

UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZÓNICA DE MADRE DE DIOS
FACULTAD DE INGENIERIA
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



TESIS

“Extracción de aceite de aguaje (*Mauritia flexuosa L.*), empleando dióxido de carbono supercrítico a diferentes condiciones y su efecto en el rendimiento de extracción y composición de ácidos grasos”.

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL
DE INGENIERO AGROINDUSTRIAL.**

AUTORES:

Bach. TORRES YALLI, Edgar.
Bach. GARCIA ARO, Dina.

ASESOR: M.Sc. MEGO MEGO, Virne.

CO-ASESOR: *Ph.D.* CHAÑI PAUCAR.
Larry Oscar

PUERTO MALDONADO – PERÚ

2022

UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZÓNICA DE MADRE DE DIOS
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



TESIS

“Extracción de aceite de aguaje (*Mauritia flexuosa* L.), empleando dióxido de carbono supercrítico a diferentes condiciones y su efecto en el rendimiento de extracción y composición de ácidos grasos”.

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL
DE INGENIERO AGROINDUSTRIAL.**

AUTORES:

Bach. TORRES YALLI, Edgar.
Bach. GARCIA ARO, Dina.

ASESOR: M.Sc MEGO MEGO, Virne.

CO-ASESOR: Ph.D. CHAÑI PAUCAR, Larry
Oscar

PUERTO MALDONADO – PERÚ

2022

DEDICATORIA

Mi trabajo de tesis me lo Dedico a mí mismo por mi gran esfuerzo y sacrificio que le puse en la vida universitaria.

A mis padres Edison Edgar y Eusebia por darme el mejor regalo, que es mi existir y de ser varón, y por darme educación y los deseos de superación. Nunca los defraude di los primeros pasos y ejemplos a seguir a mis hermanos.

A mi amada esposa Dina, leal compañera en la vida universitaria y seguiremos siempre juntos por nuestro amor y por nuestro pequeño hijo Andrenwh Zaycd, esposa mía a tu lado los retos parecen más sencillos de cumplir. No temeré los obstáculos del futuro si lo enfrentamos juntos.

EDGAR TORRES

El presente trabajo de tesis se lo dedico a Dios, por darme vida, salud y a mi hermoso hijo Andrew Zaycd, por darme mucha fuerza y alegría en mis momentos difíciles de la vida. A mis queridos padres Juana Paola y Edilberto Por inculcarme respeto y valores. Queridos padres los amo mucho.

A mi compañero y amigo Edgar Torres por darme su apoyo incondicional siendo mi soporte y aliento para no rendirme en mis metas propuestas.

DINA GARCIA

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradecer a Dios por guiarnos en toda nuestra vida por darnos fuerzas para seguir adelante en los momentos más difíciles y dolorosos de nuestras vidas

A todos los docentes de la carrera profesional de Ingeniería Agroindustrial de la UNAMAD quienes nos brindaron sus conocimientos hacia nuestras personas.

A nuestro Asesor el M.Sc. Virne Mego Mego, por su asesoramiento y apoyo en el desarrollo de la tesis.

A nuestro Co-Asesor, el Ph.D. Larry Oscar Chañi Paucar, por su asesoramiento y acertadas observaciones y recomendaciones que nos ayudaron a encaminar nuestro trabajo de investigación.

A los miembros del jurado, conformado por M.Sc. Raúl Huamán Cruz, M.Sc Pedro Saúl Montalván Apolaya, M.Sc Hector Quispe Solis M.Sc Jesús Efrain Humpire Castillo.

TURNITIN_EDGAR TORRES Y DINA GARCIA

INFORME DE ORIGINALIDAD

15%

INDICE DE SIMILITUD

15%

FUENTES DE INTERNET

5%

PUBLICACIONES

3%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.unamad.edu.pe Fuente de Internet	3%
2	1library.co Fuente de Internet	2%
3	hdl.handle.net Fuente de Internet	2%
4	repositoriodigital.uns.edu.ar Fuente de Internet	1%
5	repositorio.unh.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	bibliotecadigital.univalle.edu.co Fuente de Internet	<1%
7	bdigital.unal.edu.co Fuente de Internet	<1%
8	repositorio.untumbes.edu.pe Fuente de Internet	<1%
9	Submitted to Universitat Politècnica de València	<1%

PRESENTACIÓN

El presente trabajo de investigación hemos evaluado la extracción supercrítica de aceite de la Pulpa de Aguaje (*Mauritia flexuosa* L.) empleando dióxido de carbono. Las extracciones se realizaron a escala de laboratorio a diferentes condiciones de presión y temperatura. Se realizó un escalamiento del proceso de extracción de 25ml hasta 1 L, en las mejores condiciones de extracción. Las extracciones se evaluaron en función al rendimiento global de extracción y la composición de ácidos grasos.

El trabajo de tesis se divide en cuatro capítulos, desarrollados y estructurados como se detalla a continuación:

Capítulo I: Se muestra el planteamiento del problema, los objetivos del estudio, las variables estudiadas, la formulación de las hipótesis, la justificación del estudio y finalmente las consideraciones éticas.

Capítulo II: En este capítulo, se desarrolla los aspectos teóricos que fundamente el estudio, tomando como referencia reportes científicos actualizados de revistas especializadas de los últimos años.

Capítulo III: En este capítulo se muestra las técnicas y metodologías empleadas en el presente estudio, las cuales se describen detalladamente.

Capítulo IV: Finalmente, en este capítulo se muestran los resultados del estudio, los cuales se discuten con la bibliografía más reciente disponible.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo evaluar la extracción del aceite de aguaje (*Mauritia flexuosa* L.) con CO₂ en condiciones supercríticas para la extracción del aceite de aguaje, así mismo, se evaluó el efecto en el perfil de ácidos grasos. Los experimentos de extracción se realizaron a dos presiones y dos temperaturas, siguiendo un delineamiento experimental factorial 2x2. El perfil de ácidos grasos se determinó por cromatografía gaseosa. Los resultados muestran que tanto la temperatura y la presión, tienen efecto en el rendimiento de extracción, siendo la mejor condición 400 bar y 60 °C. La cinética de extracción de aceite de aguaje bajo las mejores condiciones de extracción fue modelada adecuadamente con el modelo empírico *Spline* de tres líneas rectas, consiguiéndose identificar tres periodos de extracción. El perfil de ácidos grasos no varió por efecto de las condiciones de extracción, fue posible identificar siete ácidos grasos, clasificados como monoinsaturados (palmitoleico y oleico), saturados (palmítico, esteárico y araquídico) y poliinsaturados (linoleico y linolénico). En conclusión, la extracción de aceite de aguaje empleando CO₂ Supercrítico es promisorio para el desarrollo de la industria de bioactivos.

Palabras claves: *Mauritia flexuosa*, extracción supercrítica, aceite comestible, bioactivos, ácidos grasos.

SUMMARY

The present research work aims to evaluate the extraction of Aguaje oil (*Mauritia flexuosa* L.) with CO₂ under supercritical conditions for the extraction of aguaje oil, likewise, the effect on the fatty acid profile was evaluated. The extraction experiments were carried out at two pressures and two temperatures, following a 2x2 factorial experimental design. The fatty acid profile was determined by gas chromatography. The results show that both the temperature and the pressure have an effect on the extraction yield, the best condition being 400 bar and 60 °C. The extraction kinetics of Aguaje oil under the best extraction conditions was adequately modeled with the empirical Spline model of three straight lines, managing to identify three extraction periods. The fatty acid profile did not change due to the extraction conditions, it was possible to identify seven fatty acids, classified as monounsaturated (palmitoleic and oleic), saturated (palmitic, stearic and arachidic) and polyunsaturated (linoleic and linolenic). In conclusion, the extraction of Aguaje oil using supercritical CO₂ is promising for the development of the bioactive industry.

Keywords: *Mauritia flexuosa*, supercritical extraction, edible oil, bioactive, fatty acids.

INTRODUCCION

El aguaje (*Mauritia flexuosa* L.) contiene ácidos grasos presentes en la fracción lipídica de la pulpa del fruto, con un contenido de aproximadamente de 18%, caracterizado por la presencia de los ácidos grasos omega 9, 7, 6 y 3 (Jacobo et al., 2009).

Los ácidos grasos poliinsaturados presentan diferentes propiedades bioactivas, en diversos estudios muestran que tienen capacidad para prevenir y tratar dolencias de diferentes tipos, como cáncer, afecciones a las articulaciones, entre otros que tienen pudiendo prevenir diferentes enfermedades, tales como el cáncer, afecciones cardiovasculares, trastornos psicológicos, entre otros. El consumo de los ácidos grasos poliinsaturados son necesarios para mantener una buena salud (Engler, 1992; Siscovick et al., 2017). Este aceite de aguaje es 100% natural de la selva peruana donde esta palmera no recibe ningún tipo de fertilizantes ni químicos es una planta que vive en aguas estancada o manantiales ríos quebradas por eso en una fuente natural para las industrias.

El presente estudio pretende estudiar la extracción, del aceite de aguaje mediante la tecnología de extracción con fluidos supercríticos utilizando CO₂ en estado supercrítico como solvente verde. Para identificar los componentes activos de interés en la industria farmacéutica, como los ácidos grasos.

En ese contexto, la tecnología de extracción supercrítica se presenta como una buena alternativa para la extracción de lípidos de diversas materias primas oleaginosas.

Entre los fluidos supercríticos usados para la extracción de compuestos lipídicos, el dióxido de carbono se destaca por ser considerado como un solvente inerte y amigable con el medio ambiente, con frecuencia son realizados estudios para determinar las condiciones adecuadas de presión y temperatura de extracción, estas dos variables pueden influenciar en la calidad en términos de composición (perfil de ácidos grasos) y rendimiento de extracción global (Darnet et al., 2011). La presente investigación tiene por objetivo promover más estudios para el aprovechamiento más diversificado de los recursos frutícolas de la amazonia en especial de los frutos de Aguaje.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	7
1.1 Descripción del Problema	7
1.2. Formulación del Problema	8
1.3. Objetivos	8
1.3.1. Objetivo General	8
1.3.2. Objetivo Específicos	9
1.4. Variables	9
1.6. Hipótesis	10
1.6.1. Hipótesis General	10
1.6.2. Hipótesis Específica.....	10
1.7. Justificación.....	11
1.8. Consideraciones Éticas.....	11
2.1. Antecedentes de Estudio	12
2.2 Marco Teórico	15
2.2.1 El aguaje (<i>Mauritia flexuosa</i> L).....	15
2.2.2. Características físicas del fruto del aguaje.	20
2.2.3 Composición físico-químico del fruto Aguaje (<i>M. flexuosa</i>)	20
2.2.4. Perfil de ácidos grasos del aceite de Aguaje.	20
2.2.5 Beneficios nutricionales de los ácidos grasos esenciales.....	21
2.2.6 Usos potenciales del aceite de aguaje.	22
2.2.7 Fluido supercrítico (SFE).	22
2.2.8 Extracción de aceite por fluido supercrítico (SFE).	23
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN.....	25
3.1. Tipo de Estudio	25
3.2. Diseño del Estudio	25
3.3. Población y Muestra.....	27
3.4. Métodos y Técnicas	28
3.4.1. Materiales y equipos.....	28
3.4.2. Métodos.....	30
3.4.3. Metodología experimental	30
3.5. Tratamiento de los datos.....	39
CAPÍTULO IV: RESULTADOS DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN	40
4.1. Colecta y preparación de la materia prima.....	40
4.2. SFE de aceite de Aguaje.....	41

4.3. Cinética de extracción	46
4.4. Composición de ácidos grasos	47
CONCLUSIONES.....	51
SUGERENCIAS	52
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	53
ANEXOS	58

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operación de la variable de estudio.....	9
Tabla 2. Composición porcentual del fruto de Aguaje presentada por varios autores.	20
Tabla 3. Perfil de ácidos grasos del aceite del fruto de <i>M. flexuosa</i>	21
Tabla 4. Propiedades termodinámicas del CO ₂	23
Tabla 5. Propiedades críticas de algunos compuestos puros.....	24
Tabla 6. Diseño experimental y tratamientos.	25
Tabla 7. Diseño experimental y tratamientos (Datos Obtenidos).....	25
Tabla 8. ANOVA.....	26
Tabla 9. Comparación de medias por la prueba de <i>Bonferroni</i>	26
Tabla 10. Coordenadas UTM. Datum wgs84.....	27
Tabla 11. Perfil de ácidos grasos del aceite de Aguaje obtenido en dos tiempos de extracción a 400 bar y 60°C.....	49
Tabla 12. Perfil de ácidos grasos del aceite de Aguaje obtenido en dos tiempos de extracción a 400 bar y 60°C.....	50

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Técnica de cosecha de los frutos de Aguaje	17
Figura 2. Variedades de Aguaje. (A) Amarillo, (B) Shambo y (C) Rojiza.....	18
Figura 3. Corte longitudinal del fruto de Aguaje (<i>M. flexuosa</i> L.).....	19
Figura 4. Equipo de extracción supercrítico escala laboratorio Spe-ed.....	28
Figura 5. Equipo de extracción supercrítico escala piloto 1L.....	29
Figura 6. Diagrama de operaciones del secado de la pulpa de Aguaje (<i>M. flexuosa</i> L.).....	31
Figura 7. Variabilidad del tamaño de los frutos colectados.	32
Figura 8. Frutos maduros de aguaje.....	33
Figura 9. Empacado y pesado de la pulpa de Aguaje antes del congelado. ...	34
Figura 10. Preparación de la pulpa para el secado en estufa.	35
Figura 11. Secado de la pulpa con circulación de aire caliente a 40 °C.	35
Figura 12. Empacado y pesado de la pulpa de Aguaje seco.....	36
Figura 13. Diagrama de operaciones de la extracción supercrítica de aceite de Aguaje.....	37
Figura 14. Acopio de los frutos.	40
Figura 15. Aceite de Aguaje y torta SFE.	41
Figura 16. Esquema grafico del equipo de extracción escala laboratorio (Speed).	43
Figura 17. Esquema grafico del equipo de extracción escala piloto 1L.	45
Figura 18. Fracciones de aceite de aguaje obtenido a 4,79 (T_{CER}) y 38,99 (T_{FER}) min, a 400 bar y 60 °C.	46
Figura 19. Cromatografía del aceite obtenido a 400 bar y 60°C.....	48

CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Descripción del Problema

En la actualidad se emplean varios métodos de extracción de aceites, entre los más empleados en la industria están los métodos de prensado discontinuo, continuo y extracción con solventes (hexano, éter de petróleo, acetona, etanol, otros). Los métodos de extracción mecánica se pueden clasificar en dos tipos, extracción por prensado en frío y en extracción por caliente. El prensado en frío generalmente presenta bajo rendimiento de extracción, pero debido a la temperatura de extracción es posible obtener aceites y/o grasas de buena calidad. El prensado continuo permite obtener un mejor rendimiento de extracción que el prensado en frío, pero con un incremento de temperatura del proceso se alcanza en el proceso de extracción contribuye con la degradación de los componentes termo sensibles (ácidos grasos insaturados, poliinsaturados, tocoferoles, antioxidantes, Fito esteroides, entre otros compuestos lipídicos) presentes en el aceite y/o grasas.

La extracción empleando solventes orgánicos presenta alto rendimiento, inclusive es superior al obtenido por extracción mecánica y se puede realizar a bajas temperaturas promoviendo la conservación de las propiedades nutricionales de los aceites y/o grasas, pero presenta limitaciones para su uso en la elaboración de alimentos, fármacos y cosméticos, debido principalmente por la toxicidad de los solventes orgánicos. En ese escenario, la tecnología de extracción supercrítica se muestra como una buena opción para la obtención de lípidos de diversas materias primas oleaginosas (França et al., 1999).

Entre los fluidos supercríticos usados para la obtención de compuestos lipídicos, el dióxido de carbono se destaca por ser considerado como un solvente inerte y amigable con el medio ambiente, con frecuencia son realizados estudios para optimizar el proceso de extracción enfocados en la presión y temperatura, estas dos variables pueden influenciar en la calidad del aceite en términos de composición (perfil de ácidos grasos) y rendimiento de extracción global (França et al., 1999; Morillo et al., 2010).

Una característica importante del empleo del dióxido de carbono en estado supercrítico es la facilidad con la que se puede eliminar del extracto lipídico después de la extracción, esto se realiza reduciendo la presión hasta la presión ambiental en la que el CO₂ es un gas (Velasco et al., 2007). De la misma manera produce aceite de alta calidad (Morillo et al., 2010).

Madre de Dios es uno de los Departamentos del Perú que produce Aguaje (*M. flexuosa* L.), que en gran proporción son comercializadas para consumo local con mínimo de procesamiento. La pulpa del fruto maduro presenta un alto contenido de compuestos bioactivos de naturaleza lipídica (Jacobo et al., 2009). Los ácidos grasos presentan diversas potentes propiedades biológicas, con potencial para tratar afecciones cardiovasculares (Engler, 1992; Siscovick et al., 2017), a las articulaciones, psicológicas y dolencias inflamatorias (Asif, 2011). El aceite de la pulpa de Aguaje es una fuente potencial de ácidos grasos esenciales para la industria de alimentos, farmacología y cosmética, para promover su utilización por estas industrias se hace necesario estudiar la mejor condición de extracción, empleando CO₂ en estado supercrítico con la finalidad de obtener un alto rendimiento de extracción y buena calidad del aceite.

1.2. Formulación del Problema

El presente trabajo de investigación se realiza con la siguiente interrogante:

¿Qué efecto tiene la temperatura y presión, en la extracción de aceite de la pulpa de aguaje (*Mauritia flexuosa* L.) y su composición de ácidos grasos, empleando dióxido de carbono supercrítico?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

- ❖ Evaluar el rendimiento de extracción de aceite de la pulpa de Aguaje (*Mauritia flexuosa* L.) y su perfil en ácidos grasos, empleando CO₂ supercrítico.

1.3.2. Objetivo Específicos

- ❖ Determinar la mejor presión y temperatura del proceso de extracción supercrítico del CO₂ para la obtención de aceite de aguaje (*M. flexuosa*).
- ❖ Determinar los periodos de extracción supercrítico (CER, FER y DC) a partir del modelamiento de la curva cinética global.
- ❖ Determinar y explicar el comportamiento de la composición de ácidos grasos del aceite de la pulpa de Aguaje (*M. flexuosa*) obtenido por CO₂ supercrítico.

1.4. Variables

❖ Variables Independientes:

- ❖ **V1:** Temperatura 40 y 60°C.
- ❖ **V2:** Presión 200 y 400bar

❖ Variables Dependientes:

- ❖ **VD1:** Rendimiento global (%).
- ❖ **VD2:** Perfil de ácidos grasos (%).
(Ácidos grasos saturados, insaturados y poliinsaturados).

Tabla 1. Operación de la variable de estudio.

	Variables teóricas	Sub variables o sub dimensiones	Indicadores	Unidad de medida
Variable independiente	Temperatura de extracción	40 y 60 °C	Temperatura	°C
	Presión de extracción	200 y 400	Presión	Bar
Variable dependiente	Rendimiento global	Aceite obtenido con fluido supercrítico	Peso	Porcentaje (g/g)
	Perfil de ácidos grasos	ω -9, ω -7, ω -6 y ω -3	$\Sigma\omega$ -9, $\Sigma\omega$ -7, $\Sigma\omega$ -6 y $\Sigma\omega$ -3	Porcentaje de ácido graso (%).

1.6. Hipótesis

1.6.1. Hipótesis General

H₁: La presión y temperatura del dióxido de carbono supercrítico empleado en la extracción de aceite de aguaje (*M. flexuosa*.) influye en el rendimiento de extracción y el perfil de ácidos grasos del aceite.

H₀: La presión y temperatura del dióxido de carbono supercrítico empleado en la extracción de aceite de aguaje (*M. flexuosa*.) no influye en el rendimiento de extracción y el perfil de ácidos grasos del aceite.

1.6.2. Hipótesis Específica

H₁: Las diferentes condiciones de temperatura y presión del dióxido de carbono en estado supercrítico influyen significativamente en el rendimiento de extracción de aceite de aguaje.

H₀: Las diferentes condiciones de temperatura y presión del dióxido de carbono en estado supercrítico no influyen significativamente en el rendimiento de extracción de aceite de aguaje.

H₁: El modelo matemático Spline describe adecuadamente la variación de los datos experimentales de la cinética de extracción de aceite de la pulpa de aguaje a un nivel de confianza del 95%.

H₀: El modelo matemático Spline no describe adecuadamente la variación de los datos experimentales de la cinética de extracción de aceite de la pulpa de aguaje a un nivel de confianza del 95%.

H₁: La temperatura y presión de extracción de aceite de aguaje empleando dióxido de carbono supercrítico influye significativamente en el perfil de ácidos grasos.

H₀: La temperatura y presión de extracción de aceite de aguaje empleando dióxido de carbono supercrítico no tiene efecto significativo en el perfil de ácidos grasos.

1.7. Justificación

Los métodos de extracción convencionales para diversas materias primas oleaginosas son diversos, sin embargo, no se obtiene un buen rendimiento, degrada sus compuestos termo sensibles en la extracción y en otros no se pueden utilizar para fines alimenticios.

Por consiguiente, la presente investigación busca establecer los parámetros para el proceso de obtención de aguaje empleando dióxido de carbono supercrítico y determinar el perfil de ácido grasos, ya que este método de extracción es considerado eficiente, emergente y amigable con el medio ambiente. En este contexto el presente estudio de investigación se justifica basada en la importancia de los resultados que contribuirán a identificar y evaluar las condiciones de extracción del aceite de aguaje empleando dióxido de carbono supercrítico y su efecto en el perfil de ácidos grasos del aguaje (*M. flexuosa*).

En lo tecnológico se va optimizar un proceso, es decir vamos a encontrar parámetros óptimos para la obtención de aceite de Aguaje por SFE, con esto se pretende promover la industria de bioactivos que aplique esta tecnología en procesos de extracción de compuestos bioactivos de especies nativas de Madre de Dios.

Desde una perspectiva económica, el presente estudio promueve la industrialización de la pulpa de Aguaje, lo que puede repercutir en una mayor demanda de este fruto, por tanto, una mejor valorización del fruto para los productores y/o recolectores de Madre de Dios, permitiendo incrementar sus ingresos con futuras ventas a empresarios interesados que saquen sub productos a base de aceite de aguaje.

1.8. Consideraciones Éticas

El estudio se desarrolla utilizando compuestos que no causaran ningún perjuicio a la flora y fauna, ya que es un compuesto amigable con el medio ambiente para la extracción de aceite de aguaje como es el CO₂.

CAPITULO II: MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes de Estudio

Existen estudios limitados de extracción de aceite de aguaje (*M. flexuosa* L.) empleando dióxido de carbono supercrítico a diferentes condiciones de presión temperatura y su efecto en el rendimiento de extracción y composición de ácidos grasos, por otra parte, en la literatura académica están disponibles diversos estudios con otros frutos exóticos de la amazonia.

França et al. (1999), estudiaron la extracción del aceite del aguaje con CO₂ supercrítico para la obtención de aceite rico en carotenoides y vitaminas. La materia prima consistía en una mezcla de pulpa y cáscara que se raspó de la fruta inmadura. El aceite extraído se analizó mediante cromatografía de gases y espectrofotometría, y los resultados se compararon con los obtenidos mediante extracción con hexano como disolvente. El aceite extraído con hexano mostró un contenido de aproximadamente 1% de caroteno. La extracción con CO₂ Supercrítico fue capaz de separar aproximadamente el 80% del contenido inicial de caroteno. Los experimentos de extracción se dieron entre 200 – 300bar y 313 – 328K. Las curvas cinéticas de extracción mostraron típicamente tres regiones que describen la extracción supercrítica de bioactivos naturales, es decir, inicialmente una característica línea recta correspondiente al período de extracción con velocidad constante, seguido por el período de velocidad descendente, y finalizando con el período de velocidad de difusión. Los datos experimentales se correlacionaron utilizando el modelo propuesto por Sovová. El modelo mostró buena concordancia con los datos experimentales. Los coeficientes de transferencia de masa obtenidos ajustando los datos experimentales al modelo describieron adecuadamente el proceso de extracción. Los valores de solubilidad calculados están dentro del rango para los aceites vegetales comunes.

Morillo et al. (2010), optimizaron la extracción supercrítica de aceite de palma empleando la metodología de superficie de respuestas, evaluándose el caudal, temperatura y presión. Los resultados de este estudio muestran que el mayor rendimiento (88%) se obtienen a 50°C, 300bar y 4,2 l CO₂/min. El modelamiento

matemático empleando la metodología de superficie de respuestas mostró que el modelo lineal no ajustó adecuadamente los datos experimentales, requiriéndose un modelo más complejo, empleándose un modelo de segundo orden. Por tanto, se aplicó el modelo cuadrático que describió adecuadamente el comportamiento de los datos experimentales.

Barriga-Sánchez et al. (2018), optimizaron el proceso de extracción supercrítico de aceite de semillas de uva (*Vitis vinifera*) de la variedad Quebranta. Se estudiaron tres variables independientes, la presión, temperatura y caudal del solvente, empleando la metodología de superficie de respuesta (MSR) se modelaron las variables respuestas, el rendimiento global, peróxido y la concentración de anisidina. Antes de los experimentos de extracción, las semillas se sometieron a reducción de tamaño de partículas para aumentar el área de transferencia de masa. Los niveles de cada variable independiente se establecieron según el diseño experimental de acuerdo a la MSR. Adicionalmente, se caracterizó el perfil de ácidos grasos y la capacidad antioxidante por el método DPPH. Los resultados de los análisis del aceite obtenido por SFE se compararon con las obtenidas por un método convencional con hexano. El análisis por MSR permitió observar que la presión, temperatura y el caudal del solvente tuvieron efecto significativo sobre el rendimiento global de aceite, peróxido y el contenido de Anisidina. Los resultados de este estudio son interesantes para el aprovechamiento integral de los residuos de la industria del procesamiento de las uvas, debido a que el aceite de las semillas de uva contiene ácidos grasos insaturados (linolénico y oleico) en mayor proporción.

Dorado et al. (2016), condujeron un estudio para evaluar el efecto de la presión (200 – 350bar) y temperatura (313 – 333K), en el rendimiento de extracción de aceite a partir de las semillas de guanábana. En este estudio se emplearon un caudal del solvente de 30g/min y 150min de extracción dinámica, ambas constantes para todas las condiciones de extracción. Los experimentos siguieron un diseño compuesto central y se analizaron por la metodología de superficie de respuestas, las variables independientes se evaluaron en función del rendimiento de extracción, la composición de ácidos grasos y el contenido de esteroides. La variación de la presión de extracción del dióxido de carbono

supercrítico afecto el rendimiento de extracción de aceite, encontrándose como mayor rendimiento de extracción 12,9%. Los principales ácidos grasos del aceite de las semillas de guanábana fueron oleico, palmítico y linoleico. Otros ácidos grasos fueron cuantificados en menor concentración; esteárico, palmitoleico, linolénico y dodecanoico. Adicionalmente, se identificó la presencia de tres fitoesteros (campesterol, estigmasterol y β -sitosterol). El aceite obtenido en el presente estudio tiene la calidad para ser utilizado con un ingrediente natural para la elaboración de diversos productos.

Pantoja-Chamorro et al. (2017), evaluaron diferentes condiciones de extracción con dióxido de carbono supercrítico para la obtención de aceite de semillas de mora (*Rubus glaucus*). La temperatura y presión de extracción fueron evaluadas en el proceso de extracción para determinar su efecto en el rendimiento de extracción global, composición de bioactivos y capacidad antioxidante. Los compuestos bioactivos se analizaron por cromatografía de gases y su capacidad antioxidante empleando el radical ABTS. De acuerdo con los resultados fue posible obtener un rendimiento de 14,5% a 35 MPa y 60°C, estas condiciones fueron consideradas por los investigadores como las mejores condiciones de operación. El resultado de los análisis muestra que el aceite de las semillas obtenidas presenta un 96% de ácidos grasos insaturados, siendo el linoleico el de mayor concentración, alcanzando aproximadamente 62%. Asimismo, el aceite muestra la presencia de otros compuestos liposolubles (β -sitosterol, 24-metil-cicloartanol, α -tocoferol, γ -tocoferol y δ -tocoferol). El aceite obtenido muestra una capacidad antioxidante interesante para aplicaciones en la elaboración de productos funcionales.

Nivia et al. (2007), evaluaron la extracción supercrítica de semillas de guayaba a temperatura constante (40°C), variando la presión de 17 hasta 31MPa. De acuerdo con los resultados obtenidos, la mejor presión de extracción fue de 31 MPa, obteniéndose un rendimiento de 140,6 mg/100g. El extracto se analizó por cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (CG-EM), previamente el extracto fue derivatizado por metilación. Los resultados muestran la presencia de ésteres metílicos de tres ácidos grasos, siendo el de mayor concentración un ácido graso poliinsaturado (linoleico).

Pasquel et al. (2002), estudiaron la cascara, pulpa y semilla del pijuayo (*Bactris gasipaes*) para la extracción de aceite con CO₂ presurizado a diferentes temperaturas, presiones (65 y 80bar), tamaño de partícula y tiempo estático de extracción. Los resultados del estudio muestran que apenas la temperatura tuvo efecto sobre el rendimiento de extracción y ácidos grasos. Para asegurar la calidad del aceite en términos de ácidos grasos insaturados, la temperatura de extracción debe fijarse a 20°C para evitar que los ácidos grasos insaturados desaparezcan, bajo estas condiciones se observó un 10% de ácidos grasos saturados. La calidad del aceite obtenido se puede comparar a aceites comerciales.

Cerón et al. (2016), estudiaron el efecto de la presión (200 – 350bar) y temperatura (40 – 60°C) en la rendimiento y composición del aceite de guayaba. Los experimentos se realizaron con un flujo del solvente (30g CO₂/min) y tiempo dinámico de extracción (150min) constante. El perfil de ácidos grasos se determinó empleando CG-FID. El mayor rendimiento global de extracción obtenido fue de 14%, este rendimiento se consiguió a 52°C y 350bar. Se identificaron ácidos grasos saturados (palmítico y esteárico) e insaturados (linoleico y oleico). La presión de extracción, en el rango estudiado tuvo efecto significativo en el contenido del ácido palmítico, observándose que disminuye con el incremento de la presión. En conclusión, la extracción de aceite de las semillas de guayaba con CO₂ supercrítico es una buena alternativa para la producción de aceite eficiente y libre de solvente orgánicos, con características para uso en la elaboración de productos funcionales.

2.2 Marco Teórico

2.2.1 El aguaje (*Mauritia flexuosa* L).

- a. **Clasificación Taxonómica:** La categoría taxonómica de la palmera Aguaje se define de la siguiente forma (GBIF, 2021):

División: Fanerógamas

Clase: Monocotiledónea

Subclase: Liliopsida

Orden: Arecales

Familia: Arecaceae

Sub Familia: Calamaoideae

Tribu: Lepidocaryeae

Género: *Mauritia*

Especie: *Flexuosa*

Nombre científico: *Mauritia flexuosa* L.

b. Nombres comunes.

La palmera Aguaje es conocido en varios países de la región Amazónica, en los cuales se les dan varios nombres comunes: en Perú se le conoce como Aguaje, en Bolivia como Caranday-guazu y ideuú, en Brasil como Buriti, burití-do-brejo, miriti y buritirana, en Colombia como Canangucha, moriche, aguaje y mirití, en Venezuela como Moriche (GBIF, 2021).

c. Descripción botánica

La palmera Aguaje es dioica, es decir, que puede producir flores masculinas, femeninas o ambas, en el dosel del bosque puede alcanzar aproximadamente 35 m. El Aguaje tiene una producción irregular de frutos a lo largo del año, su hazienda donde se desarrolla adecuadamente comprende suelos inundables. En la Figura 3 se puede observar el fruto de Aguaje, tiene una forma elipsoide, con una longitud que varía de 5 a 7cm y un diámetro que varía de 4 a 5cm. El fruto pesa aproximadamente entre 40 a 80g, su cascara (epicarpio) está constituida por pequeñas escamas que recubren todo el fruto, con una coloración que va de un color pardo oscuro a rojo oscuro. La pulpa (mesocarpio) del fruto varia en su

coloración dependiendo de la variedad (Figura 2), pudiendo ser amarillo y anaranjado rojizo, esta coloración varía dependiendo de la concentración de carotenoides presentes en la fracción lipídica del mesocarpio. La pulpa recubre al endocarpio, variando de espesor desde 4 a 6mm (Rojas-Ruiz et al., 2001). La palmera de Aguaje tiene hojas palmadas, las que se encuentran en la parte inferior colgando son secas, las que se encuentran en la parte central e inclinadas son las hojas nuevas verdes (Salazar, 1967).



Figura 1. Técnica de cosecha de los frutos de Aguaje

d. Variedades

Díaz-Mamani, (2018) mencionan que la palmera y el fruto de Aguaje presentan variaciones fenotípicas. El aguaje presenta las siguientes variedades:

- **Amarillo o “posheco”:** El fruto de esta variedad presenta una pulpa amarillenta (Figura 2 A). Sus características sensoriales han generado buena aceptación por los consumidores, asimismo, es usado para la elaboración de diferentes productos.

- **“Shambo”**: Esta variedad presenta una pulpa rojiza-anaranjada, al igual que las otras variedades también es consumida directamente inmadura. La pulpa de esta variedad no se recomienda para la elaboración de productos debido a la coloración oscura que puede desarrollar en el proceso.
- **“Rojizo”**: Es variedad tiene la peculiaridad de que la pulpa superficialmente es de color rojiza, siendo internamente de color amarillenta.



Figura 2. Variedades de Aguaje. (A) Amarillo, (B) Shambo y (C) Rojiza.

Fuente: NAVARRO (2010).

e. El fruto de Aguaje

En la Figura 3 se puede observar un corte longitudinal del fruto, se considera una drupa ovoide que tiene una longitud que varía de 4 – 5cm. La cáscara o epicarpio (cascara) tiene un aspecto escamoso y marrón oscuro. El mesocarpio o pulpa de color que varía de amarillo a rojizo de sabor agridulce, con un espesor que varía de 4 – 6mm. La pulpa es separada de la semillas por una película o endocarpio, que presenta una coloración blanquecina (Rojas-Ruiz et al., 2001).

Los frutos de Aguaje se desprenden del peciolo al alcanzar la madurez fisiológica, aunque la pulpa este firmemente adherida a la endocarpio y pericarpio. Para el consumo *in natura* y/o el procesamiento, se somete a un tratamiento térmico que permite que la pulpa se reblandezca haciendo posible retirar fácilmente la pulpa con los dedos. El despulpado puede realizarse de forma manual o mecánica, por lo general la pulpa se retira con la cáscara (García & Reátegui, 2002).

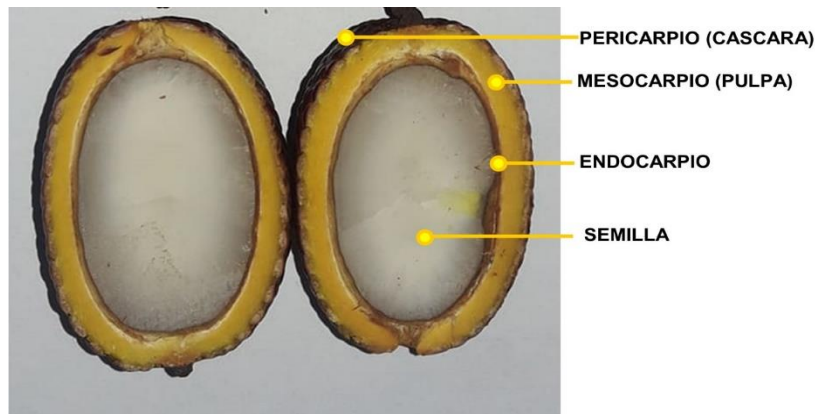


Figura 3. Corte longitudinal del fruto de Aguaje (*M. flexuosa* L.).

f. Inflorescencia.

La palmera Aguaje es dioica, esto quiere decir que existen palmeras femeninas y masculinas. Las inflorescencias de las palmeras femeninas varían en cantidad, pudiendo variar de 2 – 8. Cada inflorescencia puede llegar a producir en promedio 40Kg de frutos. (Rojas-Ruiz et al., 2001).

g. Sexo.

El sistema sexual de esta especie no está bien definida, si es totalmente dioica o no, no presentan características de diferenciación aparente hasta la época de la floración (Rojas-Ruiz et al., 2001).

h. Tallo.

La palmera presenta un tallo cilíndrico con un diámetro aproximado de 50cm, está constituido por un material fibroso (Gonzales-Coral et al., 2006).

❖ Ecología.

El Aguaje puede crecer en habitas que van desde tierras inundables ya sea permanentemente o estacionalmente, zonas de suelos firmes y arenosos. Esta palmera tiene la capacidad de crecer con sus raíces sumergidas en terrenos inundables, debido a que poseen raíces neumatóforos, que contribuyen a la conservación del recurso hídrico en zonas con estaciones marcadas (Trujillo - Gonzalez et al., 2011).

❖ Cosecha y producción

La producción de frutos inicia aproximadamente a los 8 años, continuando por muchos años, disminuyendo a los 40 años. Las palmeras puede producir de 5 a 8 inflorescencias, cada influencia puede producir 724 frutos, por tanto, aproximadamente un palmera puede producir más de 5 mil frutos, con un peso estimado total de 290Kg (Pretell, 2018). En contraste, en un estudio realizado por Rojas (1985), encontró que las palmeras producían en promedio 3 inflorescencias, cada inflorescencia producido 16Kg con un máximo de 51Kg, contabilizando entre 333 a 980 frutos.

2.2.2. Características físicas del fruto del aguaje.

Tabla 2. Composición porcentual del fruto de Aguaje presentada por varios autores.

Fracción	Rojas (2000)	(Ingunza-Reyes, 2009)
Cascara (%)	18,29	19,78
Pulpa (%)	33,67	19,73
Endocarpio (%)	-	7,78
Semilla (%)	48,08	52,71

2.2.3 Composición físico-químico del fruto Aguaje (*M. flexuosa*)

La pulpa de Aguaje contiene micronutrientes y macronutrientes, entre los micronutrientes están los carotenoides, vitamina E, vitamina C, compuestos fenólicos, luteína, tocoferoles, flavonoides, ácidos grasos, fitoesteroles entre otros (Pereira Freire et al., 2016). La pulpa fresca contiene 50,5% de humedad, 22 % de fibras, 26 % de carbohidratos, 19% de aceite, 3,7% de proteínas y 0,6% de cenizas (Darnet et al., 2011). La pulpa de *M. flexuosa* es un alimento promisorio de la amazónica, cuenta con importante micronutrientes y macronutrientes que contribuyen positivamente en la nutrición de las personas requerida diariamente (NAVARRO, 2010).

2.2.4. Perfil de ácidos grasos del aceite de Aguaje.

La pulpa de Aguaje presenta un aceite que al ser extraído conserva las propiedades sensoriales del fruto. El perfil de ácidos grasos del aceite se puede observar en la Tabla 3, siendo los principales el oleico y palmítico. El aceite de

la pulpa se puede obtener por prensado hidráulico o también conocido como prensado en frío o prensado discontinuo, este aceite se puede considerar virgen, debido a que conserva sus propiedades.

Tabla 3. Perfil de ácidos grasos del aceite del fruto de *M. flexuosa*.

	Ácidos grasos saturados			
	Porcentaje (%)			
	1	2	3	4
Mirístico	0,08	-	0,1	-
Palmítico	16,78	16,3	17,34– 19,2	18
Esteárico	1,77	1,3	2,0	0,20
Ácidos grasos insaturados				
Palmitoleico	0,32	0,4	-	0,1
Oleico	74,06	79,2	73,3– 78,73	78,3
Linoleico	1,04	1,4	2,4– 3,93	2,7
Linolénico	1,04	1,3	2,2	0,7

Fuente: Albuquerque et al. (2005) y Gunstone & Padley (1997).

a) Omega 3 (ω -3)

Los ω -3, son ácidos grasos poliinsaturados, presentan varios dobles enlaces a lo largo de su cadena, uno de los más importantes es el linolénico, eicosapentaenoico y docosahexaenoico, conocidos también como grasas EPA y DHA, respectivamente.

b) Omega 6 (ω -6)

Los ω -6 se caracterizan por su el doble enlace se ubica en el carbono número 6. Es un ácido graso poliinsaturado, es importante para diferentes procesos metabólicos, una adecuada nutrición involucra una ingesta equilibrada de la omega 3 y 6.

2.2.5 Beneficios nutricionales de los ácidos grasos esenciales

Los ácidos grasos esenciales son muy importantes que contribuyen con diversas funciones en el organismo, como el crecimiento capilar, metabolismo hepático, entre otros. El omega 3 y 6, son dos grupos importantes, que contribuyen con la

regulación del colesterol, coagulación y presión arterial (Shils, M.E., & Araiza Martínez, 2002). El DHA, ha demostrado ser muy importante para el desarrollo neuronal de los neonatos (Koletzko, 2005).

Además, el DHA se encuentra presente en la retina y en el cerebro, por tanto, su consumo podría contribuir con la mejoría de la visión y las funciones del cerebro (Stoll et al., 1999).

2.2.6 Usos potenciales del aceite de aguaje.

El aceite de la pulpa de Aguaje presenta algunas aplicaciones medicinales, como un regulador de la menopausia, regulador hormonal, fuente de vitamina A, disminución de grasas saturadas y triglicéridos en la sangre. La composición del aceite muestra la presencia de compuestos bioactivos que la convierten en una materia prima potencial para la fabricación de productos (Stoll et al., 1999).

2.2.7 Fluido supercrítico (SFE).

La extracción con fluidos supercríticos es una importante alternativa para las industrias de alimentos funcionales, cosméticos y fármacos. La extracción por SFE permite obtener extractos puros, con gran selectividad, con mayor eficiencia y libre de reactivos orgánicos tóxicos, favoreciendo su empleo para la elaboración de diversos productos sin representar ningún peligro para su consumo. Por otra parte, el empleo de dióxido de carbono en estado supercrítico representa una importante contribución con la conservación del medio ambiente, debido a que son considerados tecnologías verdes.

Termodinámicamente, el fluido supercrítico se puede considerar como un cuasi-estado, sus propiedades son similares a los líquidos y gases al mismo tiempo, en la Tabla 4 se puede observar algunas propiedades termodinámicas de CO₂.

Tabla 4. Propiedades termodinámicas del CO₂.

	Densidad (g/ml)	Viscosidad (g/cm×s)	Difusividad (m ² /s)
Gas	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻¹
liquido	1	10 ⁻²	10 ⁻⁶
fluido supercrítico	0,2 - 0,9	10 ⁻⁴	10 ⁻³

Fuente: Mendiola-León (2008)

2.2.8 Extracción de aceite por fluido supercrítico (SFE).

Un fluido se considera en estado supercrítico cuando su temperatura y presión son mayores a las del punto crítico. En este estado el fluido adquiere características muy atractivas; ya que las propiedades, como la densidad y la viscosidad, pueden manipularse mediante pequeñas variaciones de temperatura o presión, además puede removerse fácilmente. Los fluidos supercríticos presentan propiedades tanto de gases como de líquidos (Luque de Castro et al., 1993).

2.2.8.1 Propiedades de dióxido de carbono en estado supercrítico.

El CO₂ en estado supercrítico es un solvente con propiedades de líquidos y gases, de carácter apolar, su uso como solvente de extracción permite la obtención de compuestos apolares o de baja polaridad. Su poder de solvatación puede ser optimizada dependiendo el analito a extraerse, haciendo varia la temperatura y la presión de extracción.

Como el CO₂ supercrítico tiene carácter apolar, extrae selectivamente compuestos de polaridad similar o próximas, pero para la extracción de otros compuestos con mayor polaridad se vuelve deficiente cuando se le usa como solvente extracción puro, pero es posible utilizar modificadores de polaridad, como agua, etanol, entre otros.

El uso de agua y etanol como modificadores de polaridad está más ampliamente difundido, ya que el agua y el etanol son considerados como solventes generalmente reconocidas como seguras (GRAS).

Tabla 5. Propiedades críticas de algunos compuestos puros.

Compuesto	PM (Kg/Kmol)	T_c (K)	P (bar)	V_c (m^3/mol)
Agua	18,02	647,1	220,55	55,9
Dimetil eter	42,00	400,0	52,40	178,0
Dióxido de carbono	44,01	304,2	73,83	94,00
Etano	30,07	305,3	48,72	145,5
Etanol	46,07	513,9	61,48	167,0
Etil acetato	88,11	523,3	38,80	286,0
Etileno	28,05	282,3	50,40	131,0
n-Hexano	86,00	507,5	30,1	368,2
Propano	44,10	369,8	42,48	200,0

PM: Peso molecular

Fuente: Susan Espinosa (2015).

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de Estudio

El presente trabajo de investigación se encuentra en el tipo experimental, debido a que se estudió la extracción supercrítica con dióxido de carbono del aceite de la pulpa de Aguaje (*Mauritia flexuosa L.*), analizándose el perfil de ácidos grasos

3.2. Diseño del Estudio

Los experimentos del presente estudio se realizaron empleando un diseño factorial 2×2 , consta de 2 factores y 2 niveles por cada factor. Los factores o variables a estudiar son la temperatura (40°C y 60°C) y presión (200bar y 400bar) de extracción. Por tanto, un total de 4 tratamientos fueron realizados, que corresponden a todas las posibles combinaciones de los factores con sus niveles, como se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6. Diseño experimental y tratamientos.

TEMPERATURA (°C)	PRESIÓN (bar)	
	(P1): 200	(P2): 400
(T1): 40	T1xP1	T1xP2
	T1xP1	T1xP2
(T2): 60	T2xP1	T2xP2
	T2xP1	T2xP2

Tabla 7. Diseño experimental y tratamientos (Datos Obtenidos).

TEMPERATURA (°C)	PRESIÓN (bar)	
	(P1): 200	(P2): 400
(T1): 40	23,7	35,5
	23,4	36,9
(T2): 60	24,7	40,9
	24,2	41,3

Tabla 8. ANOVA

	GL	SC	CM	Valor F	Valor P
Temperatura (A)	1	16,76205	16,76205	51,59141	0,00199
Presión (B)	1	427,78125	427,78125	1316,65512	3,444E-6
Interacción	1	7,88045	7,88045	24,255	0,0079
Modelo	3	452,42375	150,80792	464,16718	1,537E-5
Error	4	1,2996	0,3249		
Total	7	453,72335			

GL: Grados de libertad, SC: Suma de Cuadrados, CM: Cuadrado medio,

En la Tabla 8 se observa el análisis de variancia (ANOVA) realizado a los datos experimentales del rendimiento de extracción obtenido de acuerdo al diseño experimental. Los resultados del ANOVA, realizado a un nivel de significancia de 0,05, muestran que la variable temperatura tiene efecto significativo (P -valor = 0,00199) en el rendimiento de extracción de aceite de aguaje para el rango de temperatura (40 – 60°C) estudiada. De forma similar observamos que el factor presión (200 – 400bar) ejerce un efecto significativo (P -valor = 3,444E-6) en el rendimiento de extracción. La interacción de estas dos variables también tuvo un efecto significativo en el rendimiento de extracción del proceso de extracción con dióxido de carbono supercrítico. Nuestros resultados confirman que las variables termodinámicas, temperatura y presión, afectan significativamente al proceso de extracción supercrítica de aceite de aguaje, observándose que el rendimiento se incrementa significativamente con el incremento de las variables en estudio, obteniéndose el mayor rendimiento a 60°C y 400bar, que fue de aproximadamente 41% (g de aceite/g de pulpa de aguaje seca).

Tabla 9. Comparación de medias por la prueba de *Bonferroni*.

	MeanDiff	SEM	t value	Prob	Alpha	Sig.	LCL	UCL
60-40 (°C)	2,895	0,403	7,183	0,00199	0,05	1	1,776	4,014
400-200 (bar)	14,625	0,403	36,286	3,44E-6	0,05	1	13,50	15,74

Sig. igual a 1, indica que las diferencias de las medias son significativas a un nivel de 5%

Sig. Igual a 0, indica que las diferencias de las medias no son significativas a un nivel de 5%

3.3. Población y Muestra

a) Población

Un total 60kg de frutos Aguaje fue colectado para el estudio, esta cantidad es equivalente a 6 latas (medida artesanal) del fruto en estado de madures, procedente de la zona chonta de infierno km 5, margen derecha.

Ubicación de la zona de producción:

Departamento : Madre de Dios.
 Provincia : Tambopata
 Distrito : Tambopata
 Sector : Chonta – Infierno.

Ubicación geográficamente según las coordenadas que se describen en la Tabla :

Tabla 10. Coordenadas UTM. Datum wgs84

Puntos	Este	Norte
P1	476213	8602633
P2	476186	8602584
P3	476218	8602617

b) Muestra

La extracción se realizó empleando aproximadamente 23 gramos de pulpa de aguaje deshidratada de la variedad “Rojizo”, esta cantidad de muestra fue determinada debido a que la columna de extracción disponible en el laboratorio fue de 25mL, la cual trabaja con aproximadamente 23 gramos de muestra, esta cantidad puede variar dependiendo la densidad aparente de la muestra, la cantidad exacta de muestra a utilizar se determinará en experimentos previos. Por otra parte, 23 gramos de muestra permiten obtener una cantidad adecuada de aceite para realizar los análisis de perfil de ácidos grasos.

3.4. Métodos y Técnicas

3.4.1. Materiales y equipos

- ❖ Equipo de extracción supercrítico escala de laboratorio Spe-ed.
- ❖ Equipo de extracción supercrítico escala piloto 1 L.
- ❖ Columnas de extracción de 25 mL y 1 L.
- ❖ Lana de vidrio
- ❖ Embudos de plástico
- ❖ Barra de acero inoxidable para el empacado de la muestra.
- ❖ Frascos de vidrio de 50 mL
- ❖ Cronometro
- ❖ Balanza analítica
- ❖ Estufa de secado
- ❖ Balanza de precisión (0,01g)
- ❖ Empacadora al vacío
- ❖ Ollas de acero inoxidable.



Figura 4. Equipo de extracción supercrítico escala laboratorio Spe-ed.



Figura 5. Equipo de extracción supercrítico escala piloto 1L.

3.4.2. Métodos

Análisis del perfil y contenido de ácidos:

El aceite de Aguaje obtenido se derivó a ésteres metílicos de ácidos grasos (FAME) (Hartman, 1973). Alrededor de 50mg de muestras se someterán primero a catálisis alcalina, utilizando una solución metabólica de hidróxido de potasio (0,4 M) en un baño de agua a 100°C durante 10min. Luego se llevará a cabo una catálisis ácida utilizando una solución metabólica de ácido sulfúrico (1 M), seguido de un baño de agua a 100°C durante 10min. FAME será particionado en hexano. Las muestras se analizarán en un cromatógrafo de gases equipado con detector de ionización de llama (CFID). Las condiciones de análisis serán: Se inyectará 1mL de muestra en el puerto de inyección en modo dividido (relación 1:50) y temperatura de 250°C. El gas portador utilizado será hidrógeno a presión constante de 25psi. FAME se separarán mediante la columna capilar SP 2560 (Agilent Technologies, EE. UU.) (100m 0,25mm 0,20lm). La temperatura inicial del horno será de 80°C, donde permanecerá 1 minuto, y aumentará a 240°C con una velocidad de 3°C/min, manteniéndose en isoterma durante 15 minutos, y el detector a 240°C.

Se realizará la identificación de FAME comparando los tiempos de retención de los analitos con una mezcla de estándares (Serra et al., 2019).

3.4.3. Metodología experimental

Acondicionamiento y secado de la pulpa de Aguaje (*M. flexuosa* L):

El deshidratado de la pulpa de aguaje se hizo todo el proceso para la deshidratación de la pulpa de aguaje se consideró desde la compra de aguaje la maduración el pelado de materia prima luego fue llevado a la horno Pasteur de la universidad amazónica en la área de proceso se realizó siguiendo una serie de operaciones, de acuerdo con el diagrama del proceso de operación que se muestra en la figura 6.

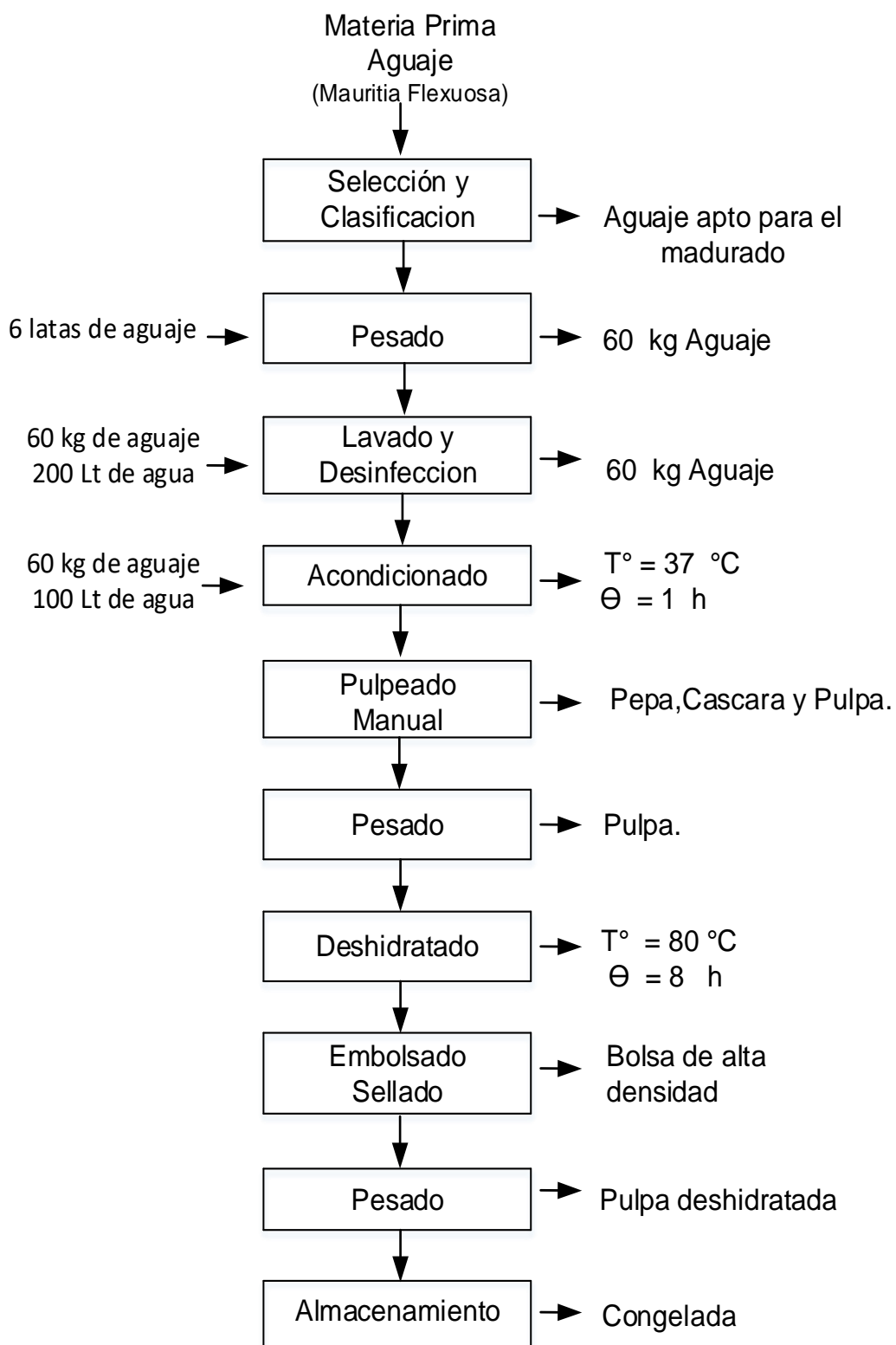


Figura 6. Diagrama de operaciones del secado de la pulpa de Aguaje (M. flexuosa L.).

Descripción del secado de la pulpa:

- a. **Selección y clasificación:** Esta primera etapa u operación busca seleccionar apenas los frutos que serán utilizados para el procesamiento, descartándose los frutos verdes, malogrados, asimismo, se realizara una limpieza para retirar partículas de tierra y/o residuos vegetales.

Después de la selección los frutos fueron trasladados a la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios, donde se encuentra el Laboratorio de Procesos de la escuela profesional de Ingeniería Agroindustrial donde se realizaron el secado de la pulpa.



Figura 7. Variabilidad del tamaño de los frutos colectados.

- b. **Pesado:** Esta operación permitirá cuantificar la masa de frutos utilizado en el proceso, para tal fin utilizamos una balanza electrónica de precisión (Figura 9).
- c. **Lavado y desinfección:** Los frutos previamente seleccionados y pesados

se lavaron utilizando agua potable de la red pública, con la intención de retirar restos de tierra y/o partículas de vegetales. Finalmente, los frutos lavados se desinfectaron sumergiéndose en una solución de hipoclorito de sodio a 15 ppm durante 15 minutos.

- d. **Acondicionamiento:** Esta etapa busca reblandecer la pulpa del fruto para facilitar el despulpado. Esto se consiguió sumergiendo los frutos en agua temperada a 40°C por aproximadamente 30min. Para evaluar el funcionamiento de la técnica se hicieron pruebas manuales, tomándose un fruto y presionándose para verificar el desprendimiento de la pulpa.



Figura 8. Frutos maduros de aguaje, (*Mauritia flexuosa* L.)

- e. **Pulpeado:** Los frutos fueron pulpeado de manera manual con ayuda de cucharas, así mismo se procederá a separar la cáscara y semilla para obtener la pulpa pura.

- f. **Pesado:** Se realizó el pesado para determinar la masa de la pulpa obtenida, para realizar cálculos posteriores de rendimiento.



Figura 9. Empacado y pesado de la pulpa de Aguaje antes del congelado.

- g. **Deshidratado:** Después del pesado, la pulpa se colocó en placas de inox dejando un espesor adecuado que permita el secado, se utilizó una estufa programada a 60°C, el secado tuvo una duración de 8h, la velocidad de circulación de aire caliente fue de 5m/s, al final del secado se consiguió 12% de humedad.



Figura 10. Preparación de la pulpa para el secado en estufa.



Figura 11. Secado de la pulpa con circulación de aire caliente a 40°C.

- h. **Embolsado y sellado:** La pulpa seca se envasa en bolsas de polietileno para su almacenamiento en congelación.



Figura 12. Empacado y pesado de la pulpa de Aguaje seco.

- i. **Almacenado:** Se almacenará la pulpa de aguaje deshidratada en congelación.

Proceso de extracción supercrítica de aceite de la pulpa:

La extracción de aceite de Aguaje empleando dióxido de carbono supercrítico se realizó siguiente una serie de operaciones, como se detalla en el diagrama de operaciones en la Figura 13.

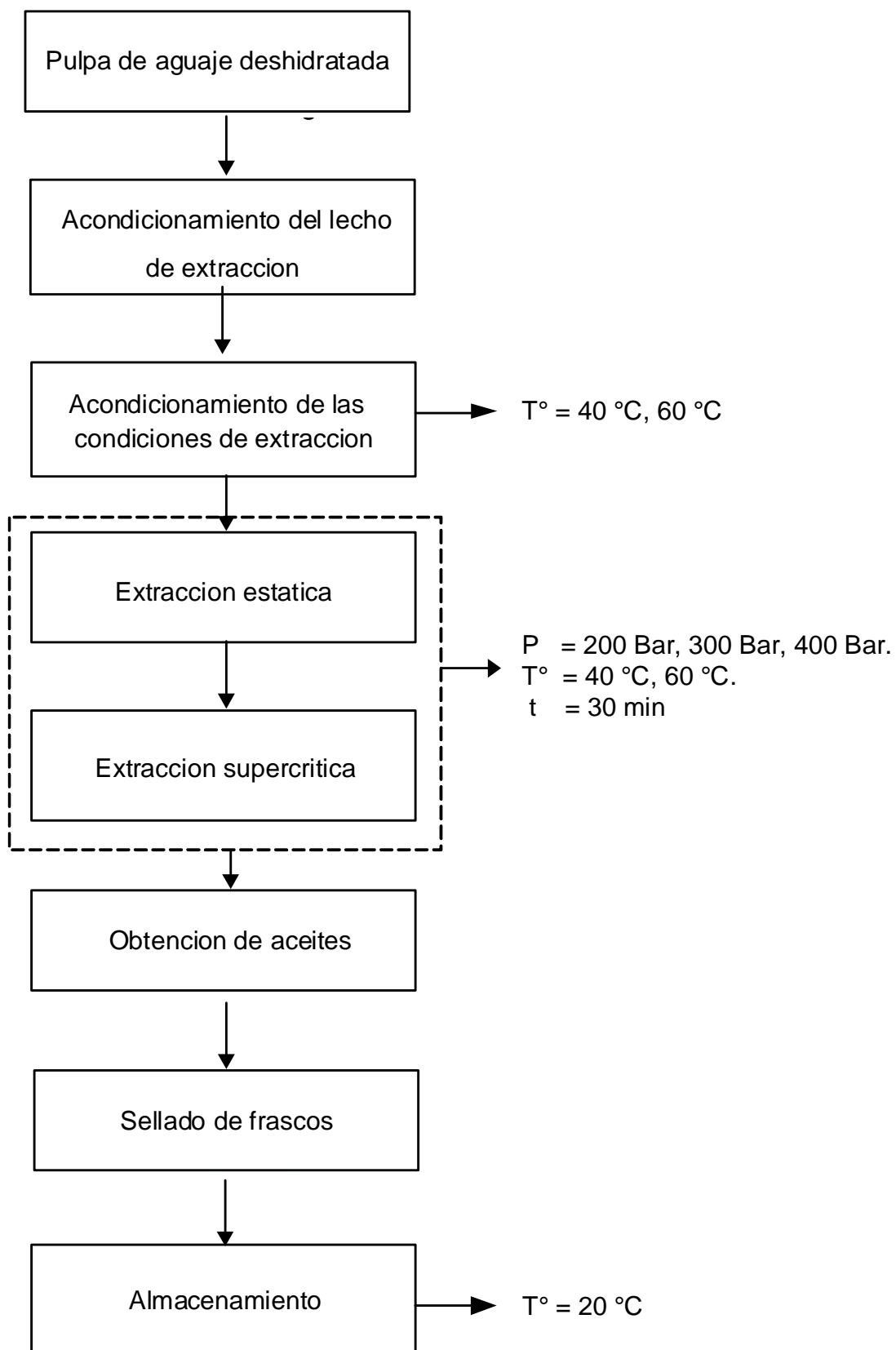


Figura 13. Diagrama de operaciones de la extracción supercrítica de aceite de Aguaje.

Descripción de las operaciones del proceso de extracción de aceite por SFE:

- a) **Pulpa deshidratada de aguaje:** La pulpa deshidratada se congela después del secado. Para la extracción SFE, la pulpa fue descongelada a temperatura ambiente.
- b) **Acondicionamiento del lecho de extracción:** Antes de montar el lecho de extracción, el aparato de extracción SFE (Figura 4) es preparado, ajustándose el baño de enfriamiento a -5°C para garantizar que el CO_2 ingrese a la bomba en estado líquido.
- c) **Acondicionamiento de las condiciones de extracción:** Para empezar a extraer en aceite de aguaje, se regula la temperatura y presión de extracción de acuerdo con el diseño experimental (Tabla 06). Para la extracción de ácidos grasos se utilizó aproximadamente 23g de muestras de pulpa de aguaje seca, que se introdujo en la columna de extracción.

Una vez montada la columna, se procede a cerrar la columna y conectar las tuberías de alimentación y salida del dióxido de carbono.

- d) **Extracción estática:** La extracción estática es una etapa en la cual la materia prima es sometida a las condiciones de extracción (presión y temperatura) por un periodo de tiempo sin flujo del solvente (CO_2).
- e) **Extracción supercrítica:** Esta etapa se realiza la extracción dinámica, es decir con flujo de solvente (CO_2) en las condiciones de extracción prefijadas. El proceso dura hasta la extracción completa del analito (extracto oleoso o aceite). Para mantener un flujo constante del solvente se utiliza la válvula micrométrica. Una vez finalizada la extracción se procede a cerrar la válvula de bloqueo localizada después de la columna de extracción, a seguir se cierran las válvulas de bloqueo de alimentación y del cilindro de CO_2 .

Finalmente se despresuriza el sistema con las válvulas de bloqueo y

micrométrica localizadas después de la columna de extracción. Después de esto se procede a la limpieza de la columna de extracción para iniciar una nueva extracción.

- f) **Obtención del aceite:** El aceite es recuperado en un frasco colocado después de la válvula micrométrica, este frasco tiene una manguera conectada a ella para la salida del CO₂, esta manguera está conectada a un totalizador para cuantificar la cantidad de CO₂ utilizado en el proceso. El extracto es obtenido libre de solvente, se pesa y guarda bajo congelación hasta posteriores análisis.

- g) **Sellado de frascos:** Los frascos utilizados son de tipo penicilina de 50mL, se sellaron con tapas de goma y lacrados para evitar el contacto con el medio ambiente.

- h) **Almacenamiento:** Se almacenó a -20°C para su mejor conservación hasta el día que se analizó. Este análisis se realizó en los laboratorios de la UNICAMP, localizado en el estado de Sao Paulo – Brasil.

3.5. Tratamiento de los datos

Los datos experimentales obtenidos en duplicado por cada tratamiento serán promediados para obtener la media (μ) y el desvío estándar. A partir de los valores promedios se realizarán los análisis estadísticos y el modelamiento de la cinética de extracción

CAPÍTULO IV: RESULTADOS DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

4.1. Colecta y preparación de la materia prima

La colecta de los frutos de Aguaje se realizó de especies localizadas en las coordenadas mostradas en la Tabla 7. La técnica de colecta utilizada no produjo ningún daño a las palmeras de Aguaje. La técnica consiste en trepar el fuste de las palmeras como se muestra en la Figura 1.



Figura 14. Acopio de los frutos.

Después de cortar las ramas de los frutos de Aguaje, estos caen al suelo donde se realiza la recolección de los frutos. La recolección de los frutos se realiza con la ayuda de un machete como se puede visualizar en la Figura 14. Esta técnica de cosecha supone un mayor tiempo hasta la obtención de los frutos en comparación a la colecta que implica el cortar la palmera, pero contribuye con la sostenibilidad de las poblaciones de palmeras, de esta forma la actividad de extracción de los frutos de Aguaje adquiere sostenibilidad en el tiempo.

Los frutos de Aguaje se transportaron hacia el laboratorio de Procesos Agroindustriales de la UNAMAD para su acondicionamiento. El acondicionamiento de la materia prima consistió en la maduración, deshidratación e empacado al vacío, más detalles del proceso de acondicionamiento se puede visualizar en la Figura 6.

4.2. SFE de aceite de Aguaje

El aceite de Aguaje extraído con CO₂ supercrítico presenta una coloración naranja cristalina, como se puede visualizar en la Figura 15. Asimismo, en la figura también se puede visualizar el lecho de extracción después del proceso, el lecho se compacta y adquiere el formato de la columna de extracción al final del proceso. La apariencia cristalina del aceite depende de la porosidad del filtro empleado y el uso de un medio filtrante que retiene las partículas de menor tamaño, en nuestro estudio empleamos una capa de lana de vidrio para este fin, este medio filtrante también sirvió para evitar la obstrucción del filtro ubicado en la tapa de la columna de extracción.



Figura 15. Aceite de Aguaje y torta SFE.

En la Figura 15 y 16, se puede observar el esquema gráfico del equipo de extracción escala laboratorio (Spe-ed) y piloto 1L, usados en los experimentos. Los resultados de los experimentos de extracción, muestran que la variación de

la temperatura (40 y 60°C) y presión (200 y 400bar) influyen en el rendimiento del aceite obtenido. El mayor rendimiento fue de $41,1 \pm 0,3\%$ m/m obtenido a 400bar y 60°C, seguido $36,2 \pm 1\%$ obtenido a 400bar y 40, $24,5 \pm 0,4\%$ obtenido a 200bar y 60°C, y finalmente $23,5 \pm 0,2\%$ obtenido a 200bar y 40°C, estos resultados forman parte de nuestra más reciente publicación (Chañi-Paucar, Yali, et al., 2021). Individualmente los parámetros de temperatura y presión mostraron efecto en el rendimiento de aceite, cuando se incrementó la temperatura de 40 a 60°C a presión constante de 400bar, el rendimiento se incrementó de $36,2 \pm 1\%$ a $41 \pm 0,3\%$. Un menor incremento del rendimiento de extracción se observó a 200bar cuando incrementamos la temperatura de 40 a 60°C, $23,5$ a $24,5\%$, respectivamente.

Por otro lado, al analizar los rendimientos de extracción considerando temperaturas constantes, se observó mayores incrementos del rendimiento de extracción. A una temperatura de extracción de 40°C, cuando se incrementó la presión de 200 a 400bar, el rendimiento de aceite se incrementó de $23,5 \%$ a $36,2\%$. El incremento del rendimiento fue mayor a 60°C cuando la presión de vario de 200 a 400bar se obtuvo un aumento de $24,5\%$ a $41,1\%$, respectivamente. Estas diferencias en el rendimiento de extracción por efecto de la presión y temperatura fueron estadísticamente significativas a un nivel de significancia de 5% (Ver Anexo 1). Asimismo, a través de la prueba de *Bonferroni* a un nivel de significancia de 5%, se verificó que el rendimiento de aceite obtenido en los niveles de cada factor (variable: Temperatura y Presión) son diferentes estadísticamente (Anexo 2).

Los resultados observados en el presente estudio son semejantes a lo reportado en la literatura científica actual. La presión y la temperatura son los parámetros más ampliamente estudiados en el proceso de extracción supercrítica (Bouazzaoui et al., 2018; Náthia-Neves et al., 2020; Pinto et al., 2018; Subroto et al., 2017; Suryawanshi & Mohanty, 2019; Trentini et al., 2019). Estos dos parámetros fueron estudiados en la extracción de aceite de *Oenocarpus bacaba* en un rango de presión de 120 – 420bar y temperatura de 40 – 60°C, los autores del estudio reportaron que el rendimiento de aceite fue afectado de forma significativa cuando se incrementaron la intensidad de cada variable (Pinto et al., 2018). El rango del rendimiento de extracción obtenido en ese estudio vario de

4,3% a 60,4% (Pinto et al., 2018), el mayor rendimiento obtenido en este estudio supera al mayor rendimiento obtenido en nuestro estudio (41%).

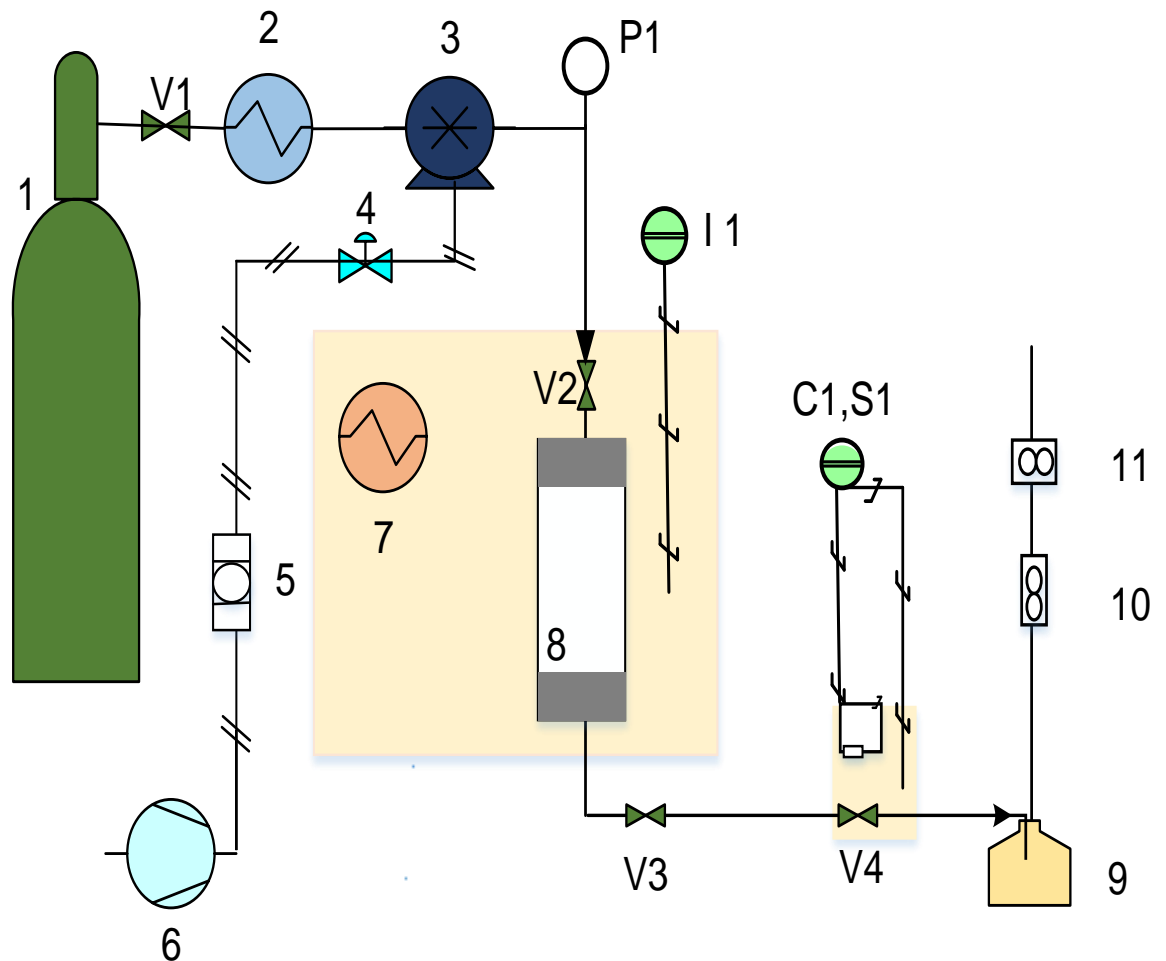


Figura 16. Esquema gráfico del equipo de extracción escala laboratorio (Speed).

- | | |
|-------------------------------|--|
| 1. Balón de CO ₂ | V1. válvula de CO ₂ |
| 2. Chiller | V2. válvula de CO ₂ con presión |
| 3. Bomba de alta compresión | V3. válvula de pase de aceite |
| 4. Válvula de aire comprimido | V4. válvula de CO ₂ y aceite |
| 5. Medidor de aire comprimido | |
| 6. Cámara de temperatura | |
| 7. Extractor | |
| 8. Recipiente de aceite | |

Otras fuentes de aceites ricos en bioactivos provenientes de la Amazonia son los frutos de las palmeras *Acrocomia aculeata* (Trentini et al., 2019) y *Oenocarpus distichus* (Cunha et al., 2019). La pulpa de liofilizada de *O. distichus* fue sometida a extracción supercrítica con CO₂, el mayor rendimiento de aceite se observó en dos condiciones de extracción, la primera a 50°C y 350bar, con un rendimiento máximo de 45,2%. La segunda condición fue a 60°C y 270bar, con un rendimiento ligeramente mayor al primero de 45,9%.

Estos resultados sugieren el mismo efecto observado en nuestro estudio, cuando se incrementó la temperatura de 40 a 60°C, en las presiones constantes de 200 y 400bar (Cunha et al., 2019).

Sin embargo, la composición del extracto o aceite presentes en la materia prima puede influir en el efecto de la temperatura sobre el rendimiento de extracción, este hecho se observó en la extracción de aceite de *Acrocomia aculeata*, cuando se incrementó la temperatura de 40 a 80°C, a 180bar, obteniendo una disminución del rendimiento de 9,3% hasta 36,9%, este hecho se denominó como solubilidad retrograda, los autores explicaron que la presión de vapor del soluto (aceite) disminuyó el poder de solvente del dióxido de carbono (Cunha et al., 2019).

Este fenómeno denominado de solubilidad retrograda no fue observado en nuestro estudio, como explicaron los autores del estudio con *A. aculeata*, la composición del extracto puede influir en el comportamiento proceso de extracción, cada componente del extracto posee propiedades termodinámicas específicas.

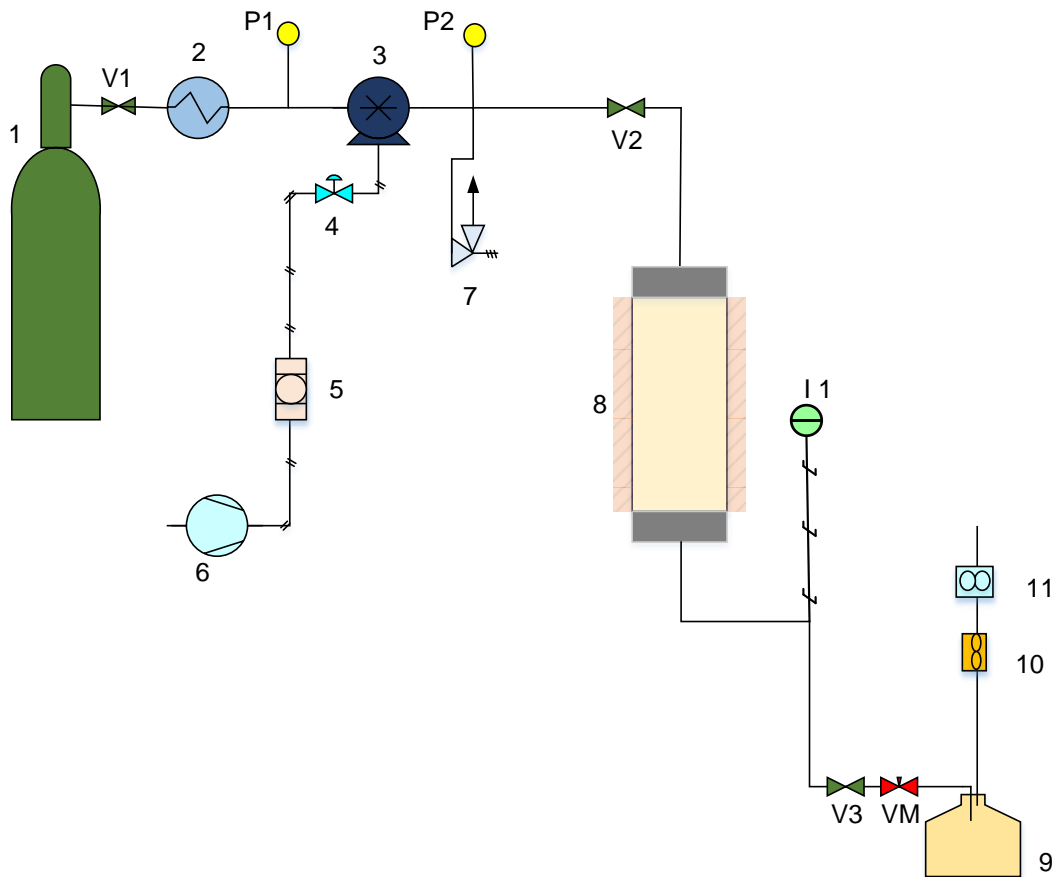


Figura 17. Esquema grafico del equipo de extracción escala piloto 1L.

De acuerdo con el análisis estadístico la mejor condición de extracción de aceite de Aguaje se da a 400bar y 60°C. Estas condiciones fueron utilizadas para desarrollar una extracción a mayor escala, empleándose un equipo escala piloto de 1L, que se muestra en la Figura 5 y su esquema grafico se muestra en la Figura 17. Se usó 250g de pulpa de Aguaje deshidratado para la extracción, para el aumento de la escala se mantuvo constante la relación entre la cantidad de solvente y la materia prima (S/F). El tiempo total de extracción fue de 35 min y el flujo masico de CO₂ fue de 25,31g CO₂/min. Bajo estas condiciones se obtuvo un rendimiento total de 31% m/m. Con la finalidad de evaluar el rendimiento de extracción en los periodos CER y FER (estos tiempos fueron determinados a través del modelamiento que se detalla en la sección 4.3.), se realizaron colectas en estos dos tiempos (4,8 min → S/F = 1,5 y 39 min → S/F = 13), siendo los rendimientos 11% y 20%, respectivamente. La metodología para el aumento de escala tomando como criterio el valor de S/F constante, se ha empleado como una alternativa practica para este fin, en la literatura se ha empleado en la

extracción de bioactivos de clavo de olor y residuos de caña de azúcar (Prado et al., 2011).

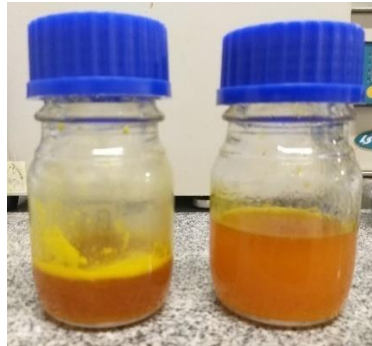


Figura 18. Fracciones de aceite de aguaje obtenido a 4,79 (T_{CER}) y 38,99 (T_{FER}) min, a 400bar y 60°C.

4.3. Cinética de extracción

La cinética de extracción del aceite de Aguaje se modeló adecuadamente con el modelo empírico *Spline* con tres líneas rectas. El modelamiento consistió en ajustar los datos experimentales del rendimiento global (%) versus el tiempo de extracción (min), a las tres líneas rectas del modelo, cuyas ecuaciones son las siguientes:

$$m_{Ext} = a_1 t; \quad t < t_{CER}$$

$$m_{Ext} = a_1 t_{CER} + a_2 (t - t_{CER}); \quad t_{CER} \leq t < t_{FER}$$

$$m_{Ext} = a_1 t_{CER} + a_2 (t_{FER} - t_{CER}) + a_3 (t - t_{FER}); \quad t_{FER} \leq t$$

Donde: m_{Ext} es el rendimiento de extracción (% m/m); a_1 , a_2 , y a_3 son los coeficientes de inclinación (términos de primer orden) de las líneas CER, FER, y DC, respectivamente (min^{-1}); t_{CER} es el intervalo de tiempo del periodo CER (min); Y t_{FER} es el final del periodo FER (min).

Los parámetros del modelo *Spline* son: $a_1 = 4,1047 \text{min}^{-1}$, $a_2 = 0.7498 \text{min}^{-1}$, $a_3 = 0.1635 \text{min}^{-1}$, cada uno indica la inclinación de la línea recta del modelo. De estos valores se puede afirmar que la tasa de extracción descrita en las primeras

etapas es mayor que los otros periodos. El parámetro a_1 , corresponde al periodo de extracción CER, que finaliza en el t_{CER} (4,8min), hasta este tiempo es posible extraer aproximadamente 20% m/m de aceite de la materia prima. El parámetro a_2 , corresponde a la recta del periodo FER, que finaliza en el t_{FER} (39min), hasta este tiempo de extracción el rendimiento fue de 45%. La mayor tasa de extracción en los primeros periodos de extracción (t_{CER} y t_{FER}) se debe a que la materia prima fue sometida a molienda o disminución del tamaño de partícula, esto trae consigo la quiebra de células que contienen a los glóbulos de aceite, el cual queda esparcido alrededor la superficie de las partículas y al interior de las células quebradas (Chañi-Paucar, Osorio-Tobón, et al., 2021; Johner et al., 2018).

El último periodo de extracción con inclinación a_3 presenta una tasa de extracción menor, en este periodo la extracción del analito es menor en comparación a los otros dos periodos, esto se debe a que el analito extraído se encuentran en las células intactas, localizadas en la parte interior de las partículas (Huang et al., 2012).

4.4. Composición de ácidos grasos

El perfil y composición de los ácidos grasos del aceite de Aguaje no vario debido a la variación de la presión y temperatura, estos resultados se encuentran en detalle en nuestra publicación más reciente (Chañi-Paucar, Yali, et al., 2021). En la Figura 19 y en los Anexos 3 al 5, se pueden observar los cromatogramas del perfil de ácidos grasos identificados en los aceites obtenido de acuerdo con el diseño experimental (Tabla 6) del presente estudio. Se consiguió identificar la presencia de tres ácidos grasos saturados (palmítico, esteárico y araquídico) y cuatro insaturados, en el caso de los insaturados se pudo observar la presencia de monoinsaturados (palmitoleico y oleico) y poliinsaturados (linoleico y linolénico).

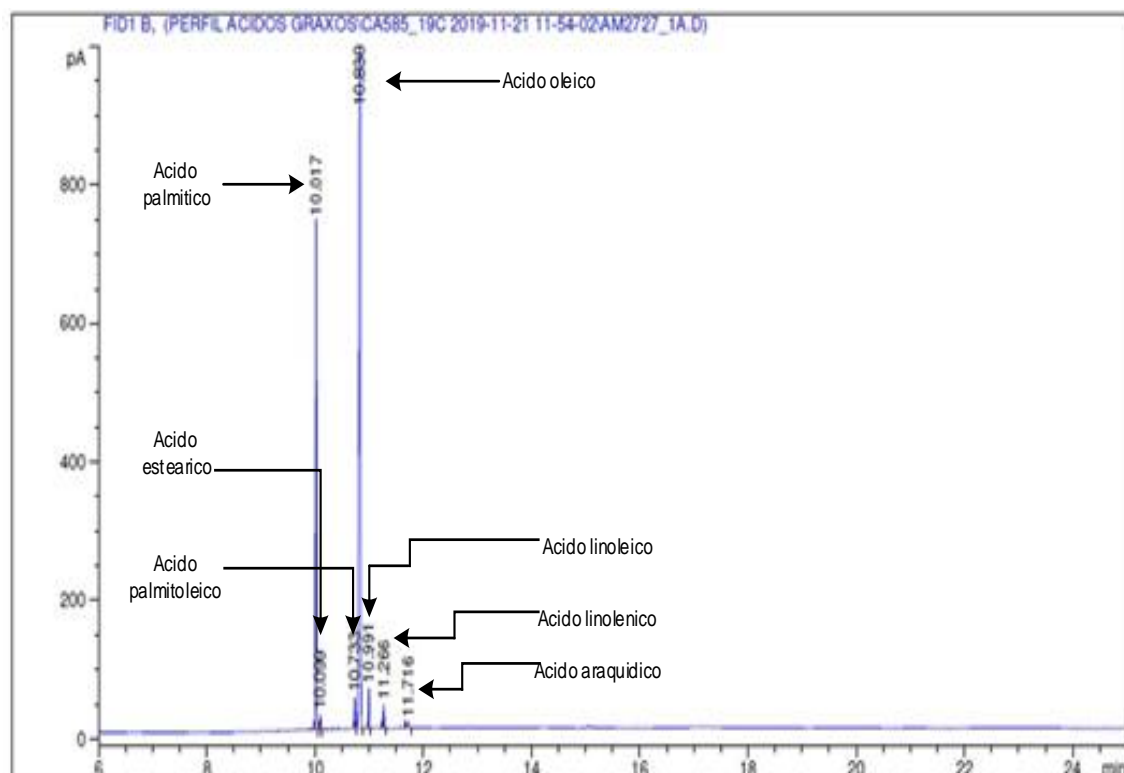
El perfil de composición de ácidos grasos del aceite de *M. flexuosa*, en nuestro estudio es similar a lo reportado por otros autores (França et al., 1999; Jacobo et al., 2009; Santos et al., 2018). Reporte similar fue descrito por Cunha et al. (2019), quienes evaluaron la extracción de bioactivos con CO_2 supercrítico de la

pulpa liofilizada de *O. distichus*, el estudio se desarrolló en diferentes condiciones de presión (150, 190, 220, 270, 350 y 420bar) y temperatura (50 y 60°C).

El aceite obtenido de este fruto presento nueve ácidos grasos (mirístico, palmítico, palmitoleico, esteárico, oleico, linoleico, linolénico, araquídico y behénico), el cual no vario por efecto de la presión o de la temperatura, pero si se observó pequeñas variaciones en el contenido (Cunha et al., 2019).

De forma similar, Pinto et al. (2018) reportaron que el perfil de ácidos grasos del aceite de *O. bacaba* no fue afectado cuando se sometió a extracción a presiones entre 120 a 420bar, combinado con dos temperaturas (40 y 60°C). La similitud de nuestros resultados con los resultados de la literatura se debe probablemente a la composición del aceite de Aguaje que fue muy semejante a los aceites de las materias primas reportadas. Por otra parte, el perfil de composición del aceite por efecto del tiempo de extracción no vario sustancialmente, como se puede visualizar en la Tabla 8.

Figura 199. Cromatografía del aceite obtenido a 400bar y 60°C.



En la **Figura 19** Se observa la cromatografía de aceite obtenido a condiciones de presión y minutos. En la cromatografía se puede observar el ácidos palmítico

fue detectado a un tiempo de 10 minutos a una presión de 800bar, ácido palmítico, a un tiempo 10,3 minutos y a una presión 10,8bar ácido oleico 10 minutos a una presión 900bar así sucesivamente etc.

Así mismo a partir del cromatograma se puede determinar la concentración relativa de cada ácido graso que son de la siguiente manera.

Tabla 11. Perfil de ácidos grasos encontrados en la muestra.

	CER4, 8 min B1, % A _{2,3}	FER 39 min B2, % A _{2,3}
Mirístico(C14:0)	0,03(±0,01)	ND
Palmítico(C16:0)	19,6 ± 0,1	20,8(±0,1)
Palmitoleico(C16:1)	0,3(±0,1)	0,4(0±,1)
Esteárico(C18:0)	ND	1,7(±0,1)
Oleico(C18:1)	76,7(±0,1)	71,4(±0,2)
Linoleico(C18:2)	1,9(0±,1)	3,3(±0,1)
Linolénico(C18:3)	1,0(±0,1)	2,2(±0,1)
Araquídico(C20:0)	0,3(±0,1)	0,2(±0,1)

Tabla 12. Perfil de ácidos grasos del aceite de Aguaje obtenido en dos tiempos de extracción a 400bar y 60°C.

Ácido graso	Tiempo de extracción (min)	
	T _{CER} (4,8 min)	T _{FER} (40 min)
Mirístico (C14:0)	0,03 ± 0,01	ND
Palmítico (C16:0)	19,6 ± 0,1	20,8 ± 0,1

Palmitoleico (C16:1)	0,3 ± 0,1	0,4 ± 0,1
Esteárico (C18:0)	ND	1,7 ± 0,1
Oleico (C18:1)	76,7 ± 0,1	71,4 ± 0,2
Linoleico (C18:2)	1,9 ± 0,1	3,3 ± 0,1
Linolénico (C18:3)	1,0 ± 0,1	2,2 ± 0,1
Araquídico (C20:0)	0,3 ± 0,1	0,2 ± 0,1
Ácidos Grasos Poliinsaturados	2,9	5,5
Ácidos grasos saturados	19,93	22,7
Ácidos grasos monoinsaturados	77,0	71,8

CONCLUSIONES

1. Las variables estudiadas de temperatura y presión afectaron significativamente el rendimiento de aceite de Aguaje. El mayor rendimiento de aceite fue obtenido combinando 60°C y 400bar, bajo estas condiciones se obtiene el rendimiento máximo de 41%.
2. La cinética de extracción presentó un comportamiento típico en las mejores condiciones de extracción (60°C y 400bar). El modelo *Spline* describió adecuadamente el comportamiento de la curva global de extracción versus el tiempo. El modelamiento mostró que la curva global de extracción se puede caracterizar por tres periodos de extracción, CER, FER y DC, siendo los tiempos CER (4,79min) y FER (38,99min) los de mayor importancia para posteriores aumentos de escala del proceso.
3. El perfil de ácidos grasos de los extractos oleosos no fue afectado por la presión y temperatura. El aceite obtenido en todas las condiciones de extracción estuvieron presentes ácidos grasos mono insaturados (palmitoleico y oleico), saturados (palmítico, esteárico y araquídico) y poliinsaturados (linoleico y linolénico). Aunque el perfil de ácidos grasos no vario, pequeñas variaciones en el contenido fueron observadas.

SUGERENCIAS

- ❖ Realizar estudios de aumento de escala con mayores volúmenes de materia prima.
- ❖ Ampliar el estudio para evaluar la rentabilidad de la implementación del proceso SFE de la pulpa de aguaje a escalas mayores.
- ❖ Estudiar la vida útil del extracto oleoso de la pulpa Aguaje obtenido a través del proceso de extracción supercrítico, analizando los principales compuestos bioactivos, a diferentes condiciones de almacenamiento.
- ❖ Realizar estudios de aplicación del aceite de aguaje para la elaboración de alimentos funcionales.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Albuquerque, M. L. S., Guedes, I., Jr, P. A., Moreira, S. G. C., Neto, N. M. B., Correa, D. S., & Zilio, S. C. (2005). Characterization of Buriti (*Mauritia flexuosa* L.) Oil by Absorption and Emission Spectroscopies. 16(6), 1113–1117.
- Asif, M. (2011). Health effects of omega-3,6,9 fatty acids: *Perilla frutescens* is a good example of plant oils. *Farmácia Oriental e Medicina Experimental*, 11(1), 51–59.
- Barriga-Sánchez, M., Churata-Huanca, A., & Tinoco-Gómez, Ó. (2018). Optimización del rendimiento de la extracción de aceite de semillas de *Vitis vinifera* CON CO₂ supercrítico. *Revista de La Sociedad Química Del Perú*, 84(2), 217–227. <https://doi.org/10.37761/rsqp.v84i2.143>
- Bouazzaoui, N., Bouajila, J., Camy, S., Mulengi, J. K., & Condoret, J. S. (2018). Fatty acid composition, cytotoxicity and anti-inflammatory evaluation of melon (*Cucumis melo* L. *Inodorus*) seed oil extracted by supercritical carbon dioxide. *Separation Science and Technology (Philadelphia)*, 53(16), 2622–2627. <https://doi.org/10.1080/01496395.2018.1464579>
- Cerón, L. J., Hurtado, A. M., & Ayala, A. A. (2016). Efecto de la presión y la temperatura de extracción con CO₂ supercrítico sobre el rendimiento y composición de xyaba (*Psidium guajava*). *Informacion Tecnologica*, 27(6), 249–258. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642016000600025>
- Chañi-Paucar, L. O., Osorio-Tobón, J. F., Johner, J. C. F., & Meireles, M. A. A. (2021). A comparative and economic study of the extraction of oil from Baru (*Dipteryx alata*) seeds by supercritical CO₂ with and without mechanical pressing. *Heliyon*, 7(1), e05971. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e05971>
- Chañi-Paucar, L. O., Yali, E. T., Maceda Santivañez, J. C., Garcia, D. A., Jonher, J. C. F., & Meireles, M. A. A. (2021). Supercritical Fluid Extraction from Aguaje (*Mauritia flexuosa*) Pulp: Overall Yield, Kinetic, Fatty Acid Profile, and Qualitative Phytochemical Profile. *The Open Food Science Journal*, 13(1), 1–11. <https://doi.org/10.2174/1874256402113010001>
- Cunha, V. M. B., Silva, M. P. da, Sousa, S. H. B. de, Bezerra, P. do N., Menezes, E. G. O., Silva, N. J. N. da, Banna, D. A. D. da S., Araújo, M. E., & Carvalho Junior, R. N. de. (2019). Bacaba-de-leque (*Oenocarpus distichus* Mart.) oil extraction using supercritical CO₂ and bioactive compounds determination in the residual pulp. *Journal of Supercritical Fluids*, 144, 81–90. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2018.10.010>
- Darnet, S. H., Helena, L., Manoel, A., & Lins, R. T. (2011). Nutritional composition, fatty acid and tocopherol contents of buriti (*Mauritia flexuosa*) and patawa (*Oenocarpus bataua*) fruit pulp from the Amazon region. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 31(2), 488–491.
- Díaz-Mamani, R. (2018). Evaluación de compuestos bioactivos en pulpa atomizada y pulpa congelada de *Mauritiella aculeata* (Kunth) Burret “aguaje”

- [Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. In Universidad Nacional Mayor de San Marcos. <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/9413>
- Dorado, D. J., Hurtado-Benavides, A. M., & Martínez-Correa, H. A. (2016). Extracción con CO₂ Supercrítico de aceite de semillas de guanábana (*Annona muricata*): Cinética, perfil de ácidos grasos y esteroides. *Información Tecnológica*, 27(5), 37–48. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642016000500005>
- Engler, M. B. (1992). Effects of omega-3, omega-6 and omega-9 fatty acids on vascular smooth muscle tone. *European Journal of Pharmacology*, 215, 325–328.
- França, L. F. de, Reber, G., Meireles, M. A. A., Machado, N. T., & Brunner, G. (1999). Supercritical extraction of carotenoids and lipids from buriti (*Mauritia flexuosa*), a fruit from the Amazon region. *The Journal of Supercritical Fluids*, 14(3), 247–256. [https://doi.org/10.1016/S0896-8446\(98\)00122-3](https://doi.org/10.1016/S0896-8446(98)00122-3)
- García, R., & Reátegui, M. (2002). Conservación de pulpa de *Mauritia flexuosa* L. "Aguaje" con aplicación de métodos de factores combinados. *Revista Amazónica de Investigación*, 68, 59–68.
- GBIF. (2021). Global Biodiversity Information Facility. <https://www.gbif.org/>
- Gonzales-Coral, A., Jarama-Vilcarromero, A. R., Chuquival-Tuesta, G., & Vargas-Isla, R. (2006). Colección y evaluación de germoplasma (*Mauritia flexuosa* L. F) Aguaje en la Amazonía Peruana. *Folia Amazónica*, 15(1–2), 19–28. <https://doi.org/10.24841/FA.V15I1-2.222>
- Gunstone, F. D. E., & Padley, F. B. (1997). *Lipid technology and applications* (M. D. Lnc. (ed.)).
- Hartman, L. R. C. (1973). Rapid preparation of fatty acid methyl esters from lipids. *Laboratory Practice*, 22(6), 475–476. <https://ci.nii.ac.jp/naid/10030922945/en/>
- Huang, Z., Shi, X. han, & Jiang, W. juan. (2012). Theoretical models for supercritical fluid extraction. *Journal of Chromatography A*, 1250, 2–26. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2012.04.032>
- Ingunza-Reyes, G. (2009). Extracción, caracterización y refinación de aceite de pulpa y cáscara de aguaje (*Mauritia Flexuosa*). Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Jacobo, F., Rojas, M., Reyes, G. I., & Pino, E. L. (2009). Caracterización de aceites, tortas y harinas de frutos de Ungurahui (*Jessenia polycarpa*) y Aguaje (*Mauritia flexuosa*) de la Amazonía Peruana. *Revista de La Sociedad Química Del Perú*, 75, 243–253.
- Johner, J. C. F., Hatami, T., & Meireles, M. A. A. (2018). Developing a supercritical fluid extraction method assisted by cold pressing for extraction of pequi (*Caryocar brasiliense*). *Journal of Supercritical Fluids*, 137, 34–39. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2018.03.005>
- Luque de Castro, M. D., Valcárcel, M., & Cases, M. V. (1993). Extracción Con

- Fluidos Supercríticos En El Proceso Analítico (Reverte (ed.)). Reverte.
- Mendiola-León, J. A. (2008). Extracción de compuestos bioactivos de microalgas mediante fluidos supercríticos [UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MADRID]. <http://hdl.handle.net/10261/6753>
- Morillo, O., Fernández, S., Hernández, H., Castillo, G., & Marquina, G. (2010). Optimización de los parámetros de extracción de aceite de palma africana utilizando CO₂ supercrítico. *Bioagro*, 22(2), 89–94. http://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S1316-33612010000200001&script=sci_arttext
- Náthia-Neves, G., Vardanega, R., Hatami, T., & Meireles, M. A. A. (2020). Process integration for recovering high added-value products from *Genipa americana* L.: Process optimization and economic evaluation. *Journal of Supercritical Fluids*, 164, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2020.104897>
- NAVARRO, M. L. (2010). EVALUAR LA ESTABILIDAD DE LA PRO VITAMINA A EN LA PULPA LIOFILIZADA DE TRES MORFOTIPOS DE AGUAJE (*Mauritia flexuosa* L.f) [UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA AMAZONIA PERUANA]. http://www.iiap.org.pe/Archivos/publicaciones/Publicacion_1672.pdf
- Nivia, A., Castro, H., Parada, F., Rodríguez, I., & Restrepo, P. (2007). Aprovechamiento integral de guayaba (*Psidium guajava* L.): I. Obtención de extractos utilizando como solvente CO₂ supercrítico. *Scientia et Technica*, 33, 79–82.
- Pantoja-Chamorro, A. L., Hurtado-Benavides, A. M., & Martínez-Correa, H. A. (2017). Evaluación del Rendimiento, Composición y Actividad Antioxidante de Aceite de Semillas de Mora (*Rubus glaucus*) Extraído con CO₂ Supercrítico. *Informacion Tecnologica*, 28(1), 35–46. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642017000100005>
- Pasquel, A., Castillo, A. del, Sotero, V., & García, D. (2002). Extracción del aceite de la cáscara de *Bactris Gasipaes* HBK usando dióxido de carbono presurizado. *Revista Amazónica de Investigación Alimentaria*, 2(1), 1–14.
- Pereira Freire, J. A., Barros, K. B. N. T., Lima, L. K. F., Martins, J. M., Araújo, Y. de C., da Silva Oliveira, G. L., de Souza Aquino, J., & Ferreira, P. M. P. (2016). Phytochemistry Profile, Nutritional Properties and Pharmacological Activities of *Mauritia flexuosa*. *Journal of Food Science*, 81(11), R2611–R2622. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13529>
- Pinto, R. H. H., 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). <https://doi.org/10.3989/gya.0883171>
- Prado, J. M., Prado, G. H. C., & Meireles, M. A. A. (2011). Scale-up study of supercritical fluid extraction process for clove and sugarcane residue. *The Journal Supercritical Fluids*, 56, 231–237.
- Pretell, B. N. N. (2018). Estrategias comerciales para la exportación de Aguaje

(*Mauritia flexuosa*) de la región de Loreto a Estados Unidos. Universidad Nacional Agraria la Molina.

- Rojas-Ruiz, R., Ruíz-Panduro, G., Ramírez-Meléndez, P., Salazar-Jarama, C. F., Rengifo-Sias, C., Llerena-Flores, C., Marín-Ríos, C., Torres-Noriega, D., Ojanama-Vásquez, J., Silvano-Alván, W., Muñoz-Isuiza, V., Luque-Salinas, H., Vela-Gonza, N., Castillo-Fasabi, N. DEL, Solignac-Ruiz, J., Olíveira, V. R. L.-D., & Panduro-Ruiz, F. de M. (2001). Comercialización de masa y «Fruto verde» de aguaje (*Mauritia flexuosa* L.f.) en Iquitos (Perú). *Folia Amazónica*, 12(1–2), 15–38. <https://doi.org/10.24841/FA.V12I1-2.123>
- Rojas, R. (1985). Ensayos de germinación con semillas de 5 especies de palmeras aplicando 10 tratamientos pre-germinativos y ensayos de cosecha con 7 métodos. Universidad Nacional de La Amazonía Peruana.
- Rojas, R. R. (2000). Estado del conocimiento sobre el aguaje en Iquitos.
- Salazar, C. A. (1967). El Aguaje (*Mauritia vinifera*) Recurso Forestal Potencial. *Revista Forestal Del Perú*, 1(2), 6.
- Santos, R. C., Chagas, E. A., de Melo Filho, A. A., Takahashi, J. A., Montero, I. F., dos Santos, G. F., Chagas, P. C., & de Melo, C. G. R. (2018). Chemical characterization of oils and fats from amazonian fruits by ¹H NMR. *Chemical Engineering Transactions*, 64, 235–240. <https://doi.org/10.3303/CET1864040>
- Serra, J. L., Rodrigues, A. M. da C., de Freitas, R. A., Meirelles, A. J. de A., Darnet, S. H., & Silva, L. H. M. da. (2019). Alternative sources of oils and fats from Amazonian plants: Fatty acids, methyl tocols, total carotenoids and chemical composition. *Food Research International*, 116, 12–19. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.12.028>
- Siscovick, D. S., Barringer, T. A., Fretts, A. M., Wu, J. H. Y., Lichtenstein, A. H., Costello, R. B., Kris-Etherton, P. M., Jacobson, T. A., Engler, M. B., Alger, H. M., Appel, L. J., & Mozaffarian, D. (2017). Omega-3 Polyunsaturated Fatty Acid (Fish Oil) Supplementation and the Prevention of Clinical Cardiovascular Disease. *Circulation*, 135(15), e867–e884. <https://doi.org/10.1161/CIR.0000000000000482>
- Stoll, A., Severus, E., Freeman, M., Rueter, S., Zboyan, H., Diamond, E., Cress, K., & Marangell, L. (1999). Omega 3 fatty acids in bipolar disorder: A preliminary double-blind, placebo-controlled trial. *Arch Gen Psychiatry*, 56, 407–412.
- Subroto, E., Widjojokusumo, E., Veriansyah, B., & Tjandrawinata, R. R. (2017). Supercritical CO₂ extraction of candlenut oil: process optimization using Taguchi orthogonal array and physicochemical properties of the oil. *Journal of Food Science and Technology*, 54(5), 1286–1292. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2542-7>
- Suryawanshi, B., & Mohanty, B. (2019). Modeling and optimization of process parameters for supercritical CO₂ extraction of *Argemone mexicana* (L.) seed oil. *Chemical Engineering Communications*, 206(8), 1087–1106. <https://doi.org/10.1080/00986445.2018.1547712>

- Trentini, C. P., Cuco, R. P., Cardozo-Filho, L., & Silva, C. da. (2019). Extraction of macauba kernel oil using supercritical carbon dioxide and compressed propane. *Canadian Journal of Chemical Engineering*, 97(3), 785–792. <https://doi.org/10.1002/cjce.23236>
- Trujillo - Gonzalez, J. M., Torres Mora, M. A., & Santana - Castañeda, E. (2011). La palma de Moriche (*Mauritia flexuosa* L.f.) un ecosistema estratégico. *Orinoquia*, 15(1), 62. <https://doi.org/10.22579/20112629.43>
- Velasco, R. J., Villada, H. S., & Carrera, J. E. (2007). Aplicaciones de los fluidos supercríticos en la agroindustria. *Informacion Tecnologica*, 18(1), 53–66. <https://doi.org/10.4067/s0718-07642007000100009>

ANEXOS

Anexo 1. ANOVA

	GL	SC	CM	Valor F	Valor P
Temperatura (A)	1	16,76205	16,76205	51,59141	0,00199
Presión (B)	1	427,78125	427,78125	1316,65512	3,444E-6
Interacción	1	7,88045	7,88045	24,255	0,0079
Modelo	3	452,42375	150,80792	464,16718	1,537E-5
Error	4	1,2996	0,3249		
Total	7	453,72335			

GL: Grados de libertad, SC: Suma de Cuadrados, CM: Cuadrado medio,

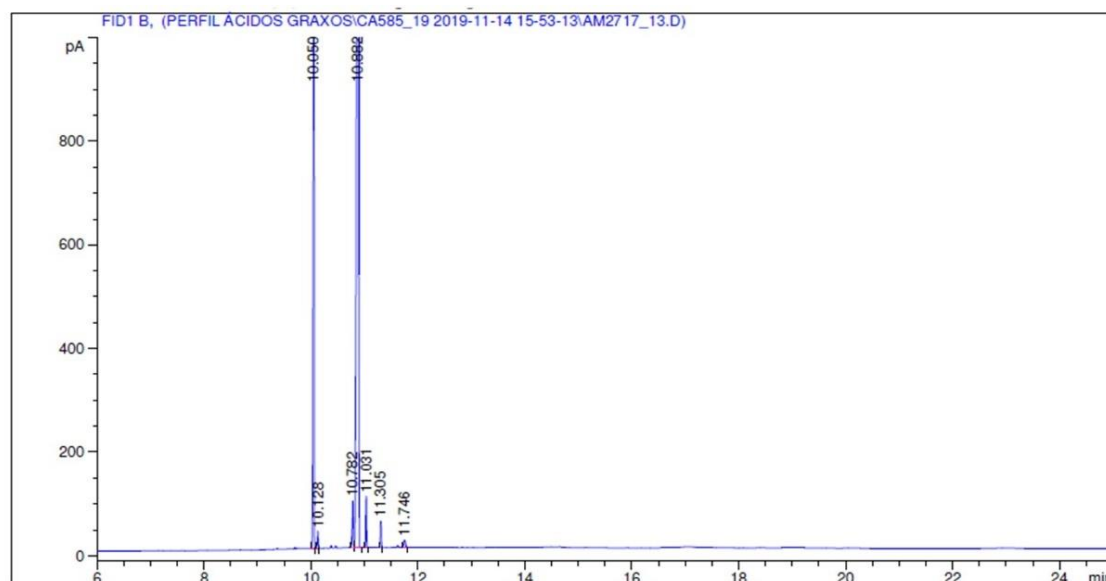
Anexo 2. Comparación de medias por la prueba de *Bonferroni*

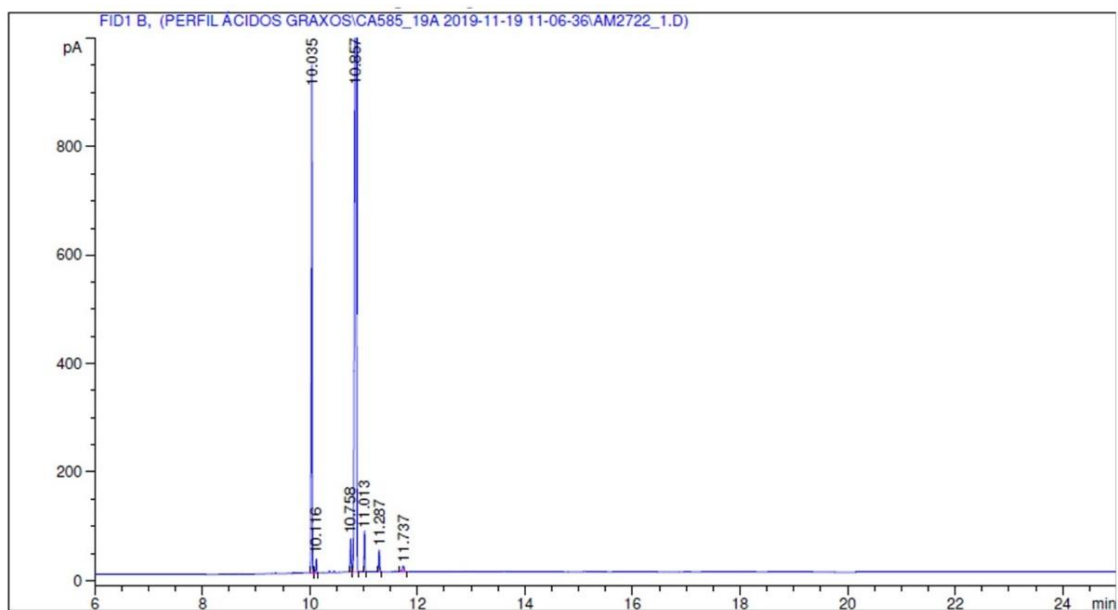
	MeanDiff	SEM	t value	Prob	Alpha	Sig.	LCL	UCL
60-40 (°C)	2,895	0,403	7,183	0,00199	0,05	1	1,776	4,014
400-200 (bar)	14,625	0,403	36,286	3,44E-6	0,05	1	13,50	15,74

Sig. igual a 1, indica que las diferencias de las medias son significativas a un nivel de 5%

Sig. Igual a 0, indica que las diferencias de las medias no son significativas a un nivel de 5%

Anexo 3. Perfil de ácidos grasos del aceite de Aguaje extraído a 200 bar y 40°C.



Anexo 4. Perfil de ácidos grasos del aceite de Aguaje extraído a 200 bar y 60°C.**Anexo 5.** Perfil de ácidos grasos del aceite de Aguaje extraído a 400 bar y 40°C.