

Efecto del tiempo de almacenamiento de la semilla de mango en el municipio de San Martín-Cesar, sobre el rendimiento y la calidad del aceite obtenido en un proceso de extracción sólido-líquido con solventes.

Angie Alejandra Valderrama Suárez

Trabajo de grado para optar el título de Ingeniera Química

Modalidad de Investigación

Director

Luis Javier López Giraldo

Dr. Química Bioquímica y Ciencia de Alimentos

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas

Escuela de Ingeniería Química

Bucaramanga

2022

Dedicatoria

A mis padres, Marilú y Julio Cesar, quienes me brindaron su apoyo incondicional, forjaron mi carácter, confiaron plenamente en mí a lo largo de la carrera y me han guiado durante toda la vida. Son mi mayor motivación y ejemplo.

A mis hermanos y Juan, Yeraldin, David, Tatiana “la pepo” y Juan, de quienes siempre recibí un consejo: “ve a tu ritmo y sigue lo que te gusta”; palabras de ánimo: “tú puedes nene”; un tirón de orejas: “tienes muchas habilidades, pero está bien no cargar con todo”; o un abrazo. Todos y cada uno fueron fundamentales para mi formación.

A toda mi familia, en especial a mis abuelitas Amelia y Luz Marina, quienes, a pesar de la distancia, mantuvieron sus puertas abiertas y brazos extendidos esperando a mi visita.

A Luz Mila “Moli”, por formarme como la persona que soy ahora y brindarme todo su cariño, quien me reitera lo fuerte y tenaz que soy.

A Samuel Suárez mi “gordito”, representación pura de alegría y liderazgo. Aunque está presente solo en mis sueños, quiero que sepa que su “viajera” culminó esta etapa.

A Javier Fernández, mi compañero de vida, quien soportó todo cambio de ánimo, quejas, alegrías o tristezas que transcurrieron en mí durante estos años. Quien me apoyó en cada paso y motivó todos los días.

A la Selección Femenina de Rugby de la Universidad Industrial de Santander, por hacer de mí una persona íntegra y apasionada a mis metas, por incentivar la solidaridad y brindarme una familia, por enseñarme el valor tan grande de la disciplina tanto en la cancha como en la vida, por brindarme respeto y adquirir el mismo hacia los que me rodean, y, por último, por dejarme a un gran amigo: Erwin Fernández.

A “No es al Azar”, grupo que me enseñó el valor de la amistad y me dio dos grandes amigos para la vida.

A mis amigos con los que compartí este último año, en especial a Andrea, por brindarme risas, anécdotas y experiencias.

A la nena del 2016 que no creía haber sido admitida en la UIS y a la ingeniera que nace con esta investigación, por superar cada obstáculo y seguir adelante.

Angie Alejandra Valderrama Suárez

Agradecimientos

Al Dr. Luis Javier López Giraldo, por brindarme su confianza, orientación y apoyo durante el desarrollo de este trabajo de investigación y permitirme trabajar con él.

A los miembros del grupo de investigación en Ciencia y Tecnología de Alimentos CICTA–UIS, por su colaboración y apoyo en actividades del laboratorio.

A don Jaime Ángel, propietario de la empresa POTOSÍ LTDA, quien amablemente me brindó alojamiento en su finca de la cual obtuve las muestras de semilla de mango para realizar esta investigación.

A la Universidad Industrial de Santander, por ofrecerme un segundo hogar y enseñanzas invaluable.

A mis padres, hermanos, familia y amigos que estuvieron presentes e hicieron parte de esta importante etapa.

Tabla de contenido

Introducción	11
1. Objetivos.....	13
1.1 Objetivo general	13
1.2 Objetivos específicos.....	13
2. Estado del Arte	14
3. Metodología.....	16
3.1 Etapa I. <i>Evaluación de las variables de almacenamiento</i>	17
3.1.1 Muestreo y recolección.....	17
3.1.2 Extracción Soxhlet.....	17
3.1.3 Rendimiento de extracción en Soxhlet	20
3.2 Etapa II. <i>Elección del solvente</i>	21
3.2.1 Extracción sólido-líquido con solventes.....	21
3.2.2 Recuperación del solvente	23
3.2.3 Rendimiento e índices de calidad	23
3.3 Etapa III. <i>Determinación de pérdidas y análisis de calidad</i>	25
3.3.1 Análisis de calidad.....	26
4. Resultados.....	27
4.1 Humedad y rendimiento inicial	27
4.2 Extracción sólido-líquido con solventes	29
4.3 Pérdidas por extracción y análisis de calidad.....	33
4.3.1 Adición de solvente	34
4.3.2 Perfil de ácidos grasos	35
5. Conclusiones.....	39
6. Recomendaciones	40
Referencias bibliográficas.....	41
Apéndices.....	44

Lista de tablas

Tabla 1. <i>Selección de la acidez grasa para expresión de los ácidos grasos libres</i>	24
Tabla 2. <i>Resultados porcentajes de humedad por muestras conforme se modifican los días de secado natural</i>	27
Tabla 3. <i>Resultados de los análisis sensoriales y fisicoquímicos para las grasas de la almendra de mango obtenidas usando diferentes solventes</i>	30
Tabla 4. <i>Calificación de las grasas obtenidas de la almendra de mango</i>	31
Tabla 5. <i>Calificación y análisis de seguridad y medioambiental por solvente</i>	32
Tabla 6. <i>Elección de solvente</i>	33
Tabla 7. <i>Pérdida de solvente por extracción</i>	34
Tabla 8. <i>Ácidos grasos principales presentes en la grasa de almendra de mango</i>	35
Tabla 9. <i>Perfil de ácidos grasos de la almendra de mango</i>	36

Lista de figuras

Figura 1. <i>Diagrama metodológico</i>	16
Figura 2. <i>Equipo Soxhlet</i>	18
Figura 3. <i>Montaje de extracción Soxhlet</i>	19
Figura 4. <i>Rotoevaporador Buchi 210</i>	20
Figura 5. <i>Montaje de extracción sólido-líquido con solventes</i>	22
Figura 6. <i>Rendimiento de extracción en Soxhlet por muestras conforme se modifican los días de secado natural</i>	28

Lista de apéndices

Apéndice A. Ilustraciones del muestreo en la finca.....	44
Apéndice B. Triturado y humedad de almendras de mango.....	45
Apéndice C. Datos del clima en San Martín – Cesar.....	46
Apéndice D. Características y composición de grasa de diferentes variedades de mango.....	46
Apéndice E. Rangos características fisicoquímicas del aceite de semilla de mango.....	49
Apéndice F. Identificación de materiales peligrosos	50
Apéndice G. Efecto de la humedad sobre las muestras	51
Apéndice H. Resultados comparación de solventes	52

Resumen

Título: Efecto del tiempo de almacenamiento de la semilla de mango en el municipio de San Martín-Cesar, sobre el rendimiento y la calidad del aceite obtenido en un proceso de extracción sólido-líquido con solventes. *

Autor: Angie Alejandra Valderrama Suarez**

Palabras clave: Aceite de mango, Calidad, Extracción sólido-líquido, Semilla, Solvente.

Descripción: El mango en procesos de producción de alimentos, como el despulpado de fruta, genera subproductos de desecho como: semillas, cáscara y bagazo, siendo estos recursos no aprovechados, implicando problemas de disposición de desperdicios. En el país, esta problemática disminuye la calidad del mercado, dejando pérdidas económicas para industrias y productores.

Se buscó hacer uso de la semilla o “almendra” de mango, principalmente del aceite extraído de la misma, el cual es rico en ácidos grasos y polifenoles que son ampliamente usados en la industria cosmética, farmacéutica y alimentaria. El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto del tiempo de almacenamiento, variando los tipos de secado de la semilla de mango (húmeda, completa expuesta al sol y abierta con la almendra expuesta al sol, todas con posterior secado en el laboratorio) sobre el rendimiento y la calidad de su aceite. La semilla se sometió inicialmente a un proceso de extracción sólido-líquido en un equipo Soxhlet. Para posteriores etapas se empleó la extracción sólido-líquido con solventes usando hexano y butanol, que se compararon respecto a su rendimiento de extracción, análisis sensoriales, de laboratorio y medioambientales. En este proceso el butanol resultó con un rendimiento másico 2,11 veces mayor que el hexano, sin embargo, en análisis sensoriales logró mejores resultados físicos en comparación con el butanol. Adicionalmente, se determinó la cantidad de solvente fresco que se incorpora a cada ciclo de extracción y se identificó que en cada lote se debía reemplazar de 60 a 75 ml de este.

Para analizar la calidad del aceite, se realizó una derivarización de ácidos grasos que consistió en separar el aceite del solvente obtenido de la extracción, transesterificar los triglicéridos usando KOH metanólico; finalmente se identificaron y cuantificaron por cromatografía gaseosa los ésteres metílicos producidos. Por otro lado, se midieron parámetros que se consideran indicadores de deterioro como los ácidos grasos libres, el índice de peróxido, acidez y yodo.

Al final de todo el proceso se identificaron condiciones con las que se obtiene un aceite o manteca de mango con características similares a la que se oferta hoy en día en el mercado como el índice de yodo (47,24 I₂/100g), peróxidos (0,76 meqO₂/kg) y perfil de ácidos grasos. Con este tipo de iniciativas no solamente se reduce el impacto ambiental causado por los residuos de procesamiento, también se proponen alternativas de valorización que están alineadas con la estrategia de economía circular que lidera muchos de los procesos industriales en el país y en el exterior.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química. Director: Luis Javier López Giraldo. Doctor en Química Bioquímica y Ciencia de Alimentos.

Abstract

Title: Effect of storage time of mango seed in the municipality of San Martín-Cesar, on the yield and quality of the oil obtained in a solid-liquid extraction process with solvents. *

Author: Angie Alejandra Valderrama Suarez**

Key words: Mango oil, Quality, Solid-liquid extraction, Seed, Solvent.

Description: The mango in food production processes such as fruit pulping, generates waste by-products such as: seeds, peel and bagasse, these resources being unused, implying waste disposal problems. In the country, this problem decreases the quality of the market, leaving economic losses for industries and producers.

It was sought to make use of the mango seed or "almond", mainly the oil extracted from it, which is rich in fatty acids and polyphenols that are widely used in the cosmetic, pharmaceutical and food industries. The objective of this research was to evaluate the effect of storage time, varying the types of drying of the mango seed (wet, complete exposed to the sun and open with the almond exposed to the sun, all with subsequent drying in the laboratory) on the performance and quality of your oil. The seed was initially subjected to a solid-liquid extraction process in a Soxhlet equipment. For later stages, solid-liquid solvent extraction was used using hexane and butanol, which were compared with respect to their extraction performance, sensory, laboratory and environmental analyses. In this process, butanol resulted in a mass yield 2.11 times higher than hexane, however, in sensory analysis it achieved better physical results compared to butanol. Additionally, the amount of fresh solvent incorporated into each extraction cycle was determined and it was identified that 60 to 75 ml of it should be replaced in each batch.

To analyze the quality of the oil, a derivatization of fatty acids was carried out, consisting of: the oil is separated from the solvent obtained from the extraction, an esterification is carried out using methanolic KOH; Finally, the methyl esters produced are identified and quantified by gas chromatography. On the other hand, parameters that are considered indicators of deterioration were measured, such as free fatty acids, peroxide index, acidity and iodine.

At the end of the entire process, conditions were identified with which to obtain a mango oil or butter with characteristics like those offered on the market today, such as the iodine value (47.24 I₂/100g), peroxides (0.76 meqO₂/kg) and fatty acid profile. With these types of initiatives, not only is the environmental impact caused by processing waste reduced, but recovery alternatives are also proposed that are aligned with the circular economy strategy that leads many of the industrial processes in the country and abroad.

* Degree Work

** Faculty of Physicochemical Engineering. School of Chemical Engineering. Director: Luis Javier López Giraldo. Doctor in Biochemical Chemistry and Food Science.

Introducción

El mango o también conocido como el “Rey de las Frutas”, es comercialmente una de las frutas tropicales más importantes en el mundo ya que al ser su pulpa de buena calidad nutricional, con un sabor agradable, dulce y suave, tiene alto valor en la industria, principalmente en la producción de néctares, jugos, encurtidos, conservas, entre otros derivados (Jahurul et al., 2014). En fases posteriores al procesamiento de la fruta, los residuos del mango obtenidos comúnmente no son procesados debido a que no poseen valor industrial en la producción; situación que contribuye a problemas no solo ambientales sino también económicos cuando no son dispuestos adecuadamente (Córdova & Württele, 2019).

En Colombia, en el año 2020 se produjeron 261.150 toneladas de mango. Por su parte, el departamento del Cesar en donde se encuentra el municipio de San Martín aportó 7.576 toneladas de esta producción (Minagricultura, 2019a) , lo que implica más de 2.000 hectáreas sembradas en este sector (Minagricultura, 2019b). Del total de la producción, se obtienen alrededor de 50% de residuos que están compuestos por: el hueso (que contiene la capa exterior y la semilla o almendra interna), la cáscara y el bagazo (Bustamante & Vilchis, 2008).

Las empresas generalmente no buscan opciones para la transformación de los desechos debido a los elevados costos de disposición de los residuos; sin embargo, en vista que se genera una alta cantidad de desperdicio, optan por incluir procesos de valorización como: compostaje, lombricultura (Yepes et al., 2008) y según indica Jaime Ángel, propietario de la empresa POTOSÍ LTDA, “algunos desechos son para los novillos que se tragan la pepa y con el proceso de digestión lo botan nuevamente convirtiéndose en materia orgánica para el potrero”. Aun así, no se hace un aprovechamiento completo de este recurso natural teniendo en cuenta que del 100% de los residuos, 20% podrían usarse para obtención de pectinas y el 80% restante para la extracción de

ácidos grasos (Heredia, n.d.). Estos provienen de la almendra del mango y tienen un contenido graso de 8,5% a 10,4% según la variedad (Sanz M et al., 2021).

La obtención del aceite se realiza a través de procesos de extracción sólido-líquido (S-L) y de fluidos supercríticos (SFE), entre otros. De estos métodos la extracción S-L es uno de los más comunes y eficaces, con alta capacidad de recuperación y operación simple (Tzia & Liadakis, 2003).

En el marco de esta investigación de modelo “exploratoria” (funciona como base para la realización de nuevas investigaciones) se estudiaron y analizaron las variables de la disposición de semillas de mango procedentes de la empresa POTOSÍ LTDA que afectaron el proceso de extracción S-L y con los resultados se responde a la pregunta ¿Que efecto tienen las variables de tiempo de almacenamiento y tipo de secado de la semilla de mango sobre el rendimiento y la calidad del aceite obtenido por un proceso de extracción sólido-líquido con solventes?

1. Objetivos

1.1 Objetivo general

Evaluar el efecto del tiempo de almacenamiento de la semilla de mango sobre el rendimiento y la calidad del aceite obtenido en un proceso de extracción sólido-líquido con solventes.

1.2 Objetivos específicos

Identificar el rendimiento y la calidad del aceite de la semilla de mango mediante la variación del tiempo de almacenamiento y tipo de secado por medio de un sistema de muestreo.

Seleccionar el solvente evaluando el rendimiento de extracción.

Determinar la cantidad de solvente fresco a incorporar por cada ciclo en el proceso de extracción sólido-líquido.

2. Estado del Arte

El mango es una de las 3 frutas tropicales que más se comercializan a nivel mundial, representó más de la mitad de producción en 2018 (FAO, 2018) y en el país proporciona un mercado importante debido a la gran variedad de éste (Fedemango, 2019). Sin embargo, después de obtener productos industriales de la fruta (pulpas, néctar, encurtidos, conservas) o ser consumida, los principales subproductos que equivalen aproximadamente al 50-55% son comúnmente desechados como residuos sólidos. Estos residuos están representados por: cáscara, restos de pulpa y semilla (Betancourt et al., 2007), desaprovechando la oportunidad de usar este recurso para la extracción de pectinas y ácidos grasos (Heredia, n.d.).

Estudios de diferentes variedades de mango realizados por Lakshminarayana et al, (n.d.) demuestran que el aceite obtenido de su semilla es una fuente rica en ácidos grasos como: ácido palmítico (16:0), esteárico (18:0), oleico (18:1), linoleico (18:2) y araquídico (20:0) (Lakshminarayana et al., n.d.). Otros compuestos predominantes son los polifenoles que han sido usados ampliamente en la industria farmacéutica, de alimentos y cosmética (Rosso Cerón & Toro Uribe, 2011) (Rios Vargas, 2019).

Con las investigaciones del Parque Industrial BiOrigins (BiOrigins, 2015) del Reino Unido y de Universidad Nacional Autónoma de México (Bustamante & Vilchis, 2008), se obtienen rangos y normativas de perfiles de ácidos grasos y detalles analíticos, para las grasas de la almendra de mango. Con estos datos, se han realizado comparaciones para determinar la calidad de la grasa de semilla de mango (*Mangifera Indica*). Por otra parte, en Colombia, aún no se encuentra registrada una norma técnica de los requisitos que debe cumplir la grasa de semilla de mango (Londoño Soto, 2012), por esto, se requiere implementar estudios de este aceite en el país.

La obtención de aceite es un proceso ampliamente conocido y usado a gran escala en países como India, estados Unidos, Australia y Nueva Zelanda (Bustamante & Vilchis, 2008). Se han realizado diferentes estudios para realizar la extracción de éste, entre ellos, Sanz et al, sugirieron la extracción sólido-líquido con solventes, de la cual se obtiene aceite de buena calidad, siendo más común la extracción Soxhlet en donde el disolvente puede ser reutilizado por recirculación (Sanz M et al., 2021).

El hexano ha sido usado como solvente de extracción durante muchos años, debido a sus propiedades no polares y su fácil recuperación en la extracción de aceites vegetales; además tiene bajo punto de ebullición (68.74°C), bajo costo y fácil disponibilidad (Aula, n.d.). No obstante, en una investigación principalmente enfocada en la evaluación de extracción con solventes alternativos, Abert-Vivian et al afirmaron que a pesar de las ventajas que se obtienen de la extracción con hexano, éste puede tener influencias negativas sobre el medio ambiente. A causa de esto, se investigó el uso de solventes alternativos para la extracción; usando las siguientes variables de desempeño: rendimiento de extracción y calidad del aceite. Un solvente de interés es el butanol y en comparación con el hexano, este obtiene un rendimiento superior de hasta 9% (Abert-Vian et al., 2014).

Se han realizado estudios del efecto de almacenamiento sobre la vida útil de la grasa de semilla de mango, evaluando el efecto que tienen los cambios de tiempo y temperatura sobre los índices de iodo, acidez y peróxidos, los cuales son indicadores del avance de la oxidación y por lo tanto del deterioro de las grasas y aceites (Martínez et al., n.d.).

En esta investigación se plantearán experimentos con muestras proporcionadas por POTOSÍ LTDA, empresa despulpadora de frutas que procesa diariamente 50 toneladas de mango, lo que genera un 50% de residuos. Se realizarán experimentos de extracción sólido-líquido con

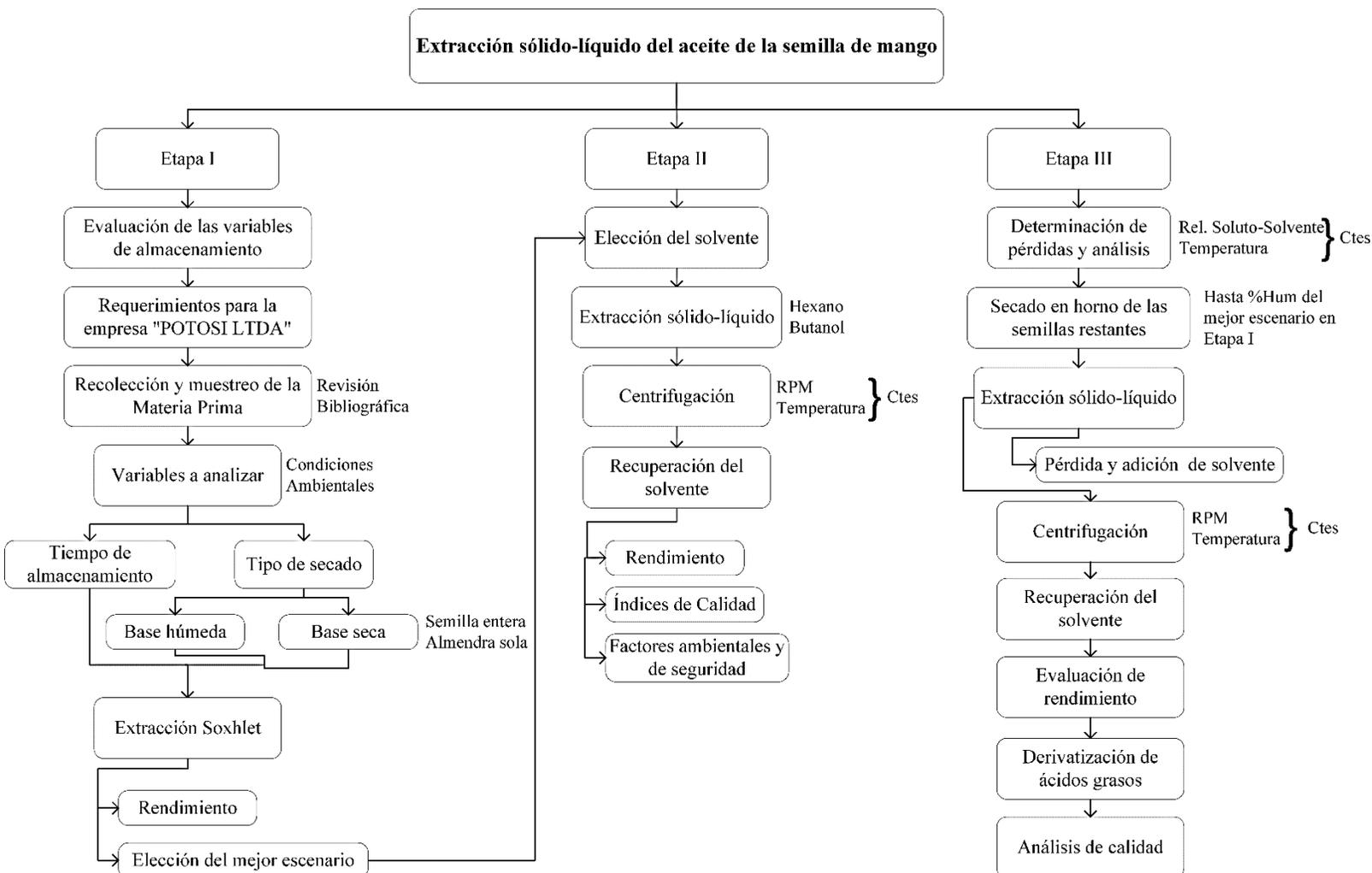
solventes y como resultado se obtendrá información que permitirá determinar la incidencia positiva o negativa del tiempo y tipo de almacenamiento de las semillas de mango sobre la calidad de su aceite.

3. Metodología

El siguiente diagrama presenta la metodología implementada para llevar a cabo los objetivos de esta investigación.

Figura 1.

Diagrama metodológico



A continuación, se describen detalladamente las etapas y actividades realizadas en la metodología para alcanzar los objetivos de esta investigación.

3.1 Etapa I. *Evaluación de las variables de almacenamiento*

3.1.1 Muestreo y recolección

En los requerimientos a POTOSI LTDA se especificó: el tiempo de estadía, no realizar la disposición de las semillas inmediatamente (lombricultivo o alimento a bovinos) y el espacio para realizar el secado al ambiente. Seguidamente, realizando una búsqueda bibliográfica, la opción más viable fue la del muestreo no probabilístico para población infinita (Bolaños Rodriguez, 2012) tomando un tiempo de secado de 5 días (en la finca) en donde se realizó una recolección de 105 muestras a condiciones ambientales de la región. Esta intervención se hizo el mismo día en que se ejecutó el despulpado en la finca, inicialmente guardando las muestras húmedas y posteriormente disponiendo de estas en bandejas, cada día se recogieron 21 semillas por tipo de secado (ver apéndice A).

El secado se realizó en base húmeda (la semilla recién salida del proceso de despulpado), y en base seca en el cual se dispuso la semilla cerrada completamente y abierta con la almendra expuesta, en ambos casos el secado se realizó al sol.

3.1.2 Extracción Soxhlet

Posteriormente en el laboratorio se trituraron las almendras almacenándolas al vacío y a -23°C, además, se halló la humedad de cada tipo de muestra en la balanza gravimétrica (apéndice B).

El funcionamiento del equipo Soxhlet se basa en la extracción sólido-líquido en continuo ocupando un disolvente. El equipo está conformado por:

- Balón de destilación o matraz de fondo plano en donde se agrega el solvente
- Condensador, recircula agua fría permitiendo que el solvente se condense en el tubo Soxhlet
- Tubo Soxhlet, es el que realiza el empapado de solvente al cartucho que está internamente junto con muestra, y por su estructura es capaz de ejecutar sifones recirculando el solvente de forma continua
- Plancha o manta de calentamiento, lleva el solvente hasta su temperatura de ebullición

Figura 2

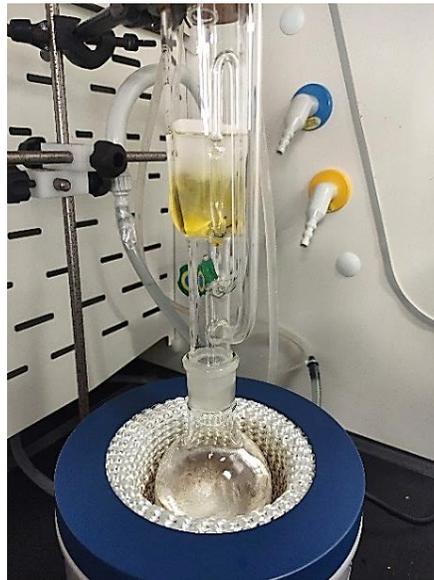
Equipo Soxhlet



En la figura 2 se observa de izquierda a derecha: condensador, balón y sifón Soxhlet, para completar el equipo se necesita la plancha de calentamiento que se aprecia en la figura 3 de color azul.

Figura 3

Montaje de extracción Soxhlet



Se realizó una extracción por cada muestra a condiciones de operación de 4 horas de reflujo en el sifón con temperatura interna del equipo a 60-65°C en un balón de destilación usando 200 ml de solvente. Terminando el tiempo de extracción, se llevó el balón que contiene grasa mas solvente a un rotoevaporador Büchi 210 (figura 4) que consta de: una bomba de vacío y trabaja a 360 y 25 mbar para evaporar el hexano y butanol respectivamente, un baño de agua a 55°C y un condensador a 10°C, en donde se recuperó el solvente para posteriores usos, mientras que la grasa queda depositada en el balón. Por último, se secó la muestra en estufa de secado Blinder ED115 a 60°C por 90 minutos, eliminando el solvente restante para después enfriar la muestra a temperatura

ambiente (20°C) en el desecador por 50 minutos como mínimo. Estas extracciones se desarrollaron con hexano hallando el rendimiento total inicial de cada muestra.

Figura 4

Rotoevaporador Buchi 210



3.1.3 Rendimiento de extracción en Soxhlet

Las extracciones realizadas en esta etapa se desarrollaron con hexano hallando el rendimiento total inicial de cada muestra en base seca usando la siguiente fórmula:

$$P_{MBS} = P_M * (1 - H_{prom}) \quad (\text{Ec. 1})$$

$$\%Rendimiento = \frac{P_G}{P_{MBS}} * 100 \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde P_{MBS} es el peso en g de la muestra en base seca, P_M es el peso en g de la muestra inicial (muestra que se agrega en el cartucho), H_{prom} es la humedad promedio muestra y P_G es el peso en g de la grasa obtenida.

3.2 Etapa II. Elección del solvente

3.2.1 Extracción sólido-líquido con solventes

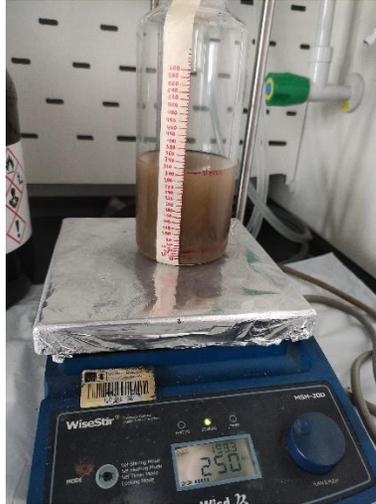
Este equipo está conformado por:

- Matraz de laboratorio, al cual se le agrega la muestra de almendras junto con el solvente y un agitador
- Condensador, recircula agua fría permitiendo que el solvente evaporado se condense y vuelva a caer sobre la mezcla de muestra+solvente
- Plancha de calentamiento y agitación, mantiene la temperatura requerida por el proceso con agitación para garantizar que toda la muestra se impregne con el solvente

En la figura 5 se muestra el montaje de extracción S-L, cabe aclarar que el condensador está en la parte de arriba del matraz ya que se ven las tuberías por donde pasa el agua refrigerante.

Figura 5

Montaje de extracción sólido-líquido con solventes



Se realizaron dos extracciones a las siguientes condiciones de operación: tiempo de 90 min, temperatura interna de extracción a 60°C, relación soluto:solvente de 30g:300ml y rpm de 250 (Yadav et al., 2017).

Para que este tipo de extracción obtenga una temperatura interna constante, es necesario verificarla con termómetro a medida que va pasando el tiempo ya que la temperatura registrada en la plancha de calentamiento es mayor. La mezcla de las harinas de las almendras de mango y el solvente en proporciones 30:300 m:v, se llevaron a una plancha de calentamiento a 200°C por 15 minutos hasta que la temperatura de la mezcla alcanzó los 60°C. Es en ese momento en donde se empezó a contar el tiempo de extracción, luego la temperatura de la plancha se redujo hasta 160°C y se varió entre 160-180°C controlándola cada 10 minutos, de tal suerte que la temperatura del medio en donde ocurre el proceso de extracción permanezca constante a 60°C.

3.2.2 Recuperación del solvente

La mezcla de grasa+solvente obtenida de la extracción se pasó por filtros de café, sin embargo, la muestra se mantuvo con orujos de almendra, por lo tanto, se llevó a la centrífuga refrigerada THERMO SCIENTIFIC SL8R a 3000 rpm con temperatura de 30°C por 10 minutos. Posteriormente se recuperó el solvente por rotoevaporación a las condiciones especificadas en la sección 3.1.2. En esta etapa, no se usó la estufa de secado por prevención de mezclas y acumulación de gases emanados por los solventes, en consecuencia, se eligió el secado con la línea de nitrógeno (apéndice H), proceso realizado por 30 minutos manteniendo la grasa líquida y homogénea con una plancha de calentamiento y agitación a 100°C y 100 rpm respectivamente.

3.2.3 Rendimiento e índices de calidad

El rendimiento se halló como un rendimiento global ya que se acumularon las muestras de grasa+solvente por cada extracción.

Para determinar la calidad, se realizaron análisis de laboratorio y sensoriales (caracterización físico química) que contienen el índice de acidez, %AGL (ácidos grasos libres), índice de peróxidos, color, olor y apariencia, análisis realizados siguiendo instrucciones de la Norma Técnica Colombiana (NTC); por otro lado, se tuvo en cuenta el factor ambiental en donde se compararon los solventes respecto a un análisis de seguridad y medioambiental teniendo en cuenta los riesgos a la salud, inflamabilidad, reactividad y recuperación del solvente.

A continuación, se presentan ecuaciones necesarias para determinar los análisis de laboratorio y porcentaje de recuperación del solvente:

Índice de Acidez y %Ácidos Grasos Libres (NTC 218:2011):

$$\text{Índice de acidez} \left[\frac{\text{mg KOH}}{\text{g}} \right] = \frac{56,1 \cdot V \cdot c}{m} \quad (\text{Ec. 3})$$

$$\%AGL = \frac{V \cdot c \cdot M}{10 \cdot m} \quad (\text{Ec. 4})$$

Donde V es el volumen en ml de la solución normalizada de hidróxido de potasio (KOH) o sodio (NaOH) usada, c es la concentración en mol/L de la solución volumétrica normalizada de hidróxido de sodio o potasio, m es el peso en g de la muestra y M es la masa molar en g/mol del ácido escogido para la expresión del resultado (tabla 1).

Tabla 1

Selección de la acidez grasa para expresión de los ácidos grasos libres

Tipo de grasa	Expresada como	Masa molar [g/mol]
Aceite de coco, aceite de palmiste y similares	Ácido láurico	200
Aceite de palma	Ácido palmítico	256
Aceite de algunas crucíferas ¹	Ácido erúxico	338
Todas las otras grasas	Ácido oleico	282

Nota. ¹En el caso de semillas de colza con un contenido máximo de ácido erúxico de 5% (m/m), la acidez se debe expresar como ácido oleico. Fuente: Norma Técnica Colombiana 218:2011.

Índice de peróxido (NTC 236:2011):

$$\text{Índice de peróxido} \left[\frac{\text{meq O}_2}{\text{kg}} \right] = \frac{(V - V_0) \cdot c \cdot 1000}{m} \quad (\text{Ec. 5})$$

Donde V es el volumen en ml de la solución de tiosulfato de sodio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) utilizada para la determinación de la muestra, V_0 es el volumen en ml de la solución de tiosulfato de sodio utilizada para la determinación del blanco, c es la concentración en mol/L de la solución de tiosulfato de sodio y m es el peso en g de la muestra.

%Recuperación del solvente:

$$\%Rec = \frac{S_f}{S_i} * 100 \quad (\text{Ec. 6})$$

Donde S_f es el volumen en ml del solvente final obtenido en el rotoevaporador y S_i es el volumen en ml del solvente inicial.

3.3 Etapa III. *Determinación de pérdidas y análisis de calidad*

A las almendras resultantes no elegidas en la sección 3.1 (descartando las muestras con hongo) se les realizó secado en estufa a 50°C llevándolas al porcentaje de humedad del mejor escenario en la etapa I usando la balanza gravimétrica.

Luego, se llevaron a cabo extracciones sólido-liquido, donde se halló la pérdida de solvente por extracción y se adicionó el solvente fresco. Posteriormente se llevó a cabo la centrifugación y recuperación de solvente, cabe aclarar que para estos procesos se usaron las condiciones de operación tal y como se indicó en la sección 3.2.

La cuantificación de ácidos grasos se ejecutó en un cromatógrafo de gases Agilent 7890A por el método FAMES (Analysis of Fatty Acid Methyl Esters) que consiste en: separar el aceite del solvente obtenido de la extracción, realizar una esterificación usando KOH metanólico; y, por último, identificar y cuantificar por cromatografía gaseosa los ésteres metílicos producidos que

comprenden los principales ácidos como: palmítico (C16:0), esteárico (C18:0), oleico (C18:1), linoleico (C18:2) y sigma linoleico (C18:3).

3.3.1 Análisis de calidad

Se determinó el perfil de ácidos grasos que abarca al rendimiento, derivatización de ácidos grasos, análisis sensoriales (color, olor, apariencia) y laboratorio como: índice de yodo, saponificación, %AGL e índices de acidez y peróxidos, los 3 últimos ya especificados en la sección 3.2.3. En seguida se indican las ecuaciones correspondientes para determinar los análisis restantes.

Índice de Yodo

$$\text{Índice de Yodo} \left[\frac{g I_2}{100g} \right] = \frac{12,69 * c (V - V_0)}{m} \quad (\text{Ec. 7})$$

Donde c es la concentración en mol/L de la solución de tiosulfato de sodio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$), V es el volumen en ml de la solución de tiosulfato de sodio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) utilizada para la determinación de la muestra, V_0 es el volumen en ml de la solución de tiosulfato de sodio utilizada para la determinación del blanco y m es el peso en g de la muestra.

Saponificación

$$I_s = \frac{(V - V_0) * c * 56,1}{m} \quad (\text{Ec. 8})$$

Donde V es el volumen en ml de la solución de ácido clorhídrico (HCl) utilizada para la determinación de la muestra, V_0 es el volumen en ml de la solución de ácido clorhídrico utilizada

para la determinación del blanco, c es la concentración en mol/L de la solución de ácido clorhídrico y m es el peso en g de la muestra.

4. Resultados

4.1 Humedad y rendimiento inicial

A continuación, se presentan resultados de humedad tomados con la balanza gravimétrica.

Tabla 2

Resultados porcentajes de humedad por muestras conforme se modifican los días de secado natural

Tiempo [Días]	% Humedad		
	Muestra cerrada	Muestra abierta	Muestra base húmeda
1	51,0 ± 5,09	52,9 ± 0,42	
2	46,7 ± 0,62	42,0 ± 0,24	
3	45,0 ± 0,56	42,3 ± 0,53	42,8 ± 0,53
4	43,0 ± 0,15	27,0 ± 0,52	
5	36,6 ± 0,57	16,4 ± 0,37	

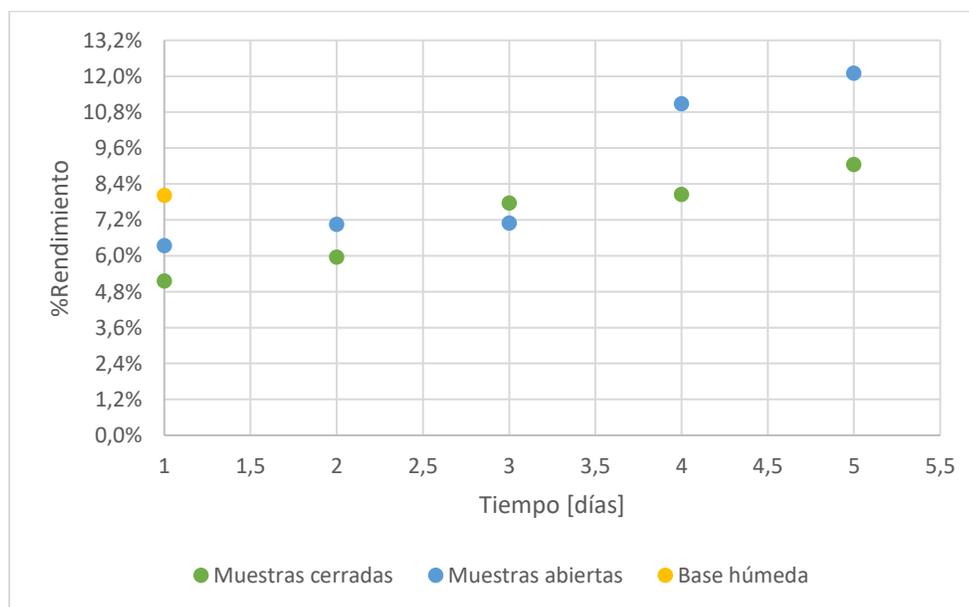
Nota. Todos los valores fueron medidos por triplicado y se expresa su promedio ± desviación estándar

En lo que respecta a la *muestra base húmeda*, se percibe un resultado de humedad menor (42,8%) obteniendo mayor rendimiento (8,02%) en comparación con las *muestras secas* del primer día, sin embargo, al observar los resultados posteriores, se descartó el uso de esta muestra.

De acuerdo con los datos obtenidos, se observó una disminución de agua presente en la muestra con el incremento en los días, apreciando un mejor secado en las almendras que estuvieron expuestas directamente al sol siendo menor la humedad de la *muestra 5 abierta* con un porcentaje de 16,4. Este resultado resulta en un buen compromiso entre contenido de humedad para minimizar la probabilidad de aparición de microorganismos y el límite inferior para este tipo de material que es de un valor de 10% aproximadamente, en el cual el aceite extraído pierde sus propiedades químicas (Llorente & Sarmiento, 2008). Es de aclarar que las condiciones ambientales de la zona fueron variables y aunque la sensación térmica se mantuvo entre 24-35°C, debido a la época de lluvias la humedad del ambiente incrementó (apéndice C) lo que evitó obtener mejores resultados en el secado de las muestras.

Figura 6.

Rendimiento de extracción en Soxhlet por muestras conforme se modifican los días de secado natural



En la figura 6 se observa el rendimiento de extracción de aceite en base seca, alcanzado por cada muestra luego de pasar por el proceso de extracción Soxhlet a una temperatura interna de 60-65°C y un tiempo de 4 horas. El rendimiento que se halló con este equipo se tomó como total o máximo inicial y se usó como referencia para los cálculos que se efectuaron en la extracción sólido-líquido de posteriores etapas.

Los resultados obtenidos en este trabajo coinciden con el rango de rendimientos de extracción en diferentes variedades de almendras de mango, los cuales están entre 3,7% y 12,6% (Lakshminarayana et al., n.d.) (ver apéndice D). Este resultado permite inferir que después del secado en condiciones ambientales no hubo descomposición o pérdidas de aceite de la almendra de mango. También se aprecia que conforme se elimina humedad de la muestra se aumentan los rendimientos de extracción, lo cual podría ser consecuencia de un mejor contacto entre el solvente y el soluto, ya que se han eliminado las capas de agua externa que entendemos como humedad. Con base en lo que se aprecia en la figura 6 se concluye que la *muestra 5 abierta* (humedad: 16,04%) es con la que se obtienen las mejores condiciones para obtener el mejor rendimiento posible (12,6%); por lo tanto, se eligieron estas condiciones para próximas etapas.

4.2 Extracción sólido-líquido con solventes

Los resultados obtenidos por cada solvente se evidencian en la tabla 3, especificado el método que se realizó para cada uno. Además, en el apéndice E se indican los rangos de calidad (enfocados en el campo cosmético) establecidos para cada parámetro con los que se realizó la calificación respecto a los análisis sensoriales y de laboratorio (ver tabla 4). Por su parte, el rendimiento se seleccionó con el mayor dato obtenido por solvente, asimismo para el porcentaje de recuperación observado en los análisis de seguridad y medioambiental (tabla 5) que igualmente

son calificados por solvente. Estos análisis se detallan en los diamantes de riesgos de cada sustancia (ver apéndice F).

Tabla 3.

Resultados de los análisis sensoriales y fisicoquímicos para las grasas de la almendra de mango obtenidas usando diferentes solventes

Tipo de Análisis	Parámetro	Tipo de solvente		Método
		Hexano	Butanol	
Análisis Sensorial	Color	Amarillo claro	Amarillo oscuro	Visual
	Olor	Libre de olores	Solvente fuerte	Olfativo
	Apariencia (20°C)	Semisólida ¹ . Homogénea	Semisólida. No homogénea	Visual
Análisis Laboratorio	% Rendimiento	11,72%	24,75%	NTC 6223:2017
	Índice Acidez	3,16	44,76	NTC 218:2011
	%AGL	1,59%	22,50%	NTC 218:2011
	Índice Peróxido	1,82	0,78	NTC 236:2011

Nota: ¹Hace referencia a una textura suave y fácil de esparcir.

En la tabla 3 se aprecia que el rendimiento de extracción de aceites usando butanol es el doble que el obtenido para el hexano, resultados similares a los proporcionados por la investigación de Abert-Vivian et al (butanol: 33,67%, hexano: 25,02%) (Abert-Vian et al., 2014). Este comportamiento podría explicarse si se considera que el butanol es un solvente de polaridad intermedia y en consecuencia puede extraer, además de grasas neutras, grasas polares presentes en las harinas de la almendra de mango. Pese a que se obtuvieron mejores rendimientos, la extracción usando butanol conduce a una grasa con un olor fuerte y con una consistencia semisólida que no es apreciada por la industria cosmética en donde encontrará su mayor aplicación. Por lo tanto,

habría que mejorar el proceso de extracción y de desodorización antes de llegar a un producto como el que se obtiene con el hexano.

Tabla 4

Calificación de las grasas obtenidas de la almendra de mango

Tipo de Análisis	Parámetro	Rango	Hexano		Butanol		Referencia
			Cumple	No Cumple	Cumple	No Cumple	
Análisis Sensorial	Color	Amarillo pálido	X			X	(BiOrigins, 2015)
	Olor	Libre de olores rancios o extraños	X			X	
	Apariencia (20°C)	Grasa semisólida. Suave. Homogénea	X			X	
Análisis Laboratorio	% Rendimiento	% Mayor		X	X		
	Índice Acidez	≤ 0,5		X		X	
	% AGL	≤ 0,25		X		X	
	Índice Peróxido	≤ 10	X		X		
Total			<u>4</u>	3	<u>2</u>	5	

Nota. Los números subrayados son los que se usan para la calificación final

En esta tabla se aprecia que para el caso de la extracción con hexano el índice de acidez y el contenido de ácidos grasos libres no cumplen con la normativa; para implementar un proceso de mejora primero hay que determinar en cual etapa del procesamiento de la almendra pueden

formarse (despulpado de la fruta, recolección, almacenamiento de las harinas, extracción o en el almacenamiento de la grasa). Según Beltrán C, al almacenar el aceite con un mínimo contenido de humedad (0,10% en peso) se puede evitar incrementos en la acidez (Beltrán Roldán, 1991). Con respecto al butanol, además del índice de acidez y el %AGL, también incumple con las expectativas de color, olor y apariencia; por lo tanto, se prevé que los procesos de refinación para los aceites obtenidos con este tipo de solvente serán más demandantes. También resulta mesurado pensar que con mayores etapas de refinación los rendimientos de los aceites obtenidos disminuirán, por lo tanto, la aparente venta de rendimiento de extracción para este solvente, comparado con el hexano no necesariamente existiría.

Tabla 5.

Calificación y análisis de seguridad y medioambiental por solvente

Parámetro	Tipo de solvente		Rango	Calificación	
	Hexano	Butanol		Hexano	Butanol
Riesgos Salud	2	2	0-1 Nivel de riesgo "bajo"; 2-4 Nivel de riesgo "alto"	2	2
Inflamabilidad	3	3	0-1 Nivel de riesgo "bajo"; 2-4 Nivel de riesgo "alto"	3	3
Reactividad	0	0	0-1 Nivel de riesgo "bajo"; 2-4 Nivel de riesgo "alto"	0	0
%Recuperación del solvente	80%	93%	%Mayor = 2 %Menor = 1 ¹	1	2
Total				<u>6</u>	<u>7</u>

Nota. ¹Se asignó valor numérico a este parámetro para practicidad de calificación.

A continuación, se presentan los resultados de todos los análisis para cada uno de los solventes usados para la extracción de la grasa de la harina de la almendra de mango. El objetivo

de esta matriz es asignar puntuaciones y seleccionar el método que resulte más conveniente para realizar el proceso de extracción.

Tabla 6.

Elección de solvente

Parámetro	Tipo de solvente	
	Hexano	Butanol
Análisis sensorial y laboratorio	4	2
Análisis de seguridad y medioambiental	6	7
Total	<u>10</u> 	<u>9</u> 

Después de realizar las calificaciones de cada análisis se observa poca variabilidad entre los resultados de cada solvente, sin embargo, el hexano con un punto más que el butanol, fue el solvente elegido para posteriores etapas de la investigación.

4.3 Pérdidas por extracción y análisis de calidad

Previo a la extracción, se realizó secado en horno. En el apéndice G se observa el porcentaje de humedad al que llegó cada muestra en donde se aprecia el efecto de esta sobre las semillas con la aparición de hongo (para este proceso se eligieron las almendras libres de hongo). Pese a que no se obtuvieron datos de humedad iguales, se realizó un promedio que se acercó 99,14% al valor de humedad de la muestra elegida en la sección 4.1 (ver tabla 2).

4.3.1 Adición de solvente

Se realizaron 8 extracciones que precisaron 240 gramos de almendra y 2400 ml de solvente. En la tabla 7 se muestran los resultados de pérdida de solvente, el cual fue reemplazado con solvente fresco a los 90 minutos de cada extracción. Cabe mencionar que las muestras obtenidas en cada extracción (grasa+solvente) se reservaron y almacenaron a temperatura ambiente durante los días que demoró el proceso de extracción (5 días).

Tabla 7

Pérdida de solvente por extracción

Extracción [N°]	Pérdida de solvente [ml]
1	75
2	70
3	75
4	70
5	60
6	70
7	70
8	62
Total	552

Ya que es necesario separar el condensador del matraz en el equipo de extracción cada vez que se verifica la temperatura interna y al ser el hexano un solvente con alta volatilidad, las diferencias en los resultados de las pérdidas de solvente se dan por el tiempo requerido en cada toma de temperatura.

Agregar solvente fresco al proceso aumenta el rendimiento en un 14,3% (ver tabla 9) y según Yadav K et al, cuando la muestra de almendras se mantiene más tiempo en contacto con el solvente hay mayor rendimiento de extracción. Cabe aclarar que las muestras son 0,86% más secas.

4.3.2 Perfil de ácidos grasos

En el proceso de centrifugación y envasado de la muestra, se pierden aproximadamente 40-50 ml de solvente. Posterior a esta operación, se recuperó el solvente y se calculó el porcentaje de rendimiento, análisis sensoriales y laboratorio especificados en la sección 3.3.1. Con los resultados obtenidos en la derivatización de los principales ácidos grasos presentes en la grasa (ver tabla 8), se elaboró el perfil de ácidos grasos (tabla 9) que contiene los rangos de calidad (enfocados en cosmética) establecidos de cada parámetro (apéndice E) y los métodos usados en cada tipo de análisis.

Tabla 8

Ácidos grasos principales presentes en la grasa de almendra de mango

Nombre del Ácido	Resultado
Palmítico (C16:0)	6,6 ± 0,01
Esteárico (C18:0)	46,6 ± 0,04
Oleico (C18:1)	40,2 ± 0,10
Linoleico (C18:2)	4,4 ± 0,03
Sigma-Linoleico (C18:3)	2,2 ± 0,04

Nota. Todos los valores fueron medidos con réplica y se expresa su promedio ± desviación estándar.

Tabla 9

Perfil de ácidos grasos de la almendra de mango

Parámetro	Rango	Resultado	Método
%Rendimiento	-	13,7%	NTC 6223:2017
Apariencia (20°C)	Grasa semisólida. Suave. Homogénea	Semisólida. Homogénea	Visual
Color	Amarillo pálido	Amarillo claro	Visual
Olor	Libre de olores rancios o extraños	Libre de olores	Olfativo
Índice Peróxido [meqO ₂ /kg]	≤ 10	0,76	NTC 236:2011
%AGL (como oleico)	≤ 0,25	1,56	NTC 218:2011
Índice de Acidez [mgKOH/g]	≤ 0,5	3,10	NTC 218:2011
Índice de Yodo [g I ₂ /100g]	40 - 55	47,24	NTC 283:2019
Saponificación [mgKOH/g]	180 - 195	98,12	NTC 335:2019
Acido Palmítico (C16:0) **	11,0 - 17,0	6,6 ± 0,01	FAMES
Acido Esteárico (C18:0) **	30,0 - 45,0	46,6 ± 0,04	FAMES
Ácido Oleico (C18:1) **	38,0 - 50,0	40,2 ± 0,10	FAMES
Ácido Linoleico (C18:2) **	3,0 - 7,0	4,4 ± 0,03	FAMES
Acido Sigma-Linoleico* (C18:3) **	≤ 0,8	2,2 ± 0,04	FAMES

Nota. *Ácido también llamado “Linolénico”. **Valores medidos con réplica y se expresa su promedio ± desviación estándar.

El índice de peróxidos es una medida de oxidación en los lípidos en etapas iniciales, este debe ser menor a 10 miliequivalentes de oxígeno activo por kilogramo de aceite para aceites frescos, lo que indica que la grasa extraída en esta investigación está ubicada dentro del rango y su valor es menor al reportado por Carlos et al, informando datos de 7,5 meq O₂/kg (Carlos et al., 2015).

Como dato extra, la extracción sólido-líquido con solventes incrementó el rendimiento de extracción hasta un 11,49% el valor de la extracción Soxhlet.

Los resultados de índice de acidez (3,10 mg KOH/g) y yodo (47,24 g I₂/100g) son menores a los reportados por Yadav K et al (4,77 mg KAOH/g y 123,83 g I₂/100g respectivamente), quienes usan condiciones optimizadas en el proceso de extracción sólido-líquido. Por otro lado, el bajo índice de yodo indica mejor resistencia a la oxidación, lo que conducirá a una mayor vida útil y buena estabilidad del aceite (Kittiphoom & Sutasinee, 2013).

Estudios realizados informan datos de saponificación con valores de 201,3 mg KOH/g (Bustamante & Vilchis, 2008) y 209,1 mg KOH/g (Carlos et al., 2015). Resultados que demuestran gran diferencia al obtenido en esta investigación (98,12 mg KOH/g), valor que sugiere que el aceite obtenido en esta investigación contiene grasas neutras insaponificables (tal vez alcoholes grasos) que podría conferirle una ventaja de competitividad al aceite obtenido (Kittiphoom & Sutasinee, 2013). Sin embargo, será necesario realizar más análisis en esa vía para confirmar esta hipótesis.

Los principales ácidos grasos saturados encontrados fueron el ácido palmítico (6,6%) y esteárico (46,6%), mientras que los grasos insaturados fueron el ácido oleico (40,2%), linoleico (4,4%) y sigma linoleico (2,2%). Sanz et al, reportaron ácido palmítico (12%), esteárico (40,4%), oleico (33,6%), linoleico (8,1), linolénico (1,6%) y araquídico (3%) presentes en la semilla de mango. En un estudio realizado para la extracción de la grasa de semilla de mango usando 3 diferentes solventes, Kittiphoom & Sutasinee informaron que los ácidos saturados presentes extraídos con hexano son palmítico (8,97%), esteárico (37,37%) y araquídico (2,19%) mientras que el oleico (43,77%) linoleico (6,78%) y linolénico (0,79%) son los principales ácidos grasos insaturados. La composición de ácidos grasos de la semilla de mango indica que es más rico en ácidos esteárico y oleico en comparación a los aceites vegetales (Díaz Domínguez et al., 2017).

De todos los análisis realizados a los aceites extraídos de la harina de la almendra de mango se concluye que, en términos generales el producto obtenido se acerca mucho a las expectativas que tiene el mercado cosmético de él. Habría que verificar la mejor estrategia de refinación que permita obtener un producto con un contenido menor de %AGL y de índice de acidez.

5. Conclusiones

La presente investigación proporciona información de cada muestra recolectada en la finca de la empresa POTOSÍ LTDA, se apreció que el rendimiento aumentó conforme la humedad de la almendra disminuye, lo que implica que este valor es afectado notablemente por el tiempo de almacenamiento y forma de secado. Además, en las cifras de rendimiento desde el día 1 hasta el 5, se evidenció un incremento de 52,40% con el tipo de secado “muestra cerrada”, mientras que, con la “muestra abierta” se demostró que el rendimiento de extracción aumenta hasta un 56,97%.

Después de llevar a cabo las extracciones con cada solvente, además de evaluar el rendimiento, se realizaron análisis fisicoquímicos y sensoriales de la apariencia física de la grasa extraída con butanol (apéndice H), dejando la hipótesis de que el butanol puede que extraiga más componentes de la almendra aparte de la grasa (se evidencia en los valores de índice de acidez, %AGL y análisis sensoriales). Por otro lado, la volatilidad del hexano implica una desventaja para la recuperación de este en comparación con el butanol, sin embargo, obtuvo mejores resultados en la caracterización fisicoquímica.

El hexano al ser un solvente muy volátil tiene más facilidad de evaporarse y aunque se use condensador en el equipo de extracción, no es un proceso completamente cerrado, por lo tanto, hay presencia de fugas y conlleva a pérdidas mayores del solvente en la extracción, asimismo, implica una desventaja para la recuperación de éste.

Pese a que la proporción de ácidos saturados (53,2) sea poco mayor a los insaturados (46,8), el aceite de la almendra de mango tiene alto contenido de ácido oleico y de ácido esteárico que están en los rangos de concentración que se espera para este tipo de grasa.

6. Recomendaciones

Realizar un estudio de microbiológico del tipo de hongo presente en las almendras húmedas y hacer el estudio de calidad usando estas muestras contaminadas para verificar si es apropiado usarlas en la extracción de su aceite.

La muestra “base húmeda” tomada en el primer día obtuvo mejor rendimiento que las muestras base seca abiertas y cerradas, por ende, se recomienda hacer pruebas con este tipo de secado realizando el muestreo a diferentes días de despulpado del mango. También es aconsejable hacer la recolección en distintas cosechas al año (abril-mayo o diciembre).

Dado que este trabajo de investigación es base para la realización de nuevas investigaciones y con el objetivo de motivar a futuros trabajos de investigación en alternativas de valorización de desechos del despulpado de mango, particularmente en la extracción del aceite de su almendra, se recomienda optimizar y analizar el proceso permutando variables como:

- Tipo de extracción (soxhlet, sólido-líquido con solventes, y supercrítica con CO₂)
- Recolección en diferentes cosechas de la fruta
- Variedad de mango
- Variables del proceso como: temperatura, relación soluto:solvente y tiempo de extracción. Además, se aconseja realizar un muestreo más grande para obtener mayor cantidad de almendras y así implementar la variable de tamaño de partícula.
- También se recomienda que se haga un análisis bibliográfico en el que se estudien los procesos de refinación que podrían usarse para disminuir el contenido de AGL y acidez obtenidos en los aceites de mango extraídos en este trabajo.

Referencias bibliográficas

- Abert-Vian, M., Carre, P., Chemat, F., Fabiano-Tixier, A. S., Fine, F., Pages, X., Chemat, F., & Li, Y. (2014). *Evaluation of alternative solvents for improvement of oil extraction from rapeseeds*. In *Comptes Rendus Chimie* (Vol. 17, Issue 3, pp. 242–251). Elsevier Masson SAS. <https://doi.org/10.1016/j.crci.2013.09.002>
- Aula, F. (n.d.). *Disolventes usados en la extracción sólido-líquido. Extracción y Caracterización Físico-Química de Aceites Extraídos de Semillas Oleaginosas*. Retrieved January 29, 2022, from <https://www.aulafacil.com/cursos/investigacion/extraccion-y-caracterizacion-fisico-quimica-de-aceites-extraidos-de-semillas-oleaginosas/disolventes-usados-en-la-extraccion-solido-liquido-135405>
- Beltrán Roldán, C. (1991). *Influencia del procesamiento sobre la calidad final del aceite*. *Revista Palmas*, 12.
- Betancourt, J. E., Castrillon, C. E., Martinez, H. A., & Mejía, L. F. (2007). *Aprovechamiento del residuo agroindustrial de mango común (Mangifera Indica L.) en la obtención de azúcares fermentables*. *Ingeniería y Ciencia*, 3, 41–62.
- BiOrigins. (2015). *Certificate of Analysis*. In BiOrigins. Sandleheath Industrial Estate. <https://www.madarcorporation.co.uk/spec-sheets/butters/mango/Mango%20Butter%20-%204392305%20All%20docs.pdf>
- Bolaños Rodriguez, E. (2012). *Muestra y muestreo*. In Universidad Autónoma del estado de Hidalgo. Escuela superior de Tizayuca. <https://repository.uaeh.edu.mx/bitstream/handle/123456789/14620>
- Bustamante, S., & Vilchis, G. (2008). *Caracterización del aceite obtenido de almendras de diferentes variedades de mango y su aplicación como sustituto de manteca de cacao en rellenos y coberturas de chocolate*. <https://repositorio.unam.mx/contenidos/3501087>
- Carlos, G., Yezabel, R., Rubén, G., Vanessa, B., & César, I. (2015). *Extracción y caracterización de grasa y almidón de la almendra de mango variedad Alphonso (Mangifera indica L.)*. *Revista de La Facultad de Farmacia*, 57. <http://www.saber.ula.ve/handle/123456789/42003>
- Córdova, A., & Württele, J. (2019). *Estudio de prefactibilidad para la instalación de una planta productora de aceite extraído a partir de semillas de mango [Universidad de Lima]*. In Universidad de Lima. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. <http://doi.org/10.26439/ulima.tesis/10593>

- Díaz Domínguez, Y., Macias, M. R., & Santana, E. F. (2017). *Extracción de aceites de origen vegetal*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.11047.55201>
- FAO. (2018). *Las principales frutas tropicales. Análisis de mercado*. Food and Agriculture Organization of the United Nations . <https://www.fao.org/3/ca5692es/CA5692ES.pdf>
- FedeMango. (2019). *Federación Colombiana de productores de Mango*. <https://www.fedemango.org/>
- Heredia, J. B. (n.d.). *Extracción de aceite del hueso de mango*. Fundación Produce Sinaloa A.C.
- Jahurul, M. H. A., Zaidul, I. S. M., Norulaini, N. N. A., Sahena, F., Jaffri, J. M., & Omar, A. K. M. (2014). *Supercritical carbon dioxide extraction and studies of mango seed kernel for cocoa butter analogy fats*. *CYTA - Journal of Food*, 12(1), 97–103. <https://doi.org/10.1080/19476337.2013.801038>
- Kittiphoom, S., & Sutasinee, S. (2013). *Mango seed kernel oil and its physicochemical properties*. *International Food Research Journal*, 20(3), 1145–1149. <http://www.ifrj.upm.edu.my>
- Lakshminarayana, G., Rao, T. C., & Ramalingaswamy, P. A. (n.d.). *Varietal Variations in Content, Characteristics Composition of Mango Seeds and Fat*. Retrieved September 14, 2022, from <https://doi.org/10.1007/BF02540898>
- Llorente, J. J., & Sarmiento, R. A. (2008). *Estudio de la influencia de la temperatura y humedad en un proceso de extracción de aceite de semillas vegetales*. <http://hdl.handle.net/20.500.11912/197>
- Londoño Soto, B. (2012). *Resolucion-2154-de-2012 NTC*. In Ministerio de Salud y Protección Social. <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/resolucion-2154-de-2012.pdf>
- Martínez, J. A., Molina, J. F., & Zambrano-Herrera, W. (n.d.). *Determinación de la vida útil de la grasa de semilla de mango a diferentes temperaturas de almacenamiento*. *Revista Agrollanía*, 14, 1–5.
- Minagricultura. (2019a). *Cadena del Mango Indicadores e instrumentos*. In Dirección de Cadenas Agrícolas y Forestales. <https://sioc.minagricultura.gov.co/Mango/Documentos/2019-06-30%20Cifras%20Sectoriales.pdf>

- Minagricultura. (2019b). *El mango del Cesar volvería a mercados internacionales*. Sistema de Información de Gestión y Desempeño de Organizaciones y Cadenas. <https://sioc.minagricultura.gov.co/Noticias/Lists/Posts/Post.aspx?List=25f5d0b7%2D4d64%2D4272%2Db509%2D3e18b5bbdf8a&ID=228&Web=ac4565bb%2D19bf%2D4e46%2Da5e1%2D080ec5831d57>
- Rios Vargas, J. (2019). *Aprovechamiento de la semilla de mango y cascara de banano en la obtención de productos de valor agregado* [Universidad de los Andes]. <https://repositorio.uniandes.edu.co/handle/1992/45422>
- Rosso Cerón, A. M., & Toro Uribe, S. (2011). *Optimización de las condiciones de extracción sólido líquido de polifenoles a partir de la almendra de mango hilacha (Mangifera indica Var Magdalena River) y ajuste de parámetros cinéticos* [Universidad Industrial de Santander]. https://uids-primero.hosted.exlibrisgroup.com/permalink/f/18autd3/uids_bucaramanga158665
- Sanz M, E. C., Dix S, D. I., Robayo R, A. E., Bernal L, O. J., & Carrillo V, J. E. (2021). *Use of mango seed almonds to obtain pastry oil*. *Revista de La Facultad de Agronomía*, 38(2), 404–420. [https://doi.org/10.47280/RevFacAgron\(LUZ\).v38.n2.10](https://doi.org/10.47280/RevFacAgron(LUZ).v38.n2.10)
- Tzia, Constantina., & Liadakis, George. (2003). *Extraction optimization in food engineering*. Marcel Dekker, Inc.
- Yadav, K., Garg, N., Verma, A., Kumar, S., & Trivedi, M. (2017). *Optimization and extraction of oil from mango seed kernel (Mangifera indica)*. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 87(7). https://www.researchgate.net/publication/318661900_Optimization_and_extraction_of_oil_from_mango_seed_kernel_Mangifera_indica
- Yepes, S. M., Naranjo, L., Montoya, J., & Orozco, F. (2008). *Valorización de residuos agroindustriales de frutas en Medellín y el sur del valle de Aburrá, Colombia*. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 61(1), 4422–4431. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/36955>

Apéndices

Apéndice A. Ilustraciones del muestreo en la finca

Figura 7

Disposición de los desechos del mango

Figura 8

Semilla, cáscara y bagazo del mango

Figura 9

Organización de las semillas según el tipo desecado

Apéndice B. Triturado y humedad de almendras de mango**Figura 10***Almendras de mango partidas***Figura 11***Almendras de mango trituradas***Figura 12***Porcentaje de humedad en la balanza gravimétrica*

Apéndice C. Datos del clima en San Martín – Cesar

Tabla 10

Clima en San Martín – Cesar

Día	Sensación térmica [°C]	Temperatura máxima [°C]	Temperatura mínima [°C]	Humedad [%]
6-may	32	29	24	82
7-may	36	31	24	70
8-may	38	33	25	63
9-may	38	33	24	67
10-may	31	28	25	72

Nota. Recolección de algunos datos del ambiente en la región. Tomado de: AccuWeather.

Google.

Apéndice D. Características y composición de grasa de diferentes variedades de mango

Tabla 11

Características de diferentes variedades de mango

Variaciones en contenido. Características y composición en la semilla y grasa de mango

Variedad	Fruto (g) ^a	Semilla (%) ^a	Almendra en semilla (%) ^a	Almendra				Características de la grasa			Composición de ácidos grasos				
				Humedad (%) ^a	Grasa (%) ^b	Proteína (%) ^b	Cenizas (%) ^b	AV	Materia insaponificable (%)	16.0	18.0	18.1	18.2	20.0	
Alfonso	209	12	85	39	11,2	4,0	1,9	2,3	2,2	8	49	40	2	1	
Ali psand	303	6	79	36	8,4	7,0	1,8	5,2	2,5	9	44	41	5	1	
Andrews	384	9	83	66	7,0	7,0	2,2	4,1	1,1	18	34	43	4	1	
Azamus-E-samar	550	8	77	40	10,2	7,3	1,6	3,4	1,3	7	49	39	4	1	
Badami	363	10	71	34	11,1	6,0	1,0	6,2	2,2	6	57	34	1	1	
Baramasi	100	16	81	54	7,3	8,0	2,6	3,8	1,2	10	34	49	5	2	
Benisban	430	8	73	60	7,1	6,0	1,7	4,5	2,4	13	30	52	5	Tr	
Black Andrews	242	14	54	73	3,7	6,0	3,7	4,0	1,5	11	29	48	8	4	
Bobbii panasa	180	14	73	71	7,9	6,5	1,5	2,1	1,3	3	40	51	4	1	
bombary peda	263	9	74	49	7,0	6,6	2,5	5,9	4,8	8	40	4	5	1	
Dil pasand	281	8	70	72	5,1	6,1	2,6	6,0	2,3	9	26	56	6	3	
Dusberi	200	8	69	49	6,8	7,6	2,5	8,8	2,1	12	39	43	4	2	
Elephant bead	530	12	60	49	8,9	6,6	2,6	4,8	1,1	8	36	49	6	1	
Fernandis	250	15	79	40	12,6	6,2	2,1	6,0	3,5	10	36	49	4	1	
Gummadi ganneru	520	4	59	66	4,9	6,8	2,1	8,0	-	12	34	44	8	2	
Hamlett	907	4	79	67	5,9	7,4	1,1	3,5	1,6	11	44	41	3	1	
Humayatb	332	8	79	52	5,9	7,5	1,9	5,0	1,3	11	24	50	13	Tr	
Hur	350	5	79	59	5,7	7,4	2,4	4,0	2,8	8	31	48	10	3	
Hyder sabeeb	258	15	79	41	9,2	5,8	2,0	2,9	3,4	7	42	44	4	3	
Jalal	380	25	71	70	3,7	7,4	2,9	3,0	3,2	10	34	45	10	1	
Jebangir	355	9	79	86	10,6	7,1	1,8	5,9	1,1	11	47	34	6	2	
Kalapabad	158	13	83	36	10,6	6,3	1,5	3,9	1,0	10	44	41	2	1	
kKolanka goa	323	9	69	66	4,7	8,1	2,5	2,4	2,1	12	28	53	6	1	
KO7	251	15	82	61	6,0	7,3	1,8	5,9	4,8	10	31	49	8	2	
KO8	305	8	84	46	6,7	7,5	1,8	3,9	2,6	10	34	44	10	1	
Langra	145	12	72	63	7,0	6,9	2,2	3,2	3,0	7	41	44	4	4	

Lobera	430	9	70	49	11,9	6,3	2,0	5,2	3,0	7	45	43	3	2
Malgoa	410	7	76	44	5,8	7,1	1,9	5,2	1,8	11	32	49	7	1
Manoranjan	231	13	80	45	8,9	6,2	2,1	3,8	4,5	10	34	52	3	1
Mebmood	508	5	74	48	6,0	6,7	2,4	4,0	4,4	8	35	51	4	2
Neelam	225	11	80	45	9,9	7,0	1,3	4,3	1,3	10	40	44	4	1
Pabelwan	1070	3	61	53	8,5	6,1	1,1	3,7	2,3	10	35	50	3	1
Pairi	183	14	77	33	10,5	6,9	1,1	4,5	1,8	10	47	38	4	1
Pancha varnam	298	12	80	45	10,8	5,7	2,3	7,2	5,3	7	44	46	2	1
Parasapalli	102	15	80	43	7,8	6,8	2,5	7,1	2,2	11	32	46	8	3
Pedda rasalu	455	11	67	56	9,5	5,3	1,9	5,6	1,0	8	40	46	5	1
Raj langra	184	19	73	48	5,3	6,7	2,3	8,0	2,3	9	35	49	5	2
Romani	182	7	77	34	8,8	7,3	2,0	5,0	1,1	7	48	40	2	1
Royal special	185	10	64	52	6,5	7,0	2,5	4,8	2,6	8	42	42	6	2
Samarbebist dusberi	354	8	73	50	7,0	6,7	2,7	2,9	3,2	8	32	47	9	4
Savana rekba	215	14	70	39	8,7	6,6	2,1	6,9	3,6	9	43	42	4	1
Tanneru sora	750	5	68	63	5,6	5,8	2,5	5,2	2,6	11	27	55	5	2
Totapuri	468	8	83	61	11,3	6,7	1,1	5,1	1,8	14	34	39	12	1

Nota: ^a Tal como está. ^b Base seca. Tomado de (Lakshminarayana et al., n.d.)

Apéndice E. Rangos características fisicoquímicas del aceite de semilla de mango

Tabla 12

Rango de características fisicoquímicas

Parámetro	Rango
Apariencia 20°C	Amarillo claro. Grasa semisólida
Olor	Libre de olores rancios o extraños
Color de Gardner	≤ 6,0
Ácidos grasos libres (% como oleico)	≤ 0,25
Índice de yodo	40 – 55
Índice de peróxidos (meq O ₂ / kg)	≤ 10,0
Saponificación	180 – 195
Materia insaponificable (%)	≤ 5,0
Índice de acidez (mgKOH/g)	≤ 0,5
Punto de fusión (°C)	45 – 55

Nota. Tomado de (BiOrigins, 2015)

Tabla 13

Rango de ácidos grasos

Nombre del Ácido	Cadena	Rango
Laurico	C12:0	≤ 1,5
Mirístico	C14:0	≤ 1,5
Palmítico	C16:0	11,0 – 17,0
Palmitoleico	C16:1	≤ 1,0
Estearico	C18:0	30,0 – 45,0
Oleico	C18:1	38,0 – 50,0
Linoleico	C18:2	3,0 – 7,0
Linolénico	C18:3	≤ 0,8
Araquídico	C20:0	≤ 2,0
Icosenoico	C20:1	≤ 1,0
Behénico	C22:0	≤ 1,0

Nota. Tomado de (BiOrigins, 2015)

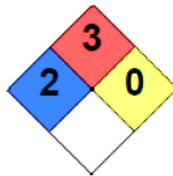
Apéndice F. Identificación de materiales peligrosos

Significado de los números que aparecen en los diamantes de riesgos (figuras 13 y 14):

- 2 (azul) Salud: En situación de emergencia puede causar daños temporarios por sí mismo o sus gases de combustión.
- 3 (rojo) Inflamabilidad: Material que puede inflamarse a temperatura ambiente.
- 0 (amarillo) Reactividad: Material estable, incluso expuesto al fuego, y que no reacciona con el agua.
- (Blanco) Riesgo especial: ninguno.

Figura 13

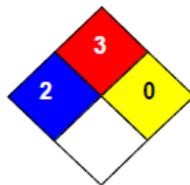
Diamante de riesgos del hexano



Nota. Datos proporcionados por NFPA 704: Identificación de materiales peligrosos en respuesta de emergencias.

Figura 14

Diamante de riesgos del butanol



Nota. Datos proporcionados por NFPA 704: Identificación de materiales peligrosos en respuesta de emergencias

Apéndice G. Efecto de la humedad sobre las muestras

Tabla 14

Efecto de la humedad sobre las muestras

Dia	Tipo de muestra	Presencia de hongo		Secado	
		Si	No	%Humedad	%Humedad promedio
1	BH cerrada	X		-	16,23 ± 0,015
	Abierta	X		-	
2	Cerrada		X	16,09%	
	Abierta	X		18,00%	
3	Cerrada	X		17,51%	
	Abierta		X	-	
4	Cerrada	X		14,56%	
	Abierta		X	14,71%	
5	Cerrada		X	15,08%	
	Abierta		X	*	
	Cerrada		X	17,65%	

Nota: - Muestras que se descartaron debido a un mal procedimiento al sellarlas al vacío. *Muestra agotada en la etapa II. Es de aclarar que la muestras que contenían hongo fueron revisadas y se descartaron las almendras con hongo.

Figura 15

Almendras sin hongo



Figura 16

Almendras con hongo



Apéndice H. Resultados comparación de solventes

Figura 17

Grasa extraída con butanol

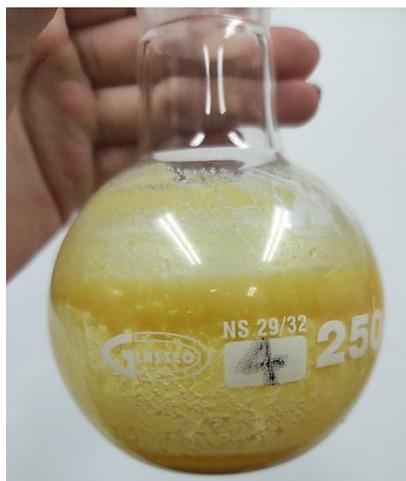
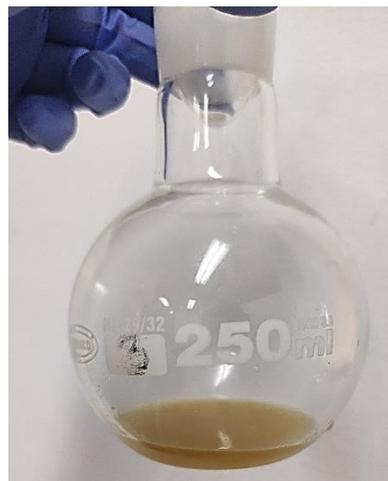


Figura 18

Grasa extraída con hexano



Nota. Extracciones realizadas por el método sólido-líquido con solventes

Figura 19

Secado de solventes restantes por medio de una línea de nitrógeno

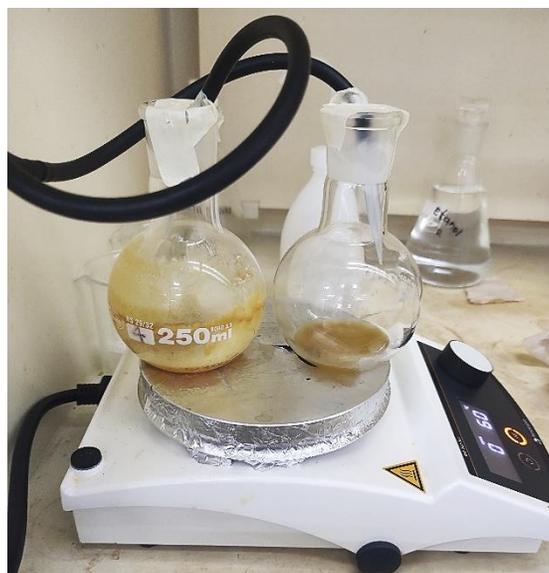
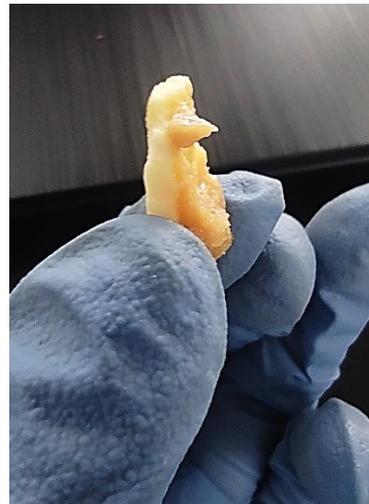


Figura 20

Grasa semisólida extraída con butanol A

**Figura 21**

Grasa semisólida extraída con butanol B



Nota. Se aprecia la capa superior sólida y una capa con textura semisólida, por lo tanto, no es una grasa homogénea.

Figura 22

Grasa semisólida extraída con hexano A

**Figura 23**

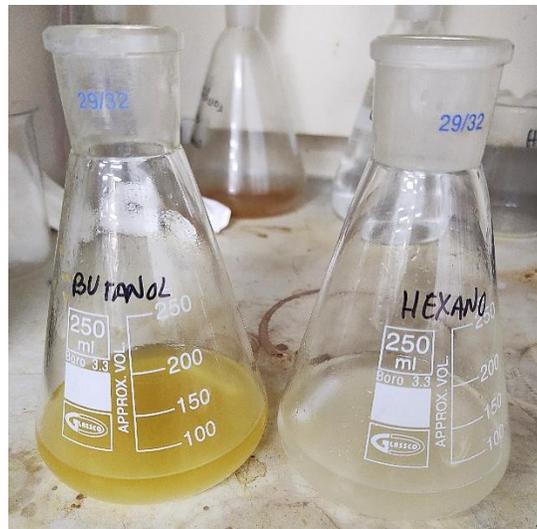
Grasa semisólida extraída con hexano B



Nota. La grasa se tiene una apariencia completamente homogénea

Figura 24

Evidencia y comparación en la toma de índice de peróxidos

**Figura 25**

Evidencia y comparación en la toma de índice de acidez y %AGL

