
Resumen ANOVA del análisis de capacidad antioxidante.

Fuente	Contribución (%)	Valor p
Extracción	35.30	0.009
Error	64.70	
Total	100.00	

Nota. Nivel de confianza 95%.

Figura 4

Gráfico de intervalos de confianza del análisis ANOVA de capacidad antioxidante.



Nota. Intervalo de confianza del 95%. $\alpha = 0.05$.

3.1.3 Comparación cualitativa del perfil de ácidos grasos de los aceites obtenidos mediante las diferentes técnicas, empleando para ello cromatografía en capa fina (TLC)

3.1.3.1. Cromatografía en capa fina (TLC)

En este estudio se realizó el análisis del perfil de triglicéridos mediante TLC de los extractos de aceite obtenidos mediante Soxhlet-Hexano y propano subcrítico, y un aceite de oliva comercial como referencia. La sílice gel 60 F_{254}, usado como fase estacionaria, es un componente polar, a diferencia de la fase móvil de hexano-acetona (80:20 v/v) que es mayormente apolar (**Tiwari & Talreja, 2022**). El desarrollo cromatográfico reveló cinco manchas con valores de Rf diferenciados en los dos extractos obtenidos en este estudio, y cuatro en la muestra de aceite de oliva (ver Anexo C). Los valores de Rf de cada mancha de las muestras se presentan en la Tabla 10, cuyo desarrollo se observa en la Figura 5.

Tabla 10

Principales factores de retención de cromatografía TLC de muestras de aceite.

Núm. de banda	Factor de retención (Rf)		
	Soxhlet	**Propano**	**Oliva**
1	0.15	0.14	-
2	-	-	0.29
3	0.38	0.40	0.40
4	0.43	0.43	-
5	0.55	0.53	0.51
6	0.96	0.97	0.98

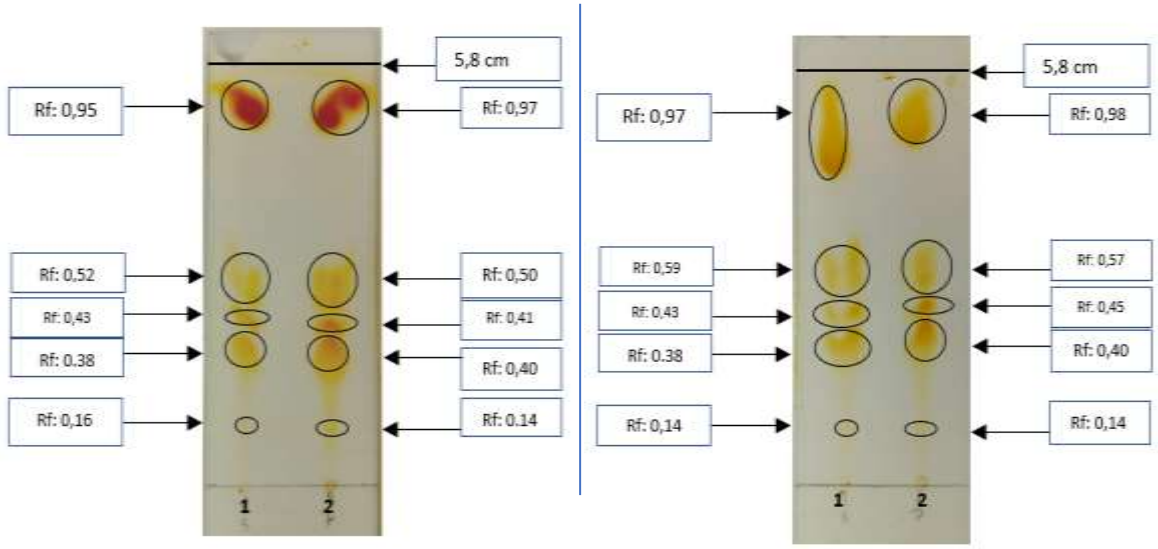
Nota. Soxhlet: extracto obtenido mediante Soxhlet-hexano. Propano: extracto obtenido mediante propano subcrítico. Oliva: referencia aceite de oliva comercial. Se agruparon por filas a las manchas con Rf similares.

Los extractos obtenidos mediante Soxhlet-hexano y propano subcrítico poseen 5 manchas distintas cuyos Rf son muy similares, indicando posiblemente que ambos métodos de extracción lograron obtener compuestos similares. Valores más bajos en el Rf indica una mayor polaridad del compuesto, a diferencia de los valores altos (**Akhtar et al., 2022**). Esto sugiere la presencia de múltiples compuestos de polaridad intermedia en todas las muestras, dado que la placa de sílice gel permite su retención parcial, presentando bandas con factores de retención intermedios. Asimismo, la banda 6 tiene un mayor tamaño que el resto de las bandas (ver Figura 5), indicando una mayor diversidad de compuestos apolares que no pueden ser diferenciados. Las bandas intermedias poseen un tamaño ligeramente menor que la banda con mayor Rf,

por lo que también presentan una diversidad en los compuestos presentes. La banda 1, con menor Rf es de un tamaño mucho menor que sus contrapartes.

Figura 5

Resultados de cromatografía en capa fina de los extractos.



Nota. Cada imagen corresponde a una réplica del ejercicio cromatográfico. 1: extracto obtenido mediante Soxhlet-hexano. 2: extracto obtenido mediante propano subcrítico.

Kamoun et al. (**2018**) realizan un estudio de TLC con aceite de oliva e indican que las bandas con Rf altos indican la presencia de triglicéridos, bandas medias (entre 0.4 y 0.6) pueden indican la presencia de ácidos grasos libres y diacilgliceroles y bandas alrededor de 0.2 pueden presentar la presencia de esteroles. Igualmente, **Mangold** (**1961**) menciona que los triglicéridos obtienen valores altos de Rf a diferencia de ácidos grasos libres y esteroles que poseen valores de Rf intermedios. Asimismo, indica que valores bajos de Rf pueden deberse a la presencia de productos de degradación de los aceites como triglicéridos con grupos hidroxiácidos.

Santos et al. (**2019**) y **Montúfar et al**. (**2010**) mencionan que el aceite extraído de ungurahua está compuesto por ácidos grasos saturados como los ácidos láurico, palmítico y esteárico; y por ácidos grasos insaturados como los ácidos palmitoleico, oleico, linoleico, linolénico y erúcico. Esto se complementa con los resultados del TLC en este estudio, en donde la banda relacionada a ácidos grasos libres, diacilglicéridos y triglicéridos posee mayor tamaño que otras bandas, indicando la presencia de ácidos grasos en forma libre y en forma de glicéridos. Por otra parte, **Montúfar et al**. (**2010**) y **Mushtaq et al**. (**2019**) indican la presencia de esteroles, β-caroteno, tocoferol, ácidos benzoicos y varios compuestos fenólicos en extractos de aceite de la ungurahua. Las bandas con valores de Rf de 0.14 y 0.15 observadas en los extractos obtenidos

mediante Soxhlet-hexano y propano subcrítico, respectivamente, y ausentes en la muestra de aceite de oliva, podrían estar asociadas a estos compuestos de mayor polaridad. Esta característica favorece su interacción con la fase estacionaria de sílice gel, lo que dificulta su elución por la fase móvil compuesta de hexano-acetona. Esto explica la presencia de actividad antioxidante en ambas muestras de aceites (**Gulcin, 2020**).

CAPÍTULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Utilizando la ungurahua (*Oenocarpus bataua*) como materia prima, se obtuvieron dos extractos de aceite empleando tanto el método convencional Soxhlet con hexano como disolvente, como el método no convencional basado en propano subcrítico. El rendimiento de extracción alcanzó un 24.06 ± 1.36 % para el método Soxhlet y un 27.28 ± 1.64 % para el método con propano subcrítico, lo que evidencia un leve incremento en la eficiencia al aplicar la técnica no convencional. Estos valores se relacionan con el contenido de grasas de 21.70 % determinado en la materia prima seca mediante análisis proximal, lo que confirma una gran capacidad de extracción de lípidos y otros compuestos presentes en la ungurahua.
- Los aceites obtenidos mediante ambos métodos de extracción fueron evaluados a través del ensayo de inhibición de DPPH. El método convencional Soxhlet registró un porcentaje de inhibición del 46.53 ± 3.71 %, con equivalencias de 72.25 ± 9.71 µmol de Trolox por gramo de material vegetal y 299.4 ± 24.1 µmol de Trolox por gramo de extracto. En contraste, la extracción no convencional con propano subcrítico alcanzó un porcentaje de inhibición superior, del 56.24 ± 4.73 %, así como valores de 99.18 ± 14.2 µmol de Trolox por gramo de material vegetal y 362.5 ± 30.7 µmol de Trolox por gramo de extracto. Estos resultados confirman la presencia de compuestos bioactivos con capacidad antioxidante en ambos extractos obtenidos de ungurahua, y evidencian que la técnica de extracción con propano subcrítico preserva de manera más efectiva los compuestos responsables de la actividad biológica.
- El análisis cualitativo realizado mediante cromatografía en capa fina revela que los aceites obtenidos tanto por Soxhlet-hexano como por propano subcrítico exhiben perfiles de ácidos grasos notablemente similares, lo cual se refleja en la aparición de cinco manchas con valores de Rf equivalentes en ambos métodos. Las bandas observadas indican una predominancia de triglicéridos, diacilglicéridos y ácidos grasos libres. Además, se identificaron compuestos de mayor polaridad en las zonas de Rf más bajas, entre los que destacan polifenoles, carotenoides y ácidos carboxílicos, los cuales pueden contribuir de manera significativa a la actividad antioxidante de los extractos.
- El análisis estadístico mediante ANOVA evidenció una diferencia significativa en la actividad antioxidante entre los extractos obtenidos por los distintos métodos de extracción, lo que sugiere que la extracción con propano subcrítico constituye una alternativa más eficaz que el método Soxhlet para la obtención de aceites y compuestos con capacidad antioxidante. En cuanto al rendimiento de extracción, no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre ambos procedimientos. No obstante, es relevante señalar que el uso de propano subcrítico permite

alcanzar rendimientos comparables en un tiempo considerablemente menor, optimizando así la eficiencia del proceso de obtención de aceites.

4.2 Recomendaciones

- Evaluar el uso de diversas técnicas para la obtención de aceites y otros compuestos a partir de la ungurahua, destacando el uso de métodos no convencionales, con el fin de aprovechar plenamente el potencial de esta materia prima y optimizar la eficiencia de extracción.
- Investigar el efecto de variar las condiciones de presión y temperatura en la extracción de aceites a partir de ungurahua con propano subcrítico, así como la utilización de diferentes disolventes o combinaciones, como mezclas con CO_2. Esta estrategia podría favorecer la obtención de extractos con propiedades diferenciadas y optimizar tanto la selectividad como el rendimiento del proceso.
- Para futuros estudios, se sugiere aumentar la cantidad de réplicas en los ensayos experimentales, con el propósito de fortalecer la validez de los resultados y obtener conclusiones más robustas mediante el análisis estadístico, especialmente en pruebas como ANOVA, mejorando así la confiabilidad y reproducibilidad de los datos obtenidos.

MATERIALES DE REFERENCIA

Adewuyi, A., Prasad, R. B. N., Rao, B. V. S. K., & Oderinde, R. A. (2010). Oil composition, mineral nutrient and fatty acid distribution in the lipid classes of underutilized oils of Trilepisium madagascariense and Antiaris africana from Nigeria. *Food Research International*, *43*(3), 665–670. https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2009.12.007

Agostini-Costa, T. (2018). Bioactive compounds and health benefits of some palm species traditionally used in Africa and the Americas – A review. *Journal of Ethnopharmacology*, *224*, 202–229. https://doi.org/10.1016/J.JEP.2018.05.035

Aguinda, J. G. T., & Mora, M. C. P. (2024). Diversity of visitors to the flowers of two palm species of the genus Oenocarpus in the Province of Napo, Ecuador. *Trees - Structure and Function*, *38*(4), 915–926. https://doi.org/10.1007/S00468-024-02524-7/TABLES/1

Ahangari, B., & Sargolzaei, J. (2012). Extraction of pomegranate seed oil using subcritical propane and supercritical carbon dioxide. *Theoretical Foundations of Chemical Engineering*, *46*(3), 258–265. https://doi.org/10.1134/S0040579512030013/METRICS

Akhtar, M. S., Rafiullah, M., Shehata, W., Hossain, A., & Ali, M. (2022). Comparative phytochemical, thin layer chromatographic profiling and antioxidant activity of extracts from some Indian herbal drugs. *Journal of Bioresources and Bioproducts*, *7*(2), 128–134. https://doi.org/10.1016/J.JOBAB.2022.01.001

Alexandre, E. M. C., Moreira, S. A., Castro, L. M. G., Pintado, M., & Saraiva, J. A. (2018). Emerging technologies to extract high added value compounds from fruit residues: Sub/supercritical, ultrasound-, and enzyme-assisted extractions. *Food Reviews International*, *34*(6), 581–612. https://doi.org/10.1080/87559129.2017.1359842

Amorati, R., Foti, M. C., & Valgimigli, L. (2013). Antioxidant activity of essential oils. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *61*(46), 10835–10847. https://doi.org/10.1021/JF403496K/ASSET/IMAGES/MEDIUM/JF-2013-03496K_0016.GIF

Barriga-Sánchez, M., Casimiro-Gonzales, S., Ramos-Escudero, F., Muñoz, A. M., & Anticona, M. (2024). Supercritical CO2 assisted extraction of freeze-dried sinami fruit pulp (Oenocarpus mapora H. karst) oil: An experimental optimization approach. *LWT*, *198*, 115956. https://doi.org/10.1016/J.LWT.2024.115956

Bobo-García, G., Davidov-Pardo, G., Arroqui, C., Vírseda, P., Marín-Arroyo, M. R., & Navarro, M. (2015). Intra-laboratory validation of microplate methods for total phenolic content and antioxidant activity

on polyphenolic extracts, and comparison with conventional spectrophotometric methods. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *95*(1), 204–209. https://doi.org/10.1002/JSFA.6706

Borges, V. M., Paiva, M., Brabo, S. H., Bezerra, P. do N., Ortiz, E. G., Neves, N. J., Dornelas, D. A., Araújo, M. E., & Nunes, J. (2019). Bacaba-de-leque (Oenocarpus distichus Mart.) oil extraction using supercritical CO2 and bioactive compounds determination in the residual pulp. *The Journal of Supercritical Fluids*, *144*, 81–90. https://doi.org/10.1016/J.SUPFLU.2018.10.010

Carrillo, W., Carpio, C., Morales, D., Álvarez, M., & Silva, M. (2018). Fatty acids content in ungurahua oil (Oenocarpus bataua) from ecuador. findings on adulteration of ungurahua oil in Ecuador. *Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research*, *11*(2), 391–394. https://doi.org/10.22159/AJPCR.2018.V11I2.16967

Castro, J. W., Hernández, M. S., & Gutiérrez, R. H. (2014). Uses for Amazonian seje oil (Oenocarpus bataua) extracted by mechanical and manual methods. *Acta Horticulturae*, *1047*, 335–340. https://doi.org/10.17660/ACTAHORTIC.2014.1047.43

Chañi-Paucar, L. O., Maceda, J. C., Paucarchuco, J., Portal-Cahuana, L. A., Solis, C. L. S., Chagua-Rodríguez, P., Johner, J. C., & Meireles, M. A. A. (2025). Supercritical Fluid Extraction of Amazonian Oils and Fats: Promising Species, Equipment, Yields, Composition, and Potential Uses. *Processes 2025, Vol. 13, Page 948*, *13*(4), 948. https://doi.org/10.3390/PR13040948

Chaves, J., Ortiz, D., Bahos, E., Ordoñez, G., & Villota, D. (2020). Análisis del perfil de ácidos grasos y propiedades fisicoquímicas del aceite de palma de mil pesos (Oenocarpus Bataua). *Perspectivas En Nutrición Humana*, *22*(2), 175–188. https://doi.org/10.17533/UDEA.PENH.V22N2A05

Darnet, S., Silva, L. H., Rodrigues, A., & Lins, R. (2011). Nutritional composition, fatty acid and tocopherol contents of buriti (Mauritia flexuosa) and patawa (Oenocarpus bataua) fruit pulp from the amazon region. *Food Science and Technology*, *31*(2), 488–491. https://doi.org/10.1590/S0101-20612011000200032

Engel, K. M., & Schiller, J. (2023). Applications of thin-layer chromatography to the analysis of lipids. *Instrumental Thin-Layer Chromatography, Second Edition*, 437–472. https://doi.org/10.1016/B978-0-323-99970-0.00009-0

Fernandes, E., Oliveira, S., Costa, O., Guarda, P., & Guarda, E. (2024). Caracterização físico-química do óleo do patauá (Oenocarpus bataua) extraído com diferentes tipos de solventes. *Observatorio de La Economía Latinoamericana*, *22*(12), e8067. https://doi.org/10.55905/OELV22N12-038

Ferreira, J. M., Barbosa, K. K., Barão, C. E., Wisniewski, A., Silva, C., Cabral, V. F., & Cardozo-Filho, L. (2021). Pressurized mixture of CO2 and propane for enhanced extraction of non-edible vegetable oil. *The Journal of Supercritical Fluids*, *171*, 105171. https://doi.org/10.1016/J.SUPFLU.2021.105171

Gasparetto, H., de Castilhos, F., & Salau, N. P. G. (2022). Recent advances in green soybean oil extraction: A review. *Journal of Molecular Liquids*, *361*, 119684. https://doi.org/10.1016/J.MOLLIQ.2022.119684

Gatbonton, G., de Jesús, A., Lorenzo, K. y Uy, M. (2013). Soxhlet extraction of Philippine avocado fruit pulp variety 240. *Research Congress 2013 De La Salle University Manila*, 1-8.

Guarín, J. R., & Valle, J. I. Del. (2014). Modeling the stipe growth of the Oenocarpus bataua palm in the Central Cordillera of the Andes, Colombia. *Forest Ecology and Management*, *314*, 141–149. https://doi.org/10.1016/J.FORECO.2013.12.005

Gulcin, İ. (2020). Antioxidants and antioxidant methods: an updated overview. *Archives of Toxicology 2020 94:3*, *94*(3), 651–715. https://doi.org/10.1007/S00204-020-02689-3

Hu, B., Xi, X., Li, H., Qin, Y., Li, C., Zhang, Z., Liu, Y., Zhang, Q., Liu, A., Liu, S., & Luo, Q. (2021). A comparison of extraction yield, quality and thermal properties from Sapindus mukorossi seed oil between microwave assisted extraction and Soxhlet extraction. *Industrial Crops and Products*, *161*, 113185. https://doi.org/10.1016/J.INDCROP.2020.113185

Illés, V., Daood, H. G., Perneczki, S., Szokonya, L., & Then, M. (2000). Extraction of coriander seed oil by CO2 and propane at super- and subcritical conditions. *The Journal of Supercritical Fluids*, *17*(2), 177–186. https://doi.org/10.1016/S0896-8446(99)00049-2

Kamoun, O., Ayadi, I., Guerfali, M., Belghith, H., Gargouri, A., & Trigui-Lahiani, H. (2018). Fusarium verticillioides as a single-cell oil source for biodiesel production and dietary supplements. *Process Safety and Environmental Protection*, *118*, 68–78. https://doi.org/10.1016/J.PSEP.2018.06.027

Knez, M., Cör, D., & Knez, Ž. (2018). Subcritical extraction of oil from black and white chia seeds with n-propane and comparison with conventional techniques. *The Journal of Supercritical Fluids*, *140*, 182–187. https://doi.org/10.1016/J.SUPFLU.2018.06.017

Kraujalis, P., Venskutonis, P. R., Pukalskas, A., y Kazernavičiūtė, R. (2013). Accelerated solvent extraction of lipids from Amaranthus spp. seeds and characterization of their composition. *Food Science and Technology, 54(2), 528–534.* doi:10.1016/j.lwt.2013.06.014

Leba, L. J., Brunschwig, C., Saout, M., Martial, K., Bereau, D., & Robinson, J. C. (2016). Oenocarpus bacaba and Oenocarpus bataua Leaflets and Roots: A New Source of Antioxidant Compounds.

International Journal of Molecular Sciences 2016, Vol. 17, Page 1014, *17*(7), 1014. https://doi.org/10.3390/IJMS17071014

Liu, H., Wang, F. Y., Li, H. Y., Wang, X. De, & 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

Liu, Y., Shen, N., Xin, H., Yu, L., Xu, Q., & Cui, Y. (2023). Unsaturated fatty acids in natural edible resources, a systematic review of classification, resources, biosynthesis, biological activities and application. *Food Bioscience*, *53*, 102790. https://doi.org/10.1016/J.FBIO.2023.102790

López-Bascón, M., & Luque, M. (2020). Soxhlet Extraction. *Liquid-Phase Extraction*, 327–354. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816911-7.00011-6

Luque, M., & 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

Mangold, H. K. (1961). Aliphatic Lipids. In E. Sathl (Ed.), *Thin-Layer Chromatography A Laboratory Handbook* (Issue 12, pp. 363–420). Springer International Student Edition. https://doi.org/10.1007/BF02633061/METRICS

Masiero, J., Barbosa, E. J., de Oliveira Macedo, L., de Souza, A., Yukuyama, M. N., Arantes, G. J., & Bou-Chacra, N. A. (2021). Vegetable oils in pharmaceutical and cosmetic lipid-based nanocarriers preparations. *Industrial Crops and Products*, *170*, 113838. https://doi.org/10.1016/J.INDCROP.2021.113838

Maytahuari, G. (2022). *Propiedades fisicoquímicas, caracterización de ácidos grasos y actividad antioxidante de aceites de Oenocarpus bataua "ungurahui" colectados en épocas de creciente y vaciante* [Universidad Nacional de la Amazonía Peruana]. https://repositorio.unapiquitos.edu.pe/handle/20.500.12737/8325

Monteiro, O., Cordazzo, M., Paraguassú, D. N., Gomes da Silva, M., Marcolino de Souza, T., Marin, L., Matos, L. C., & Bufalino, L. (2023). Characterization of raw and thermochemically-treated mesocarp fibers of Oenocarpus bataua, an Amazon palm. *CERNE*, *29*(1), e-103219. https://doi.org/10.1590/01047760202329013219

Montúfar, R., Laffargue, A., Pintaud, J. C., Hamon, S., Avallone, S., & Dussert, S. (2010). Oenocarpus bataua Mart. (Arecaceae): Rediscovering a Source of High Oleic Vegetable Oil from Amazonia. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, *87*(2), 167–172. https://doi.org/10.1007/S11746-009-1490-4

Morais, R. A., Teixeira, G. L., Ferreira, S. R. S., Cifuentes, A., & Block, J. M. (2022). Nutritional Composition and Bioactive Compounds of Native Brazilian Fruits of the Arecaceae Family and Its Potential Applications for Health Promotion. *Nutrients*, *14*(19), 4009. https://doi.org/10.3390/NU14194009

Morales–Muñoz, R. (2016). Craft extraction of Pataua oil (Oenocarpus bataua, MART.) in Panama. *Ciencia Agropecuaria*, *25*, 147–154.

Mosquera, D., Gutierrez, R., Diaz, R., Hernandez, M., & Fernandez-Trujillo, J. (2019). Microwave technology applied for Natural Ingredients extraction from Amazonic fruits. *Conference: Foods: Bioactives, Processing, Quality and Nutrition*, 1192. https://doi.org/10.3390/BPQN2013-01192

Mostafa, H., Alhafez, M., & Ibrahim, B. (2024). The antioxidant capacity of pumpkin seed oil and its impact on the stability of heated sunflower oil. *Results in Chemistry*, *12*, 101883. https://doi.org/10.1016/J.RECHEM.2024.101883

Muñoz, A. M., Casimiro-Gonzales, S., Gómez-Coca, R. B., Moreda, W., Best, I., Cajo-Pinche, M. I., Loja, J. F., Ibañez, E., Cifuentes, A., & Ramos-Escudero, F. (2022). Comparison of Four Oil Extraction Methods for Sinami Fruit (Oenocarpus mapora H. Karst): Evaluating Quality, Polyphenol Content and Antioxidant Activity. *Foods*, *11*(10), 1518. https://doi.org/10.3390/FOODS11101518/S1

Mushtaq, M., Akram, S., & Hasany, S. M. (2019). Seje (Oenocarpus/Jessenia bataua) Palm Oil. *Fruit Oils: Chemistry and Functionality*, 883–898. https://doi.org/10.1007/978-3-030-12473-1_49

Palacios, B., Enriquez, D., & Sosa, A. (2018). *Oil productivity potential of Oenocarpus bataua Mart, in the Ecuadorian Amazon, Taisha Canton*. https://www.researchgate.net/publication/340581620_Oil_productivity_potential_of_Oenocarpus_bataua_Mart_in_the_Ecuadorian_Amazon_Taisha_Canton

Pereira, M. G., Hamerski, F., Andrade, E. F., Scheer, A. de P., & Corazza, M. L. (2017). Assessment of subcritical propane, ultrasound-assisted and Soxhlet extraction of oil from sweet passion fruit (Passiflora alata Curtis) seeds. *The Journal of Supercritical Fluids*, *128*, 338–348. https://doi.org/10.1016/J.SUPFLU.2017.03.021

Pinto, R., Sena, C., Santos, O. V., Da Costa, W. A., Rodrigues, A. M. C., & Carvalho, R. N. (2018). Extraction of bacaba (Oenocarpus bacaba) oil with supercritical CO2: Global yield isotherms, fatty acid composition, functional quality, oxidative stability, spectroscopic profile and antioxidant activity. *Grasas y Aceites*, *69*(2), e246–e246. https://doi.org/10.3989/GYA.0883171

Prasad, W., Wani, A. D., Khamrui, K., Hussain, S. A., & Khetra, Y. (2022). Green solvents, potential alternatives for petroleum based products in food processing industries. *Cleaner Chemical Engineering*, *3*, 100052. https://doi.org/10.1016/J.CLCE.2022.100052

Rahim, M., Ayub, H., Sehrish, A., Ambreen, S., Khan, F. A., Itrat, N., Nazir, A., Shoukat, A., Shoukat, A., Ejaz, A., Özogul, F., Bartkiene, E., & Rocha, J. M. (2023). Essential Components from Plant Source Oils: A Review on Extraction, Detection, Identification, and Quantification. *Molecules 2023, Vol. 28, Page 6881*, *28*(19), 6881. https://doi.org/10.3390/MOLECULES28196881

Rathore, V., Newalkar, B. L., & Badoni, R. P. (2016). Processing of vegetable oil for biofuel production through conventional and non-conventional routes. *Energy for Sustainable Development*, *31*, 24–49. https://doi.org/10.1016/J.ESD.2015.11.003

Rezaire, A., Robinson, J. C., Bereau, D., Verbaere, A., Sommerer, N., Khan, M. K., Durand, P., Prost, E., & Fils-Lycaon, B. (2014). Amazonian palm Oenocarpus bataua ("patawa"): Chemical and biological antioxidant activity – Phytochemical composition. *Food Chemistry*, *149*, 62–70. https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2013.10.077

Santos, O., Gonçalves, B., Macêdo, C. da S., Conceicao, L., Costa, C., Monteiro Júnior, O. V., Souza, A., & Lannes, S. (2019). Evaluation of quality parameters and chromatographic, spectroscopic, and thermogravimetric profile of Patauá oil Oenocarpus bataua. *Food Science and Technology*, *40*, 76–82. https://doi.org/10.1590/FST.01619

Saravia, S. A. M., Montero, I. F., Linhares, B. M., Santos, R. A., & Marcia, J. A. F. (2020). Mineralogical Composition and Bioactive Molecules in the Pulp and Seed of Patauá (Oenocarpus bataua Mart.): A Palm from the Amazon. *International Journal of Plant & Soil Science*, 1–7. https://doi.org/10.9734/IJPSS/2019/V31I630228

Savva, S. C., & Kafatos, A. (2016). Vegetable Oils: Dietary Importance. *Encyclopedia of Food and Health*, 365–372. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00709-1

Selby-Pham, J., Wise, K., & Selby-Pham, S. (2025). Antioxidant capacity prediction: Combining individual compound capacities to predict plant-extract capacities. *Phytochemistry Letters*, *67*, 102951. https://doi.org/10.1016/J.PHYTOL.2025.102951

Shi, Y., Ma, Y., Zhang, R., Ma, H., & Liu, B. (2014). Preparation and characterization of foxtail millet bran oil using subcritical propane and supercritical carbon dioxide extraction. *Journal of Food Science and Technology*, *52*(5), 3099. https://doi.org/10.1007/S13197-014-1311-0

Tiwari, S., & Talreja, S. (2022). Thin Layer Chromatography (TLC) VS. Paper Chromatography: A Review. *Acta Scientific Pharmaceutical Sciences*, 05–09. https://doi.org/10.31080/ASPS.2022.06.0894

Tomchinsky, B., Gonçalves, G. G., & Ferreira, A. B. (2021). *Food Composition Data: Edible Plants from the Amazon*. 271–295. https://doi.org/10.1007/978-3-030-69139-4_13

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

Trucillo, P., Guardado Yordi, E., Sofia Guambuguete Guaman, I., Elizabeth Freire Fuentes, M., Radice, M., Scalvenzi, L., Abreu-Naranjo, R., Ramón Bravo Sánchez, L., & Pérez Martínez, A. (2025). Conceptual Design of the Process for Making Cosmetic Emulsion Using Amazonian Oils. *Processes 2025, Vol. 13, Page 1770*, *13*(6), 1770. https://doi.org/10.3390/PR13061770

Turola, R. C., Custódio, A. R., Hamerski, F., Lopes, G., Corazza, M., & Hoffmann, R. (2019). Subcritical propane extraction of high-quality inajá (Maximiliana maripa) pulp oil. *The Journal of Supercritical Fluids*, *153*, 104576. https://doi.org/10.1016/J.SUPFLU.2019.104576

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

Wu, W. H. (2007). The contents of lignans in commercial sesame oils of Taiwan and their changes during heating. *Food Chemistry*, *104*(1), 341–344. https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2006.11.055

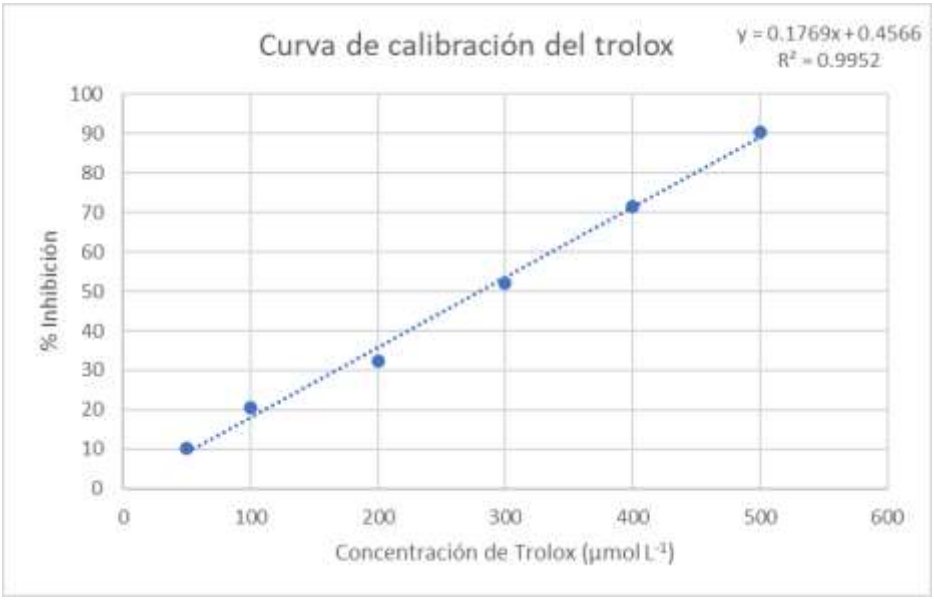
Zanqui, A., da Silva, C., de Morais, D., Santos, J., Ribeiro, S., Eberlin, M., Cardozo-Filho, L., Visentainer, J., Marques, S. y Matsushita, M. (2016). Sacha inchi (Plukenetia volubilis L.) oil composition varies with changes in temperature and pressure in subcritical extraction with n-propane. *Industrial Crops and Products, 87, 64–70.* doi:10.1016/j.indcrop.2016.04.029

Zhang, F., Wang, X., Li, K., Yin, W., Liu, H., Zhu, X., & 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

Curva de calibración de concentración de Trolox versus porcentaje de inhibición.



Nota. Curva de calibración obtenido con el estándar Trolox. El coeficiente r^2 de regresión lineal es de 0.9952, lo que indica que el modelo tiene un ajuste muy fuerte y explica el 99.52 % de la variabilidad entre ambas variables, por lo que su uso es factible para el estudio de capacidad antioxidante.

Anexo B

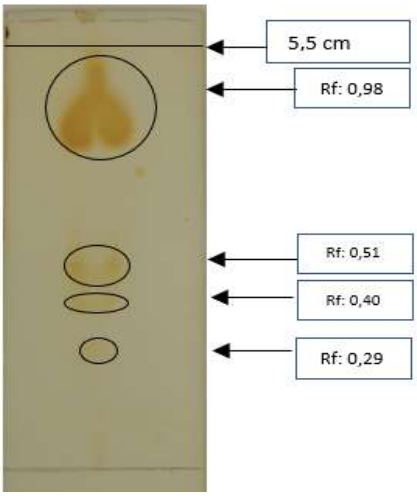
Valores de porcentaje de inhibición obtenidos para la curva de calibración de Trolox

Concentración de Trolox (µM)	% Inhibición DPPH
50	10.09
100	20.52
200	32.41
300	51.96
400	71.51
500	90.39

Nota. Estos valores se plotean en un diagrama de dispersión para obtener una ecuación de regresión linear.

Anexo C

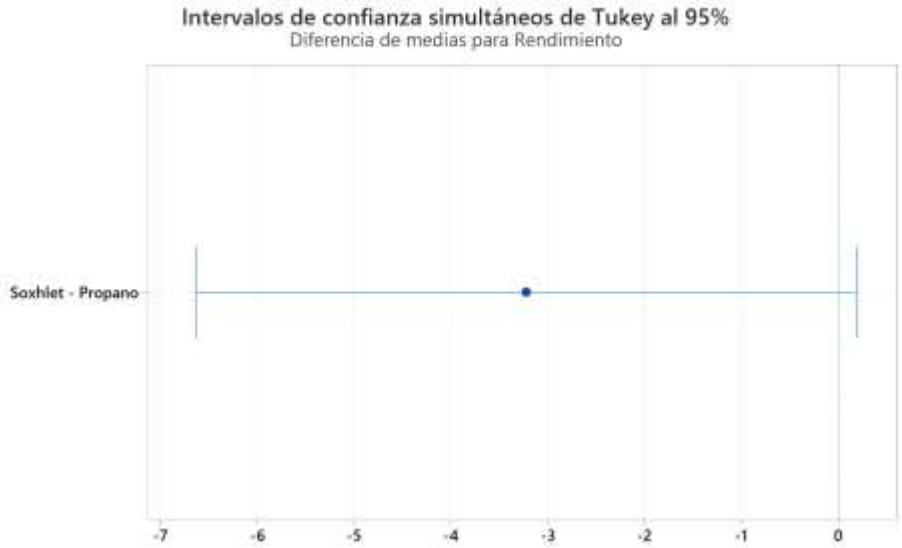
Resultados de cromatografía en capa fina del aceite de oliva.



Nota. Muestra utilizada como patrón de referencia. Una sola réplica.

Anexo D

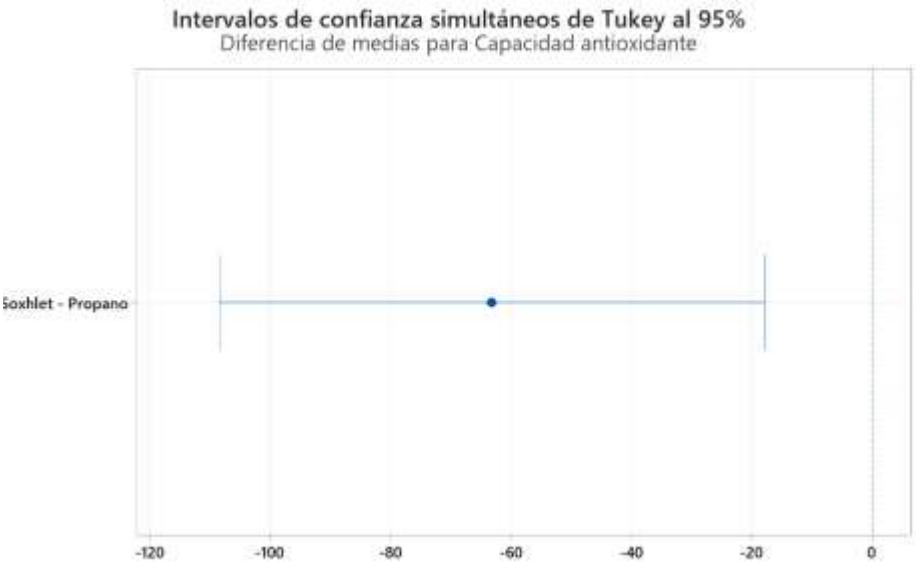
Representación del análisis de Tukey para el rendimiento de extracción.



Nota. El intervalo incluye al 0, por lo que las medias correspondientes no son significativamente diferentes. $\alpha = 0.05$.

Anexo E

Representación del análisis de Tukey para la actividad antioxidante.



Nota. El intervalo no incluye al 0, por lo que las medias correspondientes son significativamente diferentes. $\alpha = 0.05$.

Anexo F. Fotografías

Figura 1F. Obtención frutos de ungurahua



Figura 2F. Tratamiento de los frutos



Figura 3F. Lavado de materia prima



Figura 4F. Secado de materia prima



Figura 5F. Extracción con propano subcrítico



Figura 6F. Extracción Soxhlet



+

Figura 7F. Concentración de aceites



Figura 8F. Almacenamiento de extractos



Figura 9F. Análisis antioxidante



Figura 10F. Resultados DPPH

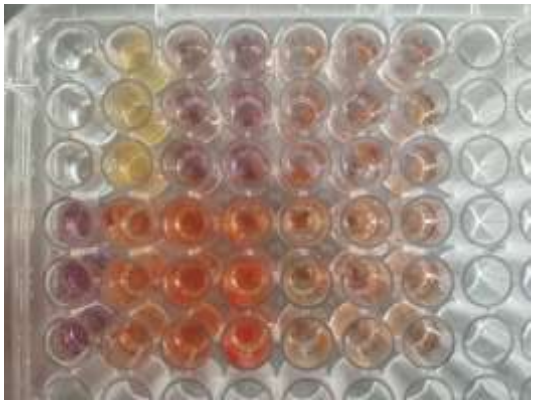


Figura 11F. Ensayo TLC





Anexo G. Tablas

Tabla 1G

Determinación del rendimiento de extracción de aceites a partir de ungurahua

	Soxhlet				**Propano subcrítico**			
Réplicas	m_{MP}	m_{Ex}	V	Y(%)	m_{MP}	m_{Ex}	V	Y(%)
1	23.4	5.75	6.61	24.57	30	8.75	10.06	29.17
2	23.4	5.87	6.75	25.09	30	7.91	9.09	26.37
3	23.4	5.27	6.06	22.52	30	7.89	9.07	26.30
Promedio	23.4	5.63	6.47	24.06±1.36	30	8.18	9.41	27.28±1.64

Nota. m_{MP}: masa de la materia prima (g). m_{Ex}: masa del extracto. V: volumen del extracto (mL). Y(%): rendimiento de extracción. El volumen de cada réplica se calculó utilizando una densidad de 0.87 g/mL.

Tabla 2G

Valores crudos de absorbancia y principales resultados del estudio DPPH

Réplica	Absorbancia	%Inhibición	C_{Trolox}	$TEq_{\cdot MP}$	$TEq_{\cdot Ex}$
Soxhlet 1	0.210 0.260 0.298	47.64	266.70	75.32	306.54
Soxhlet 2	0.216 0.241 0.288	49.58	277.68	80.06	319.16
Soxhlet 3	0.253 0.286 0.291	42.40	237.09	61.37	272.52
Promedio	-	46.53 ± 3.71	260.4 ± 21.0	72.25 ± 9.71	299.4 ± 24.1
Propano 1	0.188 0.210 0.208	61.32	344.04	115.30	395.45
Propano 2	0.220 0.250 0.247	51.94	291.05	88.20	334.53
Propano 3	0.238 0.208 0.229	55.49	311.10	94.04	357.58
Promedio	-	56.24 ± 4.73	315.3 ± 26.8	99.18 ± 14.2	362.5 ± 30.7
Blanco	0.444 ± 0.256				
Control	0.049 ± 0.003				

Nota. %Inhibición: porcentaje de inhibición de DPPH. C_{Trolox}: Concentración de Trolox en µmol L^{-1}. $TEq._{MP}$: capacidad antioxidante equivalente a Trolox en µmol g^{-1} materia prima. $TEq._{Ex}$: capacidad antioxidante equivalente a Trolox en µmol g^{-1} de extracto. Promedios presentados en forma de media ± desviación estándar.

Tabla 3G

Resultados de cromatografía en capa fina de las muestras de aceite.

Réplica	N° de mancha	Soxhlet			Propano subcrítico		
		D_c (cm)	D_{fm} (cm)	Rf	D_c (cm)	D_{fm} (cm)	Rf
1	1	0.9	5.8	0.16	0.8	5.8	0.14
	2	2.2	5.8	0.38	2.3	5.8	0.40
	3	2.5	5.8	0.43	2.4	5.8	0.41
	4	3.0	5.8	0.52	2.9	5.8	0.50
	5	5.5	5.8	0.95	5.6	5.8	0.97
2	1	0.8	5.8	0.14	0.8	5.8	0.14
	2	2.2	5.8	0.38	2.3	5.8	0.40
	3	2.5	5.8	0.43	2.6	5.8	0.45
	4	3.4	5.8	0.59	3.3	5.8	0.57
	5	5.6	5.8	0.97	5.7	5.8	0.98

Nota. D_c: distancia recorrida por el compuesto. D_{fm}: distancia recorrida por la fase móvil. Rf: factor de retención. Cromatografía realizada por dos réplicas por cada muestra de extracto de aceite.

Tabla 4G

Resultados de cromatografía en capa fina del aceite de oliva comercial.

N° de mancha	Soxhlet		
	D_c (cm)	D_{fm} (cm)	Rf
1	1.6	5.5	0.29
2	2.2	5.5	0.40
3	2.8	5.5	0.51
4	5.4	5.5	0.98

Nota. D_c: distancia recorrida por el compuesto. D_{fm}: distancia recorrida por la fase móvil. Rf: factor de retención.

Tabla 5D

Resumen completo ANOVA para el rendimiento de extracción de aceites vegetales.

Fuente	GL	SC	Cont. (%)	MC	Valor F	Valor T	Valor p
Muestra	1	15.533	63.22	15.533	6.88	- 2.62	0.059
Error	4	9.036	36.78	2.259			
Total	5	24.569	100.00				

Nota. Nivel de confianza 95%. Variable de respuesta: rendimiento de extracción (%). GL: grados de libertad. SC: suma de cuadrados. Cont.: porcentaje de contribución del efecto sobre la respuesta. MC: media de cuadrados. Valor F: valor F correspondiente al análisis estadístico ANOVA. Valor T: valor T correspondiente al análisis estadístico Tukey. Valor p: valor p correspondiente al valor T y valor F para ambos modelos.

Tabla 6D

Resumen completo ANOVA para la capacidad antioxidante de los extractos.

Fuente	GL	SC	Cont. (%)	MC	Valor F	Valor T	Valor p
Muestra	1	17923	35.30	17923	8.73	- 2.95	0.009
Error	16	32851	64.70	2053			
Total	17	50774	100.00				

Nota. Nivel de confianza 95%. Variable de respuesta: $TEq._{Ex}$ (µmol Trolox g^{-1} de extracto). GL: grados de libertad. SC: suma de cuadrados. Cont.: porcentaje de contribución del efecto sobre la respuesta. MC: media de cuadrados. Valor F: valor F correspondiente al análisis estadístico ANOVA. Valor T: valor T correspondiente al análisis estadístico Tukey. Valor p: valor p correspondiente al valor T y valor F para ambos modelos.