



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química

**EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO Y CARACTERIZACIÓN FISCOQUÍMICA DE LA
EXTRACCIÓN DE LA FRACCIÓN LIPÍDICA DE LA COPRA DEL COCO (*Cocos nucifera L.*)
VARIEDAD VERDE UTILIZANDO TRES SOLVENTES A ESCALA LABORATORIO**

Evelyn Lissette Figueroa Fuentes

Asesorado por la Inga. Telma Maricela Cano Morales
y por el Ing. Mario José Mérida Meré

Guatemala, noviembre de 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO Y CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LA
EXTRACCIÓN DE LA FRACCIÓN LIPÍDICA DE LA COPRA DEL COCO (*Cocos nucifera L.*)
VARIEDAD VERDE UTILIZANDO TRES SOLVENTES A ESCALA LABORATORIO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

EVELYN LISSETTE FIGUEROA FUENTES
ASESORADO POR LA INGA. TELMA MARICELA CANO MORALES
Y POR EL ING. MARIO JOSÉ MÉRIDA MERÉ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA QUÍMICA

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Jorge Emilio Godínez Lemus
EXAMINADOR	Ing. Renato Giovanni Ponciano Sandoval
EXAMINADORA	Inga. Casta Petrona Zeceña Zeceña
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO Y CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LA EXTRACCIÓN DE LA FRACCIÓN LIPÍDICA DE LA COPRA DEL COCO (*Cocos nucifera* L.) VARIEDAD VERDE UTILIZANDO TRES SOLVENTES A ESCALA LABORATORIO

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 6 de mayo de 2013.



Evelyn Lissette Figueroa Fuentes



Guatemala, 19 de septiembre de 2013
 Ref. EI.Q.TG-IF.058.2013

Ingeniero
Víctor Manuel Monzón Valdez
 DIRECTOR
 Escuela Ingeniería Química
 Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Monzón:

Como consta en el Acta TG-194-2011-IF le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

Solicitado por la estudiante universitaria: **Evelyn Lissette Figueroa Fuentes.**

Identificada con número de carné: **2005-12261.**

Previo a optar al título de **INGENIERA QUÍMICA.**

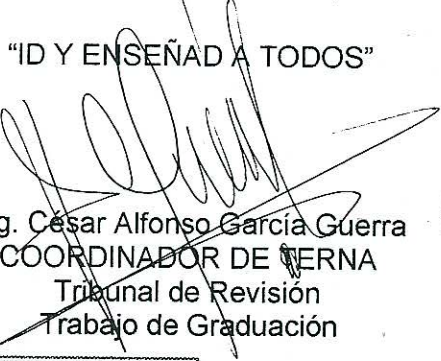
Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO Y CARACTERIZACIÓN FISCOQUÍMICA DE LA EXTRACCIÓN DE LA FRACCIÓN LIPÍDICA DE LA COPRA DEL COCO (COCOS NUCIFERA L.) VARIEDAD VERDE UTILIZANDO TRES SOLVENTES A ESCALA LABORATORIO

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por los Ingenieros Químicos: **Telma Maricela Cano Morales** y **Mario José Mérida Meré.**

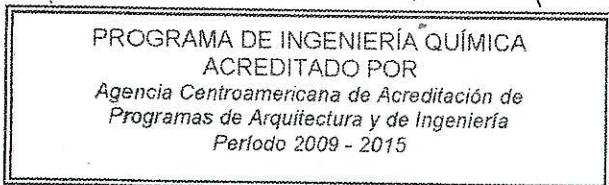
Habiendo encontrado el referido informe final del trabajo de graduación **SATISFACTORIO**, se autoriza al estudiante, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a las normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"


 Ing. César Alfonso García Guerra
 COORDINADOR DE TERNA
 Tribunal de Revisión
 Trabajo de Graduación



C.c.: archivo



ACAAI

Agencia Centroamericana de Acreditación de Programas de Arquitectura y de Ingeniería



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



Guatemala, 09 de Agosto de 2013

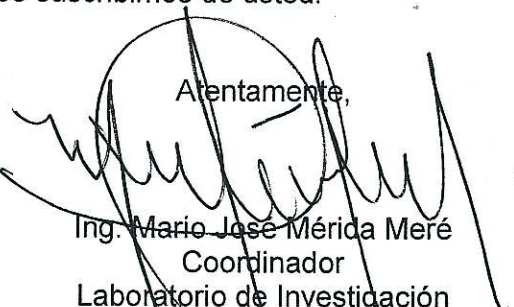
Ingeniero
Victor Manuel Monzón Valdez
Director Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala
Presente.

Ingeniero Monzón:

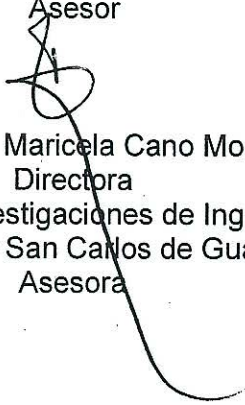
Por medio de la presente HACEMOS CONSTAR que hemos revisado y dado nuestra aprobación al informe final del trabajo de graduación **“EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO Y CARACTERIZACIÓN FISCOQUÍMICA DE LA EXTRACCIÓN DE LA FRACCIÓN LIPÍDICA DE LA COPRA DEL COCO (*Cocos nucifera L.*) VARIEDAD VERDE UTILIZANDO TRES SOLVENTES A ESCALA LABORATORIO”**, de la estudiante de Ingeniería Química Evelyn Lissette Figueroa Fuentes quien se identifica con el carné número 2005-12261.

Sin otro particular nos suscribimos de usted.

Atentamente,


Ing. Mario José Mérida Meré
Coordinador
Laboratorio de Investigación
de Extractos Vegetales -LIEXVE-
Sección Química Industrial CII / USAC
Asesor




Inga. Telma Maricela Cano Morales
Directora
Centro de Investigaciones de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala
Asesora





El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tiene el honor de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al trabajo de graduación titulado: **EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO Y CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LA EXTRACCIÓN DE LA FRACCIÓN LIPÍDICA DE LA COPRA DEL COCO (Cocos nucifera L.) VARIEDAD VERDE UTILIZANDO TRES SOLVENTES A ESCALA LABORATORIO**, presentado por la estudiante universitaria **Evelyn Lissette Figueroa Fuentes**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olympo Paiz Ríos
Decano



Guatemala, noviembre de 2013

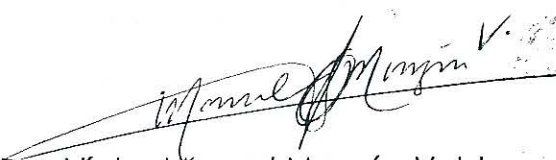
/cc



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

Ref.EIQ.TG.335.2013

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Trabajo de Graduación de la estudiante, **EVELYN LISSETTE FIGUEROA FUENTES** titulado: **"EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO Y CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LA EXTRACCIÓN DE LA FRACCIÓN LIPÍDICA DE LA COPRA DEL COCO (COCOS NUCIFERA L.) VARIEDAD VERDE UTILIZANDO TRES SOLVENTES A ESCALA LABORATORIO"**. Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.


Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química

Guatemala, noviembre 2013

Cc: Archivo
VMMV/ale

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por derramar muchas bendiciones en mi vida.
Mis padres	Edgar Figueroa y Claudia Fuentes de Figueroa. Por su apoyo incondicional, por ser mí ejemplo a seguir de perseverancia, trabajo y honestidad.
Mi esposo	José Alejandro Sánchez. Con mucho amor.
Mis hijos	Hugo y Claudia Sánchez. Con mucho amor. Este triunfo es para ustedes.
Mis hermanos	Edward, Mishele, Andrea y Juan Pablo Figueroa Fuentes. Con mucho cariño.
Mis abuelos	Jaime Fuentes, Marina de Fuentes, Carlos Figueroa y Zoila de Figueroa. Con mucho cariño.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Por permitirme alcanzar esta meta.
La Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser mi casa de estudios.
Facultad de Ingeniería	Por sus valiosas enseñanzas.
Mis padres	Edgar Figueroa y Claudia Fuentes de Figueroa. Por sus consejos y apoyo incondicional.
Mi esposo	José Alejandro Sánchez. Por su amor y apoyo incondicional.
Mis hijos	Hugo y Claudia. Por inspirarme a luchar y a ser una mejor persona cada día.
Mis hermanos	Edward, Mishele, Andrea y Juan Pablo Figueroa. Por su apoyo.
Mis abuelos	Jaime Fuentes, Marina de Fuentes, Carlos Figueroa y Zoila de Figueroa. Por su amor y por todas sus valiosas enseñanzas.

Mis tíos

Juan Fernando Fuentes e Ingrid Maricel Figueroa. Por su apoyo.

**Mis amigos de la
Facultad**

María Fernanda Peña, Susana Arrechea, Leslie Rossi, Claudia Contreras y Vera Barrientos. Por todas las experiencias que compartimos en esta Facultad.

Mis asesores

Inga. Telma Maricela Cano Morales e Ing. Mario José Mérida Meré. Por su apoyo.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	XI
GLOSARIO	XIII
RESUMEN	XVII
OBJETIVOS.....	XIX
Hipótesis.....	XX
INTRODUCCIÓN	XXI
1. ANTECEDENTES	1
2. MARCO TEÓRICO.....	3
2.1. Lípidos.....	3
2.1.1. Ácidos grasos	4
2.1.2. Lípidos relacionados con ácidos grasos	6
2.1.3. Lípidos no relacionados con ácidos grasos	9
2.2. Calidad de los aceites vegetales	10
2.3. Obtención de los aceites vegetales	11
2.3.1. Extracción sólido-líquido.....	12
2.3.1.1. Preparación del sólido	12
2.3.1.2. Temperatura de lixiviación	14
2.3.1.3. Métodos de operación	14
2.3.1.4. Lixiviación de semillas vegetales	15
2.3.1.5. Extracción Soxhlet.....	16
2.3.1.6. Maceración	17
2.4. El coco.....	18

2.4.1.	Etimología	19
2.4.2.	Taxonomía	19
2.4.3.	Origen y distribución.....	20
2.4.4.	Descripción botánica	20
2.4.5.	Tipos de cocoteros	22
2.4.6.	Hábitat.....	23
2.4.7.	Información fitoquímica	25
2.4.8.	Farmacología	26
2.4.9.	Toxicología	26
2.4.10.	Usos	26
3.	DISEÑO METODOLÓGICO.....	29
3.1.	Variables	29
3.1.1.	Variables independientes:	29
3.1.2.	Variables dependientes:.....	31
3.2.	Delimitación del campo de estudio.....	32
3.3.	Recursos humanos disponibles	33
3.4.	Recursos materiales disponibles.....	33
3.4.1.	Recurso físico.....	33
3.4.2.	Materia prima:	34
3.4.3.	Reactivos:.....	34
3.4.4.	Cristalería:	34
3.4.5.	Equipo:	34
3.5.	Metodología experimental	35
3.5.1.	Densidad.	35
3.5.2.	Sólidos disueltos totales (TDS).	36
3.5.3.	Índice de refracción.	37

3.5.4.	Perfil de ácidos grasos por cromatografía de gases Método Oficial AOCS 969.33, Ed. 18, 2005.....	38
3.6.	Técnica cuantitativa.....	41
3.7.	Recolección y ordenamiento de la información	42
3.8.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.....	44
3.9.	Análisis estadístico	44
4.	RESULTADOS	45
5.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	59
6.	INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS	69
	CONCLUSIONES	77
	RECOMENDACIONES.....	79
	BIBLIOGRAFÍA.....	81
	APÉNDICES	83
	ANEXOS.....	111

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Clasificación de los lípidos	4
2.	Ácido palmítico	5
3.	Prostaglandina	9
4.	Extractor Soxhlet.....	17
5.	Palma de coco (<i>Cocos nucifera L.</i>)	19
6.	Diagrama de flujo de la recolección y el ordenamiento de los datos experimentales.....	43
7.	Cromatograma de ácidos de la fracción lipídica del fruto del coco (<i>Cocos nucifera L.</i>) obtenida por maceración dinámica utilizando hexano como solvente	54
8.	Cromatograma de ácidos de la fracción lipídica del fruto del coco (<i>Cocos nucifera L.</i>) obtenida por maceración dinámica utilizando como solvente alcohol isopropílico.....	55
9.	Cromatograma de ácidos de la fracción lipídica del fruto del coco (<i>Cocos nucifera L.</i>) obtenida por maceración dinámica utilizando como solvente acetato de etilo.....	56
10.	Porcentaje en masa de ácidos grasos identificados en la fracción lipídica del fruto del coco (<i>Cocos nucifera L.</i>) obtenida por maceración dinámica con hexano como solvente.....	57
11.	Porcentaje en masa de ácidos grasos identificados en la fracción lipídica del fruto del coco (<i>Cocos nucifera L.</i>) obtenida por maceración dinámica con alcohol isopropílico como solvente.	57

12.	Porcentaje en masa de ácidos identificados en la fracción lipídica del fruto del coco (<i>Cocos nucifera L.</i>) obtenida por maceración dinámica con acetato de etilo como solvente	58
13.	Diagrama de cajas del rendimiento porcentual de extracción en función del método de extracción y del solvente utilizado.	59
14.	Medias marginales del rendimiento porcentual de la fracción lipídica de la copra del coco (<i>Cocos nucifera L.</i>) en función del método utilizado.....	61
15.	Medias marginales del rendimiento porcentual de la fracción lipídica de la copra del coco (<i>Cocos nucifera L.</i>) en función del solvente utilizado.....	62
16.	Medias marginales del rendimiento porcentual de la fracción lipídica de la copra del coco (<i>Cocos nucifera L.</i>) en función del solvente y del método utilizado	63
17.	Diagrama de Schewart para el rendimiento de fracción lipídica la copra del coco (<i>Cocos nucifera L.</i>) para la extracción Soxhlet utilizando hexano como solvente, con una confianza de 95 %.....	64
18.	Diagrama de Schewart para el rendimiento de fracción lipídica la copra del coco (<i>Cocos nucifera L.</i>) para la extracción Soxhlet utilizando alcohol isopropílico como solvente, con una confianza del 95 %.....	64
19.	Diagrama de Schewart para el rendimiento de fracción lipídica la copra del coco (<i>Cocos nucifera L.</i>) para la extracción Soxhlet utilizando acetato de etilo como solvente, con una confianza de 95 %.....	65
20.	Diagrama de Schewart para el rendimiento de fracción lipídica la copra del coco (<i>Cocos nucifera L.</i>) para la maceración dinámica con reflujo utilizando hexano como solvente, con una confianza de 95 %.....	65

21.	Diagrama de Schewart para el rendimiento de fracción lipídica la copra del coco (<i>Cocos nucifera L.</i>) para la maceración dinámica con reflujo utilizando alcohol isopropílico como solvente, con una confianza de 95 %.....	66
22.	Diagrama de Schewart para el rendimiento de fracción lipídica la copra del coco (<i>Cocos nucifera L.</i>) para la maceración dinámica con reflujo utilizando acetato de etilo como solvente, con una confianza de 95 %.....	67

TABLAS

I.	Variables independientes.....	29
II.	Variables dependientes.....	31
III.	Tiempos de retención para cada ácido graso en el cromatógrafo de gases con detector de ionización de llama, empleando una columna HP-88.	41
IV.	Porcentaje de rendimiento de la extracción de la fracción lipídica del fruto del coco (<i>Cocos nucifera L.</i>) por maceración dinámica con reflujo utilizando hexano como solvente.....	45
V.	Porcentaje de rendimiento de la extracción de la fracción lipídica del fruto del coco (<i>Cocos nucifera L.</i>) por maceración dinámica con reflujo utilizando alcohol isopropílico como solvente.....	46
VI.	Porcentaje de rendimiento de la extracción de la fracción lipídica del fruto del coco (<i>Cocos nucifera L.</i>) por maceración dinámica con reflujo utilizando acetato de etilo como solvente.....	46
VII.	Porcentaje de rendimiento de la extracción de la fracción lipídica del fruto del coco (<i>Cocos nucifera L.</i>) con la técnica Soxhlet utilizando hexano como solvente.	47

VIII.	Porcentaje de rendimiento de la extracción de la fracción lipídica del fruto del coco (<i>Cocos nucifera L.</i>) con la técnica Soxhlet utilizando alcohol isopropílico como solvente.	47
IX.	Porcentaje de rendimiento de la extracción de la fracción lipídica del fruto del coco (<i>Cocos nucifera L.</i>) con la técnica Soxhlet utilizando acetato de etilo como solvente.	48
X.	Propiedades físicas de las fracciones lipídicas del coco (<i>Cocos nucifera L.</i>) obtenidas utilizando hexano como solvente.....	48
XI.	Propiedades físicas de las fracciones lipídicas del coco (<i>Cocos nucifera L.</i>) obtenidas utilizando alcohol isopropílico como solvente....	49
XII.	Propiedades físicas de las fracciones lipídicas del coco (<i>Cocos nucifera L.</i>) obtenidas utilizando acetato de etilo como solvente.	49
XIII.	Perfil de ácidos grasos por cromatografía gaseosa y detector de llama de ionización (FID) para la fracción lipídica obtenida por maceración dinámica con reflujo utilizando hexano como solvente.....	50
XIV.	Perfil de ácidos grasos por cromatografía gaseosa y detector de llama de ionización (FID) para la fracción lipídica del fruto del coco (<i>Cocos nucifera L.</i>) obtenida por maceración dinámica con reflujo utilizando alcohol isopropílico como solvente.	51
XV.	Perfil de ácidos grasos por cromatografía gaseosa y detector de llama de ionización (FID) para la fracción lipídica del fruto del coco (<i>Cocos nucifera L.</i>) obtenida por maceración dinámica con reflujo utilizando acetato de etilo como solvente.	52
XVI.	Porcentaje en masa del contenido de ácidos grasos determinados por cromatografía gaseosa y detector de llama de ionización (FID) para la fracción lipídica del fruto del coco (<i>Cocos nucifera L.</i>) obtenida por maceración dinámica con reflujo utilizando tres solventes.....	53

XVII.	Análisis de varianza para el porcentaje de rendimiento de la extracción de la fracción lipídica de la copra del coco (<i>Cocos nucifera L.</i>).	60
XVIII.	Prueba de comparación de Tukey para las medias del porcentaje de rendimiento en función del método utilizado.	60
XIX.	Prueba de comparación de Tukey las medias del porcentaje de rendimiento en función del solvente.	61
XX.	Prueba de comparación de Tukey las medias del porcentaje de rendimiento en función del método y del solvente utilizado.	62

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
°C	Grados Celsius
H_i	Hipótesis alternativa
H_o	Hipótesis nula
mL	Mililitro
mm	Milímetro
No.	Número
ppm	Partes por millón
%	Porcentaje
F	Significancia

GLOSARIO

Aceite esencial	Fracción líquida volátil generalmente destilable por arrastre con vapor de agua, que contiene las sustancias responsables del aroma de las plantas.
Aceite fijo	Fracción grasa, densa y no volátil que se obtiene de ciertas plantas.
AOCS	American Oils Chemist's Society (Sociedad Americana de Aceites Químicos).
Atm	Atmósfera.
Constante dieléctrica	Define el grado de polarización eléctrica de la sustancia cuando esta se somete a un campo eléctrico exterior. Su valor se ve afectado por muchos factores, como el peso molecular, geometría de la molécula o el tipo de interacciones que presente.
Cromatografía	La cromatografía es un método de separación de diferentes componentes de una muestra, a través del paso de dicha muestra por una fase estacionaria con la ayuda de una fase móvil.

Cromatografía de gases Método físico de separación en el cual los componentes a separar se distribuyen entre dos fases, una fase estacionaria, de gran área superficial, y un fluido (en este caso un gas) que pasa a través o a lo largo de la fase estacionaria.

Farmacología Es la ciencia que estudia el origen, las acciones y las propiedades que las sustancias químicas ejercen sobre los organismos vivos.

GC/FID Cromatografía de gases con detector de ionización de llama.

Lixiviación Es un proceso en el que un disolvente líquido se pone en contacto con un sólido pulverizado para que se produzca la disolución de uno de los componentes del sólido.

MD-AE-Ri Maceración dinámica con acetato de etilo, i-ésima repetición.

MD-IPA-Ri Maceración dinámica con alcohol isopropílico, i-ésima repetición.

MD-H-Ri Maceración dinámica con hexano, i-ésima repetición.

Polaridad Es una propiedad de las moléculas que representa la separación de las cargas eléctricas en la misma.

SE	Error sistemático.
S-AE-Ri	Extracción soxhlet con acetato de etilo, i-ésima repetición.
S-IPA-Ri	Extracción soxhlet con alcohol isopropílico, i-ésima repetición.
S-H-Ri	Extracción soxhlet con hexano, i-ésima repetición.
Tanino	Los taninos son metabolitos secundarios de las plantas, fenólicos, no nitrogenados, solubles en agua y no en alcohol ni solventes orgánicos, que sirven para curtir o convertir las pieles crudas de animales en cuero.
TDS	Sólidos totales disueltos.
Toxicología	Es una ciencia que estudia los efectos nocivos de los agentes químicos, biológicos y de los agentes físicos en los sistemas biológicos y que establece, además, la magnitud del daño en función de la exposición de los organismos vivos a dichos agentes.

RESUMEN

El presente trabajo de graduación se realizó con el objetivo de evaluar el rendimiento de extracción y las características fisicoquímicas de la fracción lipídica de la copra del coco (*Cocos nucifera L.*) utilizando tres solventes, hexano, acetato de etilo y alcohol isopropílico, a escala laboratorio.

La copra, que es el núcleo de los frutos maduros, se redujo de tamaño y se sometió a un proceso de secado controlado. Esto se hizo para prevenir la descomposición de la materia prima y de la fracción lipídica extraída. El secado de la materia prima se realizó por lotes en un secador eléctrico de bandejas de flujo transversal. La copra se deshidrató durante cuatro horas hasta obtener una humedad de 2,66 %. Luego, la materia prima se tamizó para tener un tamaño de partícula uniforme.

Se extrajo la fracción lipídica de coco a escala laboratorio por medio de una extracción sólido-líquido utilizando la técnica de maceración dinámica con reflujo a la temperatura de ebullición del solvente. Luego se procedió a la caracterización fisicoquímica de la fracción lipídica, evaluando su solubilidad, densidad, punto de fusión e índice de refracción. También se determinó el perfil de ácidos grasos de la fracción lipídica extraída con cada solvente mediante cromatografía gaseosa empleando un detector de ionización de llama (FID).

El procedimiento experimental se realizó en el Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, LIEXVE, Sección Química Industrial del Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

OBJETIVOS

General

Evaluar el porcentaje de rendimiento de la extracción de la fracción lipídica del coco en función de la capacidad extractora tres solventes y realizar la caracterización fisicoquímica.

Específicos

1. Determinar el porcentaje de rendimiento en la extracción por maceración dinámica con reflujo para la fracción lipídica del coco (*Cocos nucifera L.*) en función de la capacidad extractora de tres solventes y realizar comparación con la extracción Soxhlet.
2. Determinar las propiedades fisicoquímicas de la fracción lipídica del coco (*Cocos nucifera L.*) en función del extracto obtenido en cada solvente.
3. Determinar el perfil de ácidos grasos de la fracción lipídica del coco (*Cocos nucifera L.*) obtenida por maceración dinámica por medio de cromatografía gaseosa según el Reglamento Técnico Centroamericano para grasas y aceites (RTCA 67.04.40:07).

Hipótesis

Es posible realizar un estudio del porcentaje del rendimiento en la lixiviación de la fracción lipídica de la copra del coco (*Cocos nucifera L.*) utilizando la técnica maceración dinámica y utilizando tres solventes, Hexano, Acetato de Etilo y Alcohol Isopropílico como factor de variación.

Hipótesis estadística:

H₀: Existe diferencia significativa en el rendimiento de la fracción lipídica de la copra del coco (*Cocos nucifera L.*) que se obtiene en función de la variación del tipo de solvente por Maceración dinámica con reflujo.

$$\mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4 \neq 0$$

H₁: No existe diferencia significativa en el rendimiento de la fracción lipídica de la copra del coco (*Cocos nucifera L.*) que se obtiene en función de la variación del tipo de solvente por Maceración dinámica con reflujo.

$$\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = 0$$

INTRODUCCIÓN

Es importante aumentar la capacidad del sector agrícola en Guatemala para contribuir en la diversificación de la flora, el crecimiento económico del país, la generación de divisas y la creación de fuentes de empleo. Por ello nace la necesidad de investigar los usos que se puedan dar a las especies vegetales existentes en el país.

La palma de coco (*Cocos nucifera L.*) es una importante fuente de grasa vegetal, el endospermo de la semilla es rico en ácidos grasos. Las propiedades de este aceite están definidas por sus principales componentes químicos. El alto contenido de ácido laurico permite su uso en la industria cosmética y en la fabricación de jabones y detergentes. Además, sus propiedades antivirales, antibacteriales y antiprotozoales, lo hace apropiado para su uso en productos alimenticios. El aceite refinado se utiliza principalmente en la fabricación de productos de panadería, pastelería, chocolate, productos farmacéuticos y pinturas.

Actualmente en Guatemala la copra del coco se utiliza para consumo directo, para la elaboración artesanal de dulce de coco y para repostería. El objetivo principal de este estudio es evaluar el rendimiento en la producción de la fracción lipídica de coco, y su calidad, a partir de la copra deshidratada del fruto del coco (*Cocos nucifera L.*) utilizando distintos solventes y utilizando como método de extracción la maceración dinámica con reflujo, a la temperatura de ebullición de cada solvente. El rendimiento de la extracción de cada solvente se comparó con el rendimiento obtenido por extracción Soxhlet.

1. ANTECEDENTES

El Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala ha realizado varios proyectos de investigación de extractos vegetales que incluyen aceites esenciales, aceites fijos, colorantes y oleorresinas.

Entre los aceites fijos investigados por el Centro de Investigaciones de Ingeniería se encuentra el aceite de semilla de morro (*Crescentia alata HBK*), el aceite fijo de café, aceite de semilla de algodón, entre otros.

En febrero de 1982, Patricia Mijangos Peláez, de la Escuela de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos, realizó su trabajo de graduación: Caracterización del aceite de coco enano (*Cocos nucifera Linne*) base para su industrialización en Guatemala.

En abril de 2007, Glenda Rocío Luna, de la Escuela de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos, realizó su trabajo de graduación denominado: Análisis fisicoquímico y evaluación del rendimiento de extracción del aceite de semilla de morro (*Crescentia alata HBK*) proveniente de las regiones de Estanzuela, Zacapa y San Agustín Acasaguastlán, El Progreso. El trabajo refleja la variación del porcentaje de rendimiento de extracción del aceite de morro y su calidad según la región de cultivo del mismo.

En febrero de 2008, Lourdes Ramírez de la Escuela de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, realizó un trabajo de graduación denominado: Evaluación del rendimiento de extracción y caracterización del aceite fijo de café tostado tipo genuino antigua obtenido por el proceso de prensado. Se utilizó un tueste oscuro y un tueste liviano, y dos métodos de extracción, extracción soxhlet y extracción por prensado.

En octubre de 2008, Midzar Daniel García Estrada de la Escuela de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, realizó su trabajo de graduación titulado: Obtención y caracterización fisicoquímica del aceite de Macadamia de las especies *Tetraphyllia* e *Intergrifolia*. La investigación consistió en extraer mecánicamente por extrusión el aceite de las dos especies de macadamia, luego se caracterizó el aceite obtenido y se hizo una comparación de la calidad y contenido de ácidos grasos de ambos aceites. El resultado del perfil de ácidos grasos dio diez diferentes ácidos grasos, siendo estos el ácido mirístico, el ácido palmítico, el ácido palmitoleico, el ácido margárico, el ácido esteárico, el ácido oleico, el ácido linoleico, el ácido araquídico, el ácido linolénico y el ácido behínico.

En abril de 2008, Mario Mérida Meré, de la Escuela de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, realizó su trabajo de graduación: Extracción y caracterización fisicoquímica del tinte natural obtenido del exocarpo del coco (*Cocos nucifera*), como aprovechamiento del desecho de fuentes comerciales, en el cual se comparó el rendimiento de extracción y las propiedades fisicoquímicas del extracto tintóreo del exocarpo fibroso del fruto del coco utilizando tres solventes, agua, etanol al 50 % en volumen y etanol al 95 % en volumen. El mayor valor de rendimiento obtenido fue de 18,63 % utilizando como solvente etanol al 95 % en volumen.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Lípidos

Los lípidos constituyen un grupo de biomoléculas estructuralmente muy heterogéneo, pero con características comunes de solubilidad; es decir, son poco o nada solubles en agua, pero solubles en disolventes orgánicos (éter, benceno, cloroformo...). La mayoría de los lípidos forman los aceites y las grasas. Los lípidos cumplen funciones diversas en los organismos vivos, entre ellas la de reserva energética (triglicéridos), la estructural (fosfolípidos) y la reguladora (esteroides).

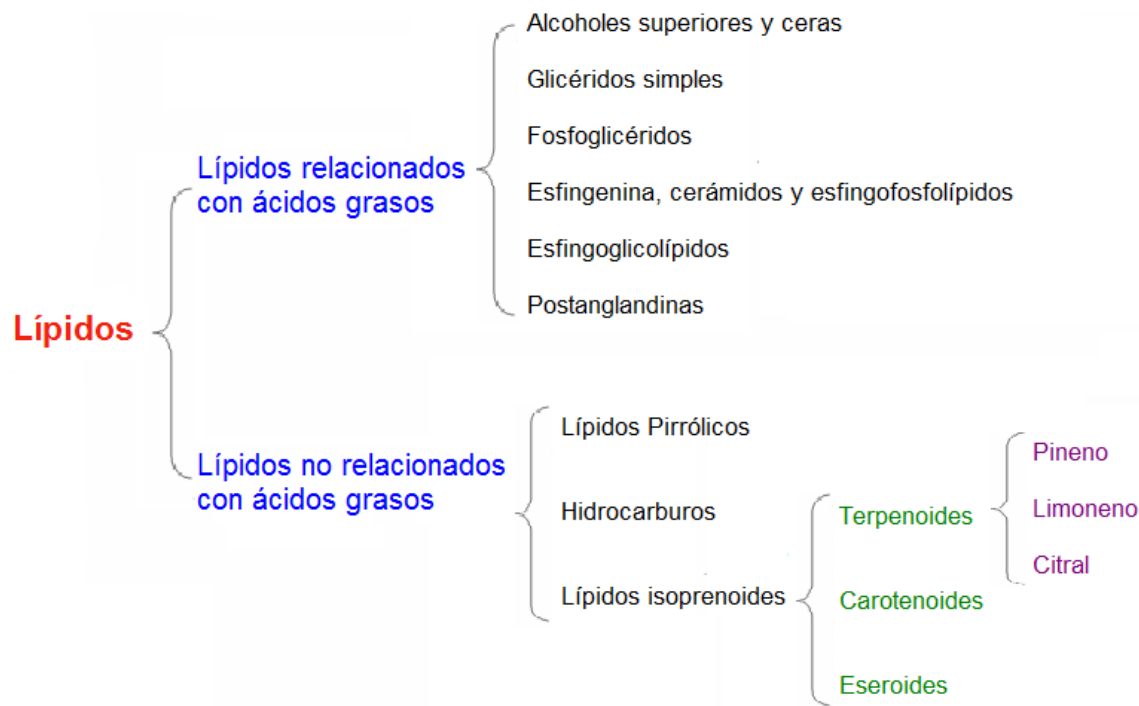
La baja solubilidad de los lípidos en agua, se debe a que su estructura química es fundamentalmente hidrocarbonada, es decir, deriva en gran parte de las propiedades de los enlaces carbono-hidrógeno y carbono-carbono presentes en estos compuestos, cuya naturaleza es 100 % covalente y su momento dipolar es mínimo. Por ello el agua que es una molécula muy polar y con gran facilidad para formar puentes de hidrógeno, no es capaz de interaccionar con estas moléculas. En presencia de moléculas lipídicas, las moléculas de agua adoptan en torno a ellas una estructura muy ordenada que maximiza las interacciones entre las propias moléculas de agua, forzando a la molécula hidrofóbica al interior de una estructura en forma de jaula, que también reduce la movilidad del lípido.

La mencionada heterogeneidad estructural de los lípidos dificulta cualquier clasificación sistemática. Aunque rara vez se hallan en estado libre, los llamados ácidos grasos –ácidos carboxílicos de cadena larga- forman parte de

la mayoría de los lípidos. Por esta razón, se procederá en primer lugar a dividir los lípidos en 2 grandes grupos para su estudio:

- Lípidos relacionados con ácidos grasos.
- Lípidos no relacionados con ácidos grasos.

Figura 1. **Clasificación de los lípidos**



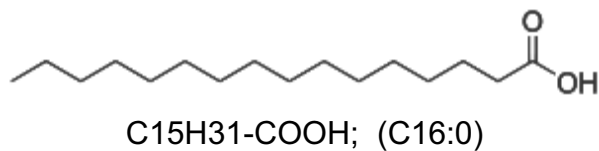
Fuente: elaboración propia.

2.1.1. **Ácidos grasos**

Los ácidos grasos son ácidos carboxílicos de cadena larga, que se hallan normalmente formando parte de otros lípidos por medio de enlaces éster, y rara vez amida. Tienen en un extremo de la cadena un grupo carboxilo (-COOH).

Según la naturaleza de la cadena carbonada de los ácidos grasos, éstos pueden ser saturados, insaturados, lineales, ramificados o alicíclicos, y pueden tener como sustituyentes grupos hidroxilo u oxo. Los más abundantes son los ácidos grasos lineales con número par de átomos de carbono, generalmente más de 12 átomos de carbono y menos de 24. Por ejemplo, el ácido palmítico, lineal, saturado, de 16 átomos de carbono y el ácido esteárico, de 18 átomos de carbono.

Figura 2. **Ácido palmítico**



Fuente: MACARULLA, José. Biomoléculas: lecciones de bioquímica estructural. p. 59.

También son frecuentes las cadenas insaturadas con enlaces dobles cis, como el oleico o el linoleico.

Una nomenclatura abreviada, muy útil para designar ácidos grasos, es la que emplea una C mayúscula seguida de números separados por dos puntos, que indican respectivamente el número de carbonos y el de dobles enlaces. Por ejemplo, el ácido araquidónico sería C₂₀:4,8,11,14.

Los ácidos carboxílicos presentan solubilidad decreciente en agua al aumentar la longitud de la cadena carbonada, de manera que a partir de C₁₂:0 son prácticamente insolubles. Las sales de los ácidos grasos se llaman jabones, y debido a la polaridad del anión carboxilato son muy miscibles con el agua.

Los diferentes ácidos grasos que intervienen en la composición de los glicéridos son los que confieren las características particulares de cada aceite y determinan su comportamiento como nutriente.

Los ácidos grasos saturados sólo tienen enlaces simples entre los átomos de carbono. Son ejemplos de este tipo de ácidos el mirístico (14C); el palmítico (16C) y el esteárico (18C).

Los ácidos grasos insaturados tienen uno o varios enlaces dobles entre los átomos de carbono. Son ejemplos el oleico (18C, un doble enlace) y el linoleico (18C y dos dobles enlaces). La adición de hidrógeno a los ácidos grasos insaturados permite el endurecimiento de las grasas, es decir, la conversión de aceites en margarinas. El doble enlace también es susceptible a la autoxidación por el oxígeno del aire, ésta es una reacción espontánea en la que se producen radicales de peróxido que se descomponen dando ruptura de la cadena carbonada y formación de aldehídos, este es el origen del enranciamiento de las grasas.

La determinación de los ácidos grasos se lleva a cabo por cromatografía en fase gaseosa, previa formación de sus ésteres metílicos, más volátiles y más inertes que los ácidos libres.

2.1.2. Lípidos relacionados con ácidos grasos

Se incluyen los lípidos que por hidrólisis liberan ácidos grasos o productos emparentados metabólicamente con ácidos grasos.

Alcoholes superiores y ceras. Son ésteres de ácidos grasos de cadena larga, con alcoholes también de cadena larga. En general son sólidas y totalmente insolubles en agua.

Por ejemplo, del ácido palmítico se obtiene el hexadecanol. Todas las funciones que realizan están relacionadas con su impermeabilidad al agua y con su consistencia firme. Así la piel, las hojas, frutos, están cubiertas de una capa cérea protectora.

Glicéridos simples. Son lípidos que constan de ácidos, aldehídos o alcoholes grasos y glicerol. Los más abundantes contienen ácidos grasos unidos al glicerol por enlaces éster. Según el número de hidróxidos sustituidos en el glicerol se distinguen los monoacilgliceroles, diacilgliceroles y triacilgliceroles. Los aceites y grasas naturales están compuestos básicamente por mezclas complejas de triacilgliceroles, con cantidades menores de otros lípidos. Los aceites y grasas se diferencian únicamente por sus propiedades físicas: las grasas son mezclas lipídicas que permanecen sólidas a temperatura ambiente, mientras que los aceites se hallan en estado líquido.

Fosfoglicéridos. Son moléculas lipídicas del grupo de los fosfolípidos. Están compuestos por ácido fosfatídico, una molécula compleja compuesta por glicerol, en el que se han esterificado dos ácidos grasos (uno saturado y otro insaturado) y un grupo fosfato. A su vez, al grupo fosfato se une un alcohol o un aminoalcohol. En la estructura de la molécula se distinguen una parte hidrofílica y otra hidrofóbica, debido a esta estructura, los fosfoglicéridos en medio acuoso forman espontáneamente dispersiones coloidales altamente organizadas.

Los fosfoglicéridos son los lípidos característicos de las membranas biológicas y constan de un 1,2-diacilglicerol cuyo –OH en C3 se halla esterificado con un ácido fosfórico. Esta estructura fundamental recibe el nombre de ácido fosfatídico.

Los fosfoglicéridos, como los demás lípidos, son solubles en disolventes orgánicos aunque se distinguen de los lípidos menos polares por su escasa solubilidad en acetona fría, lo que permite su precipitación selectiva.

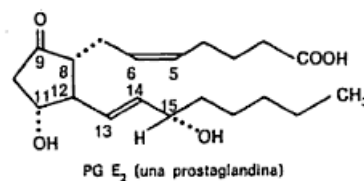
Esfingenina, cerámidos y esfingofosfolípidos. En algunos lípidos que contienen estructuras análogas a los diacilgliceroles, una de las cadenas apolares no procede de un ácido graso, o derivado suyo por reducción, si no que forma parte de la llamada esfingenina. Esta molécula anfipática tiene una cadena larga hidrofóbica de quince carbonos unida a un extremo polar de tres carbonos, con dos funciones hidroxilo y una amina. En la naturaleza la esfingenina se encuentra unida a un ácido graso mediante un enlace amida. Esta estructura se conoce como cerámido, su nombre alude a su analogía química con las ceras (ácido + alcohol superior, en enlace éster) que en este caso es: ácido + aminoalcohol superior, en enlace amida.

Las diversas esfingeninas, en forma cerámido, se encuentran formando parte de lípidos de las membranas biológicas. Los lípidos que contienen cerámidos se pueden clasificar en dos grupos: los esfingofosfolípidos y los glicoesfingolípidos. Los esfingofosfolípidos tienen propiedades físicas y químicas muy similares a los fosfoglicéridos correspondientes.

Esfingoglicolípidos. Son lípidos complejos formados por un cerámido y un mono- u oligosacárid, unidos por enlace glicosídico. El cerámido suele contener un ácido graso de cadena muy larga, como lignocérico o nervónico. Los esfingoglicolípidos se suelen clasificar en cerebrósidos y gangliósidos.

Prostaglandinas. Son un conjunto de sustancias de carácter lipídico derivadas de un hipotético prostanico, de 20 átomos de carbono (eicosanoides), que contienen un anillo pentagonal entre C8 y C12. Detectadas en casi todos los tejidos y líquidos orgánicos y con una producción que aumenta en respuesta a diversos estímulos, provocan un amplio espectro de efectos biológicos, siendo algunos de ellos de relevancia original y continuada para la reproducción. Pueden obtenerse de dos fuentes: directamente de la dieta (carnes) o por la formación a partir de su precursor, el ácido linoleico.

Figura 3. **Prostaglandina**



Fuente: MACARULLA, José. Biomoléculas: lecciones de bioquímica estructural. p. 68.

2.1.3. **Lípidos no relacionados con ácidos grasos**

Se trata de un grupo heterogéneo de biomoléculas que se encuentran en todos los seres vivos, y a veces poseen gran actividad biológica como es el caso de las hormonas esteroideas. Son lípidos poco polares. Estos se dividen en tres grupos, lípidos pirrólicos, hidrocarburos y lípidos isoprenoides.

Los lípidos isoprenoides (derivados por condensación del isopreno) se dividen en: terpenos, carotenoides y esteroides.

Terpenoides. Los terpenos son los componentes activos de los aceites esenciales, como el pineno, limoneno y citral, éstos son producto de condensación de un número escaso de moléculas de isopreno, de 2 a 6.

Carotenoides. Los carotenoides están integrados por ocho unidades del monómero isopreno. Algunos carotenos son precursores de la vitamina A. Los esteroides son lípidos isoprenoides cíclicos que contienen el anillo esteroano, desempeñan funciones trascendentales para el ser vivo, entre ellos hay hormonas esteroideas, sales biliares y esteroides.

Esteroides. Son lípidos isoprenoides relacionados estructuralmente con el anillo ciclopentanoperhidrofenantreno, llamado también esterano. Los esteroides contienen esta estructura fundamental en diversos grados de dehidrogenación, y con diversas cadenas laterales y grupos funcionales sustituyentes (hidroxilo, oxo y carboxilo).

2.2. Calidad de los aceites vegetales

La calidad de todo producto es una medida del grado de adecuación del mismo al uso esperado y puede definirse como el conjunto de aquellas características de atributos individuales del mismo que son significativos para determinar el grado de aceptación que aprecia el consumidor.

El Reglamento Técnico Centroamericano RTCA 67.04.40:07: Alimentos y Bebidas Procesados. Grasas y Aceites. Especificaciones, fue creado por los respectivos Comités Técnicos de Normalización o Reglamentación Técnica a

través de los Entes de Reglamentación Técnica de los países centroamericanos.

Dicho reglamento tiene como objetivo establecer las especificaciones generales que deben cumplir los aceites y grasas vegetales, animales y marinos, y sus derivados comestibles, preenvasados y procesados de tal forma que sean aptos para el consumo humano y que se comercialicen en el territorio centroamericano.

Las especificaciones y parámetros que cubre el presente reglamento aplican a los aceites y grasas refinados preenvasados descritos.

Según el Reglamento Técnico Centroamericano RTCA 67.04.40:07, la calidad de un aceite vegetal está formada por un conjunto de propiedades físicas y químicas, y por índices de calidad. Entre estas propiedades se encuentra, la solubilidad, el punto de fusión, el índice de acidez y el contenido de ácidos grasos.

En el anexo 1 se encuentra la gama de composición de ácidos grasos para el aceite crudo obtenido de la nuez del coco (*Cocos nucifera L.*) según el RTCA 67.04.40:07.

2.3. Obtención de los aceites vegetales

El aceite vegetal se puede obtener mecánica o químicamente, y generalmente se usa alguna combinación de ambas técnicas. En el método mecánico las semillas y frutos oleaginosos se someten a un proceso de prensado (extracción por expresión). Los residuos de este prensado se aprovechan como alimento para el ganado, por ser un producto muy rico en

proteínas. Finalmente se somete al aceite extraído a un proceso de refinamiento.

El método químico utiliza disolventes químicos que generalmente tienen un mejor rendimiento. El solvente generalmente usado es el hexano, por sus propiedades no polares (baja constante dieléctrica) lo que aumenta el rendimiento de la extracción.

2.3.1. Extracción sólido-líquido

La extracción sólido-líquido o lixiviación es la disolución preferente de uno o más componentes de una mezcla sólida por contacto con un disolvente líquido. Esta operación unitaria, una de las más antiguas en la industria química, ha recibido muchos nombres, según la técnica utilizada para llevarla a cabo.

Muchos productos orgánicos naturales se separan de sus estructuras originales mediante lixiviación. Por ejemplo, el azúcar se separa por lixiviación de la remolacha con agua caliente; los aceites vegetales se recuperan a partir de semillas, como las de soya y de algodón mediante la lixiviación con disolventes orgánicos; el tanino se disuelve a partir de diferentes cortezas arbóreas mediante lixiviación con agua; y muchos productos farmacéuticos se recuperan a partir de raíces y hojas de plantas

2.3.1.1. Preparación del sólido

El éxito de una lixiviación y la técnica que se va a utilizar dependen con mucha frecuencia de cualquier tratamiento anterior que se le pueda dar al

sólido. En algunos casos, las pequeñas partículas del material soluble están completamente rodeadas de una matriz de materia insoluble.

Entonces, el disolvente se debe difundir en la masa y la solución resultante se debe difundir hacia el exterior antes de poder lograr una separación. Esto es lo que sucede con muchos materiales metalúrgicos. La trituración y molienda de estos sólidos acelerará bastante la acción de lixiviación, porque las porciones solubles son entonces más accesibles al disolvente. Por ejemplo, cierto mineral de cobre puede lixiviarse eficazmente por soluciones de ácido sulfúrico de 4 a 8 horas, si se muele hasta que pase a través de una malla 60; en 5 días, si se tritura hasta gránulos de 6 milímetros, y de 4 a 6 días si se utilizan rocas de 140 milímetros.

Cuando la sustancia soluble está distribuida más o menos uniformemente en todo el sólido o aun en solución del sólido, la acción de lixiviación puede proporcionar canales para el paso del disolvente fresco y tal vez no sea necesaria una molienda muy fina.

En el caso de muchos productos farmacéuticos, recuperados a partir de raíces, tallos y hojas vegetales, el material vegetal con frecuencia se seca antes del tratamiento; esto favorece la ruptura de las paredes celulares y la liberación del soluto mediante la acción directa del disolvente. Las semillas vegetales y los cereales, tal como la soya, se aplanan o se hacen hojuelas para obtener partículas de 0,15 a 0,5 milímetros. Por supuesto, las células tienen un tamaño menor, pero se rompen bastante debido al proceso de formación de hojuelas; entonces, los aceites se ponen más fácilmente en contacto con el disolvente.

Cuando el soluto se adsorbe sobre la superficie de las partículas sólidas o se disuelve simplemente en una solución adherente, no es necesaria la trituración o molienda y las partículas pueden lavarse directamente.

2.3.1.2. Temperatura de lixiviación

Las temperaturas elevadas producen la mayor solubilidad del soluto en el disolvente y, en consecuencia, concentraciones finales mayores en el licor de lixiviación.

A temperaturas elevadas la viscosidad del líquido es menor y mayores las difusividades; esto incrementa la rapidez de lixiviación. En el caso de algunos productos naturales, las temperaturas muy elevadas pueden producir la lixiviación de cantidades excesivas de solutos indeseables o deterioro químico del sólido.

2.3.1.3. Métodos de operación

Las operaciones de lixiviación se realizan por lotes (estado no estacionario) y también en condiciones totalmente continuas (estado estacionario). En cada categoría se encuentran equipos del tipo de etapas y de contacto continuo. Se utilizan dos técnicas principales de manejo: la aspersion o goteo del líquido sobre el sólido y la completa inmersión del sólido en el líquido.

Las operaciones en estado no estacionario incluyen aquellas en que los sólidos y los líquidos se ponen en contacto únicamente en forma de lotes y también aquellas en que un lote del sólido se pone en contacto con una corriente que fluye continuamente del líquido (método por semilotes). Las partículas sólidas gruesas generalmente se tratan en lechos fijos mediante

métodos de percolación, mientras que los sólidos finamente divididos, que pueden mantenerse más fácilmente en suspensión, pueden dispersarse en todo el líquido con la ayuda de algún tipo de agitador.

El tiempo promedio de retención del sólido debe ser el suficiente para lograr la acción de lixiviación requerida.

2.3.1.4. Lixiviación de semillas vegetales

Las semillas de algodón, soya, semillas de lino y muchos otros productos similares, con frecuencia sufren la acción de lixiviación, o extracción, con disolventes orgánicos que separan los aceites vegetales que contienen. Las semillas generalmente deben prepararse en forma especial para obtener la mejor lixiviación; esto puede emitir el descascarar, la molienda o formación de hojuelas y reducir el contenido de humedad (deshidratar). Algunas veces, una parte del aceite se elimina inicialmente en forma mecánica mediante expresión o prensado.

Generalmente, los disolventes de lixiviación son naftas de petróleo, para muchos aceites una fracción muy cercana al hexano; los hidrocarburos clorados dejan un residuo demasiado tóxico para el alimento lixiviado y no puede utilizarse para la alimentación animal. La solución aceite-disolvente, que por lo general contiene una pequeña cantidad de sólidos suspendidos, finamente divididos, se conoce como “miscela” y los sólidos lixiviados como “marca”, En esta industria, los diferentes aparatos de lixiviación generalmente se conocen como “extractores”.

2.3.1.5. Extracción Soxhlet

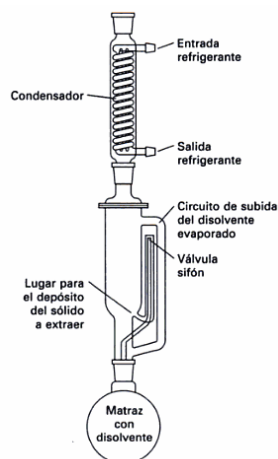
La extracción soxhlet es la técnica más antigua para la extracción de analitos desde una matriz sólida a una matriz líquida. La extracción exhaustiva de componentes orgánicos en este sistema se lleva a cabo usando un disolvente orgánico, el cual refluye a través de la muestra contenida en un dedal poroso de celulosa o vidrio. El matraz inferior se calienta y evapora el disolvente, que pasa a través del condensador.

Cuando el disolvente se condensa, cae gota a gota en el depósito interior, donde se encuentra el sólido sobre el que se ha de realizar la extracción. El disolvente caliente contacta con el sólido y empieza a producirse la transferencia de masa hacia el líquido. El disolvente condensado se acumula en el receptáculo interior del extractor y, cuando el nivel alcanza el de la válvula interior, el líquido es succionado y devuelto al matraz inferior. El matraz inferior continúa calentándose y el disolvente es destilado de nuevo, repitiéndose así el proceso durante el tiempo necesario, normalmente varias horas, lo que da lugar a decenas de ciclos de extracción.

Dado que el punto de ebullición del analito siempre será superior al disolvente empleado, el disolvente destilado no contiene cantidades importantes de este, con lo que nunca se alcanzará el límite de solubilidad del analito en el depósito interior y, por lo tanto, la transferencia de masa desde el sólido hasta el disolvente se estará produciendo hasta que prácticamente desaparezca de la matriz. Esto hace que la extracción Soxhlet sea un proceso muy eficaz de extracción sólido-líquido.

Dada la alta eficacia de la extracción Soxhlet, este método se utiliza como referencia para contrastar resultados de extracciones con otros métodos.

Figura 4. **Extractor Soxhlet**



Fuente: organica1.org. Consulta: marzo 2013.

2.3.1.6. **Maceración**

El proceso de maceración consiste en poner en contacto la matriz sólida y el solvente, durante cierto tiempo para separar las partes solubles. Este proceso da como resultado un equilibrio de concentración entre el sólido y el solvente.

El equilibrio depende de la naturaleza del sólido, su contenido de humedad y cantidad, y de factores relacionados con el solvente como la selectividad y la cantidad. El rendimiento del extracto disminuye cuando la relación materia prima/solvente aumenta. El hinchamiento de la materia prima es un factor importante, porque aumenta la permeabilidad de la pared celular y la difusión del solvente. La velocidad con que se obtiene el equilibrio está en función del tamaño de partícula de la materia prima molida, del grado de hinchamiento de las células y de las propiedades del solvente, como su viscosidad y polaridad.

El proceso clásico de maceración consiste en dejar el material vegetal en contacto con el solvente durante varios días, con agitación ocasional. Este proceso también se conoce como maceración estática o simple.

Para abreviar el tiempo de extracción, el material vegetal y el solvente se mantienen en movimiento constante. Este procedimiento es conocido como maceración dinámica, Tanto la maceración dinámica como la maceración estática pueden ser ejecutadas a una temperatura ambiente o a temperaturas más elevadas.

Las grandes desventajas de la maceración son la lentitud del proceso y el hecho de no ser posible alcanzar la extracción completa del soluto. Para disminuir las pérdidas del extracto en el residuo de la extracción, el proceso de maceración puede repetirse dos o tres veces, después de haber escurrido el solvente de la extracción anterior. Este procedimiento disminuye la cantidad de extracto retenido en el residuo, pero aumenta la cantidad de solvente a ser recuperado.

2.4. El coco

El coco es el fruto tropical del cocotero (*Cocos nucifera L.*), la palmera más cultivada a nivel mundial. El principal producto exportado desde las distintas zonas de cultivo es la copra sin procesar, seguida del coco desecado.

Figura 5. **Palma de coco (*Cocos nucifera* L.)**



Fuente: playa el Semillero, Tiquisate, Escuintla, Guatemala.

2.4.1. Etimología

El nombre específico "nucifera" deriva del latín *nucifer-a-um*, y significa portador de nueces (*fero* = yo porto y *nux-nucis* = nuez).

2.4.2. Taxonomía

Nombre científico: *Cocos nucifera*.

Nombre común: Cocotero, Coco, Palma cocotera, Palma de coco.

Clase: Angiospermeae.

Subclase: Monocotiledoneae.

Orden: Areca.

Familia: Arecaceae.

Subfamilia: Cocoideae.

Género: *Cocos*.

Especie: Nucífer.

2.4.3. Origen y distribución

El lugar de origen del cocotero es un tema discutido, mientras muchos consideran que proviene de Asia del Sur, algunos dicen que proviene del noroeste de América del Sur, de las islas del Pacífico.

Propio de las islas de clima tropical y subtropical del océano Pacífico, actualmente se cultiva tanto en el continente asiático (India, Ceilán, Indonesia) como en América Central, meridional (México, Brasil), el Caribe y en África tropical. Los países mayores productores son Mozambique, Tanzania y Ghana.

2.4.4. Descripción botánica

Tallo: el tronco del cocotero es un espite no ramificado. Es una palmera de tronco único, con frecuencia inclinado, de 10-20 metros de altura y de 50 centímetros de grosor en la base y estrechándose hacia la parte superior. En el extremo superior o ápice presenta un grupo de hojas que protegen el único punto de crecimiento o yema terminal que posee la planta. La inflorescencia es la única ramificación del tallo. En ocasiones se presentan anomalías como las ramificaciones múltiples.

Debido a que el tronco no posee tejido meristemático no engruesa, sin embargo, las variaciones en la disponibilidad de agua inducen cambios en el diámetro del tronco. El crecimiento en altura depende de las condiciones ecológicas, de la edad de la planta y del tipo de cocotero.

Hojas: sus hojas son pinnadas, formada por un pecíolo que casi circunda el tronco, continúa con un raquis del cual se desprenden de 200 a 300 folíolos, de color verde amarillento. La hoja puede medir de 1,5 a 6 metros de longitud, y

es menor al aumentar la edad de la planta. En condiciones ambientales favorables una planta adulta de crecimiento gigante emite entre 12 a 14 hojas por año, en cambio el enano puede emitir hasta 18 hojas en el mismo periodo. La copa no es muy amplia y se compone de 25 a 30 hojas arqueadas.

Inflorescencia: posee inflorescencias paniculadas que nacen en las axilas de las hojas inferiores, protegidas por una bráctea llamada espada de hasta 70 centímetros de longitud. La espada se desarrolla en 3 o 4 meses, después se abre y libera las espigas. Cada espiga posee flores masculinas en los dos tercios terminales y femeninas en el tercio basal.

Polinización: en los cocoteros gigantes las flores masculinas se abren antes que las femeninas estén receptivas, lo cual contribuye a la polinización cruzada. En el caso de los cocoteros enanos es simultánea, por tanto hay un porcentaje alto de autofecundación.

Fruto. Es una drupa, de 20-30 centímetros de longitud con forma ovoidal, pudiendo llegar a pesar hasta 2,5 kilogramos. Formado por una epidermis lisa, un mesocarpo espeso (o estopa) del cual se extrae fibra. Más al interior se encuentra el endocarpo que es una capa fina y dura de color marrón llamada hueso o concha, envuelto por él se encuentra el albumen sólido o copra que forma una cavidad grande donde se aloja el albumen líquido, también conocido como agua de coco. El embrión se encuentra próximo a dos orificios del endocarpio, envuelto por un albumen sólido.

Raíces. El sistema radicular es fasciculado. Las raíces primarias son las encargadas de la fijación de la planta y de la absorción de agua. Las raíces terciarias derivan de las secundarias, y son las verdaderas extractoras de nutrientes. Las raíces activas se localizan en un radio de dos

metros del tronco, a una profundidad de entre 0,2 a 0,8 metros, dependiendo de la profundidad efectiva del suelo y de la profundidad del nivel freático.

2.4.5. Tipos de cocoteros

La clasificación mayor del cocotero se basa en la altura de la planta, y es de la siguiente manera:

Palmas altas: algunas veces referidas como var. *typica*. Son ampliamente cultivadas tanto para uso comercial como doméstico y crecen a una altura de 20 a 30 metros.

Estas maduran lentamente y florecen de 6 a 10 años después de haber sido plantadas. Presentan una larga vida productiva de 60 a 70 años, a pesar de que existen palmas más viejas que producen bien. La polinización es cruzada por ello existe una diversidad de tipos.

Por la mayor cantidad de copra se utiliza para la elaboración de aceite. Entre sus ventajas para el cultivo están: el tamaño grande del fruto, la robustez de la planta, el alto contenido de copra, entre otros.

Sin embargo, posee varias desventajas como: la baja tolerancia a la enfermedad conocida como *Amarillamiento Letal del Cocotero*, la fructificación tardía, la baja producción de frutos por planta y la dificultad para realizar labores de cultivo por su porte alto.

Palmas enanas: algunas referidas como var. *nana*. Se cree que son mutantes de los tipos altos con una corta estatura, de 8 a 10 metros cuando tienen 20 años de edad. Comienzan a producir alrededor del tercer año a

menos de un metro de altura. Tienen una corta vida productiva de 30 a 40 años. Se autofecundan, permitiendo su reproducción por semilla, sin perder las características de la planta madre.

Por el excelente sabor del agua, son potenciales para el envasado de agua de coco. Algunas ventajas de los cocoteros enanos son: la resistencia al *Amarillamiento Letal del Cocotero*, la precocidad de producción, el mayor número de frutos por palma y el crecimiento lento. Entre las desventajas se encuentran: el tamaño pequeño del fruto, la mala calidad de la copra.

Híbridos: son el producto del cruce entre plantas del grupo de los gigantes y los enanos. Los usos de los híbridos son múltiples ya que adquieren las mejores cualidades de los padres dando como resultado frutos de tamaño mediano a grande, buen sabor del agua, buen rendimiento de la copra, crecimiento lento, producción de frutos alta y la resistencia al *Amarillamiento Letal*.

2.4.6. Hábitat

El cocotero requiere clima cálido, sin grandes variaciones de temperatura. Una temperatura media en torno a los 27 grados Celsius con variaciones de 5 a 7 grados Celsius.

Humedad relativa: por la distribución geográfica del cocotero, se puede concluir que los climas cálidos y húmedos son los más favorables para su cultivo. Una humedad atmosférica baja o excesiva es perjudicial para el cocotero. Menos del 60 % de humedad relativa es nociva para la planta.

Cuando el nivel freático es poco profundo (1 a 3 metros) o cuando se garantiza el riego, aumenta la transpiración foliar, provocada por la baja humedad atmosférica, induciendo un aumento en la absorción de agua y de nutrientes por las raíces.

Precipitación: el régimen de precipitación pluvial ideal se caracteriza por una lluvia anual promedio de 1 500 milímetros, con precipitación mensual mayor a 130 milímetros. Reportes sobre el déficit hídrico, señalan que períodos de tres meses con menos de 50 milímetros son perjudiciales al cultivo.

Intensidad lumínica: el cocotero es una planta heliofilica, por lo tanto no admite sombreamiento. Una insolación de 2 000 horas anuales con un mínimo de 120 horas mensuales, es considerada ideal para el cultivo.

Vientos: los vientos suaves o moderados favorecen el cultivo, sin embargo, los vientos fuertes en períodos de sequía aumentan las condiciones de sequedad del suelo y la transpiración de la planta, generando un déficit hídrico perjudicial para la planta. Las condiciones de vientos huracanados son limitantes, principalmente para los cocoteros del tipo enano, pues poseen menor resistencia en su tronco y raíces.

Suelos: los suelos aptos para el cultivo del cocotero son aquellos con texturas livianas (de francos a arenosos), aluviales, profundos (más de 1 metro), con una capa freática superficial de 1 a 2 metros de profundidad. Los suelos de la planicie costera presentan estas características.

Cuando se maneja la humedad del suelo con riego, el cultivo puede realizarse en suelos arcillosos y limosos.

El cocotero se adapta bien a los suelos donde la capa freática es salina. Debido a la gran demanda de cloro de la planta, la existencia de agua salobre es hasta beneficiosa, por ello es uno de los pocos cultivos que puede verse en las cercanías de las playas.

Altitud: el rango óptimo de elevación en que se desarrolla el cocotero está entre los 0 a 400 metros sobre el nivel del mar.

2.4.7. Información fitoquímica

En la planta se han identificado ácidos grasos: caproico, caprílico, laúrico, mirístico, tridecanóico, undecanóico.

Del fruto se han aislado alcaloides, fenoles, lignina, pentosanos, anhídridos urónicos, nitrógeno, metoxil, celulosa.

En el endospermo se han identificado: alcaloides: 2-3-5-6-tetrametilpirazina, 2-3-5-trimetilpirazina; lactonas: δ -dodecalactona, δ -octalactona.

En la copra seca se han identificado: lípidos, glucósidos, proteínas, glicéridos: ácido laúrico, mirístico, caprílico.

El agua de coco contiene carbohidratos; ácidos: málico, aminados; proteína: aminopurina.

De la semilla se han aislado; triterpenos; α y β -amirina, cicloartenol, 24 metilencicloartenol, escualeno; esteroides: campesterol, estigmasterol, β -sitosterol.

En la savia se han identificado sesquiterpenos. Los terpenos son los principios activos del *Cocos nucifera L.*

2.4.8. Farmacología

Se ha demostrado cierta actividad biológica. El extracto etanólico de la cáscara del fruto tiene actividad antiespasmódica y el extracto etanólico de la copra tiene actividad anti fúngica.

2.4.9. Toxicología

El agua del fruto maduro puede ser tóxica en personas sensibles a los fenoles. Los ácidos caproíco, laúrico, mirístico, tridecanóico y undecanóico son considerados como toxinas de la planta.

2.4.10. Usos

La palma de coco, económicamente hablando, es el miembro más importante de la familia de las palmeras. Las diversas partes de la palma de coco se utilizan de muchas maneras por los nativos de los trópicos. La madera del cocotero se usa para la construcción de casas. La corteza exterior es dura y muy útil para la fabricación de muebles. Para mejorar su calidad se deja un mes en agua salada.

El palmito o yema terminal del cocotero se consume crudo o cocido, contiene 3 % de almidón y 5 % de azúcar. Las raíces tienen propiedades antidiarréicas. Las palmas son usadas para techos, canastas, sombreros, alfombras, etc. El agua de coco se consume como bebida rehidratante, ha sido usada como sustituto de sueros, y posee un alto valor nutritivo.

De la copra del coco se obtiene el aceite, el cual se usa en alimentos, cosmetología, combustibles y lubricantes. La copra también se usa para repostería. La torta, subproducto de la extracción del aceite se usa como alimento para ganado, por su alto contenido de proteínas.

El endocarpo que cubre la copra se usa como materia prima para producir carbón y carbón activado, también se utiliza para fabricar botones, cucharas y adornos.

3. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Variables

Las variables a considerar, se clasifican en independientes y dependientes, según pueda o no cambiar libremente su valor sin que se vea afectada por alguna otra variable.

3.1.1. Variables independientes

Se consideraron como variables independientes los solventes y los métodos de extracción de la fracción lipídica, la velocidad de agitación, la relación sólido-solvente, el tamaño de partícula y la temperatura de la extracción.

Tabla I. Variables independientes

Solvente	Método de extracción	Velocidad de agitación	Relación sólido: solvente	Tamaño de partícula	Temperatura de extracción
Hexano	Soxhlet	N/A	01:10	Pasa tamiz de 4, 75 mm y no pasa tamiz de 1,18 mm.	Temperatura de ebullición de cada solvente
Acetato de Etilo		Maceración dinámica con reflujo			
Alcohol isopropílico					

Fuente: elaboración propia.

Tamaño de partícula. La copra del coco previamente reducida de tamaño se deshidrató hasta una humedad de 2,66 %. Luego se tamizó para tener un tamaño de partícula uniforme en todas las extracciones, mediante un tamiz vibratorio Rotap modelo RX-30. Para realizar las extracciones se utilizó la materia prima que pasó el tamiz de 4,75 milímetros, pero que no pasó el tamiz de 1,18 milímetros.

Velocidad de agitación. Como variable en la extracción por maceración dinámica con reflujo se tiene la velocidad de agitación del agitador magnético, esta se calibró a 500 revoluciones por minuto, mediante la fijación de una velocidad de rotación utilizando una lámpara estroboscópica.

Una lámpara estroboscópica permite encender y apagar su luz, en un lapso de tiempo dado, la cantidad de veces que se desee, lo que permite visualizar un objeto que está girando como si estuviera inmóvil o girando muy lentamente. Se colocó el agitador en la plancha y se hizo girar el mismo, luego se enfocó con la lámpara hasta que pareciera que el agitador no se mueve. De ésta manera se calibró la velocidad de rotación del agitador a 500 revoluciones por minuto.

Relación sólido solvente. Se utilizó una relación sólido: solvente 1:10 en peso/volumen, para asegurar un exceso de solvente en la matriz de extracción.

Temperatura de extracción. La extracción de la fracción lipídica se realizó a la temperatura de ebullición de cada solvente a 0,84 atmosferas de presión. Al utilizar Hexano, la maceración se realizó a 68,6 grados Celsius, para el acetato de etilo se realizó a 76,6 grados Celsius y para el alcohol isopropílico se realizó a 82,0 grados Celsius. La temperatura de la extracción se evaluó suspendiendo

un termómetro dentro del balón. Dicha temperatura se monitoreó de manera continua durante toda la extracción.

3.1.2. Variables dependientes

Las variables dependientes se establecieron a partir de las variables independientes. Entre estas se encuentran la densidad, los sólidos disueltos y el índice de refracción de los extractos, y el tiempo de la extracción.

Tabla II. **Variables dependientes**

Extracción de la fracción lipídica del coco (<i>Cocos nucifera L.</i>)	Monitoreo de la extracción	Tiempo de extracción
	Densidad	Depende del monitoreo de la extracción
	Sólidos disueltos	
	Índice de refracción	

Fuente: elaboración propia.

Índice de refracción. La maceración se monitoreó midiendo varios parámetros para determinar el punto final de la misma. El índice de refracción es una medida que determina la reducción de la velocidad de la luz al propagarse por un medio homogéneo, respecto a un marco de referencia.

El índice de refracción se midió cada ciclo para la extracción Soxhlet, y se tomó como punto final de la extracción cuando éste parámetro tuvo un valor constante para tres ciclos seguidos. Para la maceración dinámica con reflujo, el índice de refracción se midió cada veinte minutos, hasta que tuvieron tres mediciones constantes. Para su medición se utilizó un refractómetro Fischer Scientific, modelo 334620.

Densidad. La densidad, que es el peso del extracto por unidad de volumen, se midió cada dos ciclos para la extracción Soxhlet y cada veinte minutos para la maceración dinámica con reflujo. Este parámetro también fue constante al finalizar la extracción. Se utilizó un picnómetro de 1,069 mililitros y una balanza analítica para realizar la medición.

Sólidos disueltos totales. Los sólidos disueltos totales hacen alusión a materia suspendida o disuelta en el extracto. Para su medición se colocó 1 mililitro del extracto en tapas metálicas y se secó en un horno a 55 grados Celsius hasta que el peso de la tapa con la solución fue constante. El total de sólidos disueltos se reporta en gramos por mililitro. La medición se hizo cada veinte minutos para la maceración dinámica y cada dos ciclos para la extracción Soxhlet.

Tiempo de extracción. El tiempo de extracción quedó determinado por un monitoreo de las tres variables descritas anteriormente, la densidad, el índice de refracción y los sólidos disueltos totales. Se tomó como punto final de la extracción cuando las tres variables anteriores fueron constantes.

3.2. Delimitación del campo de estudio

El campo de estudio fue la extracción y caracterización fisicoquímica la fracción lipídica del coco (*Cocos nucifera L.*), a escala laboratorio.

Se evaluó el rendimiento de extracción por maceración dinámica con reflujo para la fracción lipídica del coco utilizando tres solventes con distinta constante dieléctrica, hexano, acetato de etilo, y alcohol isopropílico.

Se determinó el perfil de ácidos grasos para la fracción lipídica obtenida con cada solvente.

3.3. Recursos humanos disponibles

- Asesora: Inga. Qca. Telma Maricela Cano Morales.
Directora Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala
- Asesor: Ing. Qco. Mario José Mérida Meré
Coordinador Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales – LIEXVE-, Sección Química Industrial, Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Investigadora: Br. Evelyn Lissette Figueroa Fuentes.

3.4. Recursos materiales disponibles

Los recursos materiales utilizados para llevar a cabo esta investigación se clasifican en recurso físico, materia prima, reactivos, cristalería y equipos de laboratorio.

3.4.1. Recurso físico

Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, Sección de Química Industrial del Centro de Investigaciones de Ingeniería, Universidad de San Carlos.

3.4.2. Materia prima

Copra de coco deshidratada (humedad inferior al 5 %) variedad verde de la playa El Semillero (14 grados Norte, 91 grados Este), Tiquisate, Escuintla, Guatemala.

3.4.3. Reactivos

- Hexano anhidro al 99,8 %
- Alcohol isopropílico al 99,97 %
- Acetato de etilo al 99,996 %

3.4.4. Cristalería

- Balón de 500 mL
- Condensador de bolas
- Agitadores magnéticos de 21 mm x 7 mm
- Equipo Soxhlet
- Perlas de ebullición
- Beacker
- Picnómetro

3.4.5. Equipo

- Secador eléctrico de bandejas de flujo transversal marca PREMLAB
- Balanza de humedad, marca Sartorius, modelo MA 150
- Balanza digital
- Plancha de calentamiento marca CORNING, modelo: PC-620
- Rotaevaporador marca Büchi, modelo: R-200

- Recirculador
- Refractómetro marca Fischer Scientific, modelo 334620
- Horno secador marca Cole Parmer, modelo 05015-54
- Bomba de vacío marca Gast, modelo: O523-VAFG588DX
- Campana de extracción
- Lámpara estroboscópica
- Tamiz vibratorio Rotap modelo RX-30, serie 25005.

3.5. Metodología experimental

La fracción lipídica del coco se extrajo de la copra rayada y deshidratada del fruto maduro del cocotero (*Cocos nucifera L.*), por extracción sólido-líquido utilizando la técnica de maceración dinámica con reflujo a la temperatura de ebullición del solvente. Se utilizaron tres solventes: hexano, acetato de etilo y alcohol isopropílico. Para el control de la extracción de la fracción lipídica se utilizó el índice de refracción, el contenido de sólidos disueltos y la densidad. Como parámetro comparativo, se determinó el porcentaje de extracción máximo, utilizando la técnica Soxhlet como método de extracción. Para determinar la composición de la fracción lipídica extraída se realizó el perfil de ácidos grasos por cromatografía de gases con detector de ionización de llama.

3.5.1. Densidad

Se midió cada dos ciclos para la extracción Soxhlet y cada veinte minutos para la maceración dinámica con reflujo.

Instrumentos

- Picnómetro de 1,069 mL

- Balanza analítica Shimadzu

Procedimiento

- A. Pesar el picnómetro vacío.
- B. Llenar el picnómetro con la fracción lipídica y colocar el tapón.
- C. Pesar el picnómetro lleno de la fracción lipídica.

Cálculos

$$Densidad = \frac{Peso\ 1 - Peso\ 2}{V}$$

(Ecuación No. 1)

Donde:

Peso 1 = peso del picnómetro lleno (gramos)

Peso 2 = peso del picnómetro vacío (gramos)

V = volumen del picnómetro (mililitros)

3.5.2. Sólidos disueltos totales (TDS)

La medición se hizo cada veinte minutos para la maceración dinámica y cada dos ciclos para la extracción Soxhlet.

Instrumentos

- Horno secador
- Gotero plástico de 3 mL con escala volumétrica
- Varias tapas metálicas de 2 cm de diámetro y 0,5 cm de profundidad

Procedimiento

- A. Pesar una tapa limpia y seca.
- B. Colocar 1 mililitro del extracto en una tapa.
- C. Secar en el horno secador a 55 grados Celsius hasta que el peso de la tapa sea constante.

Cálculos

$$TDS = \frac{\text{Peso 1} - \text{Peso 2}}{V}$$

(Ecuación No. 2)

Donde:

Peso 1 = peso final de la tapa metálica (gramos)

Peso 2 = peso de la tapa antes de agregar el extracto (gramos)

V = volumen del extracto (1 mililitro)

3.5.3. Índice de refracción

Se midió cada ciclo para la extracción Soxhlet, y cada veinte minutos para la maceración dinámica con reflujo.

Instrumentos

- Refractómetro Fischer Scientific
- Recirculador de agua

Procedimiento

- A. Conectar el recirculador de agua fría al refractómetro.
- B. Colocar varias gotas del extracto hasta cubrir todo el lente del refractómetro.
- C. Cerrar el refractómetro y encender la luz.
- D. Leer el índice de refracción.
- E. Limpiar el lente del refractómetro con etanol.

Caracterización fisicoquímica de la fracción lipídica de la copra del coco (*Cocos nucifera L.*)

La calidad de la fracción lipídica se determinó a partir de sus constantes físicas y composición química.

3.5.4. Perfil de ácidos grasos por cromatografía de gases Método Oficial AOCS 969.33, Ed. 18, 2005

Generalidades

Definición: los ácidos grasos son ácidos carboxílicos alifáticos de cadena larga con un número par de átomos de carbono. Son los constituyentes de las grasas animales y vegetales, estos se logran diferenciar por la existencia de unos ácidos grasos y otros que no poseen, así como la composición en que éstos se encuentran.

Alcance: se aplica a grasas sólidas o líquidas de origen animal o vegetal.

Materiales y equipo

- Papel filtro Whatman No. 44

- Beacker de 100 mL
- Balón aforado de 25 mL
- Pipetas Pasteur
- Pipetas serológicas de 5 mL
- Cromatógrafo de gases AGILENT TECHNOLOGIES
- Estufa o plancha de calentamiento

Reactivos

- Solución de hidróxido de sodio: 20 g en 1000 mL de metanol.
- Trifloruro de boro.
- Heptano
- Solución saturada de cloruro de sodio
- Sulfato de sodio anhidro.

Procedimiento

Derivatización de la muestra

- Calentar la muestra para fundirla y hacerla fluida, para luego filtrarla por medio de papel Whatman No. 44 con el objetivo de eliminar impurezas.
- Colocar de 0,10 gramos de muestra del aceite en un balón de 25 mililitros.
- Agregar 2,5 mililitros de solución de NaOH, calentar la mezcla en la estufa sin aplicar calor directo y agitar constantemente para eliminar la humedad.
- Agregar 1,75 mililitros de trifloruro de boro.
- Mezclar con 2 mililitros de heptano.
- Aforar con una solución saturada de NaCl.

- Agregar de 0,5 a 1,0 gramo de sulfato de sodio anhidro, como absorbente de humedad, dentro del vial listo para inyectar.
- Preparar de 1 a 3 microlitros de la muestra para realizar la inyección.

Detección de ácidos grasos

Las muestras se inyectaron en una columna HP-88 de 100 metros por 0,25 milímetros de diámetro interno por 0,20 micrometros de fase estacionaria, empleando un detector de ionización de llama (FID). La identificación se realiza contra un patrón de 35 ésteres. Se reporta la composición porcentual basada en el total de ácidos grasos presentes en la muestra.

Los tiempos en que cada uno de los ácidos grasos son retenidos se describen a continuación:

Tabla III. **Tiempos de retención para cada ácido graso en el cromatógrafo de gases con detector de ionización de llama, empleando una columna HP-88**

Nomenclatura del ácido graso	Nombre del ácido graso	Tiempo de retención (min)
C06:0	Caproico	10,32
C08:0	Caprílico	10,83
C10:0	Cáprico	11,77
C11:0	Undecanoico	12,48
C12:0	Láurico	13,49
C13:0	Tridecanóico	14,73
C14:0	Mirístico	16,52
C15:0	Pentadecanoico	18,75
C16:0	Palmítico	21,94
C18:0	Esteárico	31,59
C18:1	Oleico	35,32
C18:2	Linoléico	41,92
C20:0	Araquídico	48,74

Fuente: anexo 2, informes de resultados.

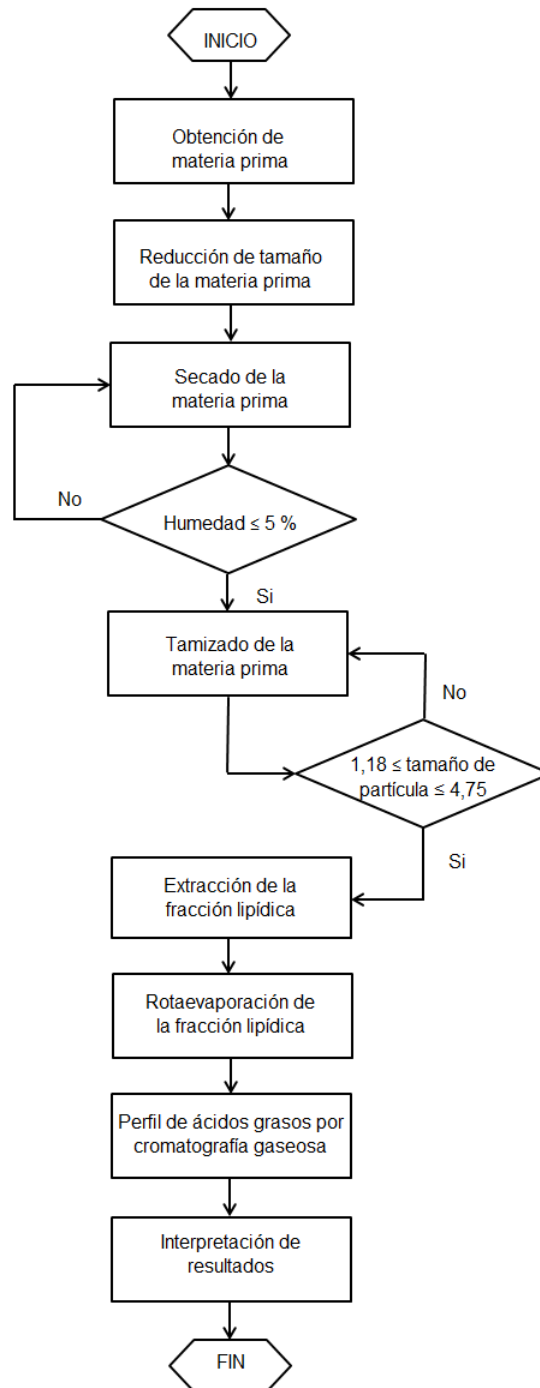
3.6. Técnica cuantitativa

Para la extracción de la fracción lipídica de coco con maceración dinámica con reflujo, se trabajó con tres solventes de distinta constante dieléctrica, y seis repeticiones por cada extracción. La extracción mediante la técnica Soxhlet se utilizó como método comparativo para evaluar el rendimiento máximo de extracción para cada solvente. En este caso se hicieron cuatro repeticiones.

3.7. Recolección y ordenamiento de la información

Los datos del rendimiento de la extracción se recolectaron y ordenaron en tablas, según el número de repeticiones establecido en el diseño experimental, manteniendo una concordancia con las variables experimentales establecidas.

Figura 6. Diagrama de flujo de la recolección y el ordenamiento de los datos experimentales



Fuente: elaboración propia.

3.8. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

Durante el proceso de extracción de la fracción lipídica del fruto de la palma del coco (*Cocos nucifera L.*) se recopilaron y tabularon datos de tiempo de extracción, índice de refracción, sólidos disueltos y densidad de los extractos, y porcentajes de rendimiento.

Los datos se tabularon en una hoja de cálculo en Microsoft Excel, para facilitar la realización de los cálculos y el análisis estadístico.

3.9. Análisis estadístico

Se hizo el análisis de los datos del rendimiento de extracción mediante un análisis de varianza (ANOVA) de tipo factorial, con lo que es posible analizar el efecto individual de cada variable y la interacción entre ellas.

El análisis estadístico consistió en descomponer la varianza para determinar con que valores se encuentra el mejor rendimiento de la extracción. Se realizó un análisis de varianza bifactorial, debido a que se analizó dos factores con un tratamiento con n corridas cada uno.

4. RESULTADOS

Tabla IV. **Porcentaje de rendimiento de la extracción de la fracción lipídica del fruto del coco (*Cocos nucifera L.*) por maceración dinámica con reflujo utilizando hexano como solvente**

Metodología	Corrida	% de Rendimiento
Maceración Dinámica con Hexano	R1	26,17
	R2	28,16
	R3	27,66
	R4	25,38
	R5	28,32
	R6	26,71
	Promedio	27,07
	Desviación estándar	1,18

Fuente: apéndice C, datos calculados.

Tabla V. **Porcentaje de rendimiento de la extracción de la fracción lipídica del fruto del coco (*Cocos nucifera L.*) por maceración dinámica con reflujo utilizando alcohol isopropílico como solvente**

Metodología	Corrida	% de Rendimiento
Maceración Dinámica con Alcohol Isopropílico	R1	20,37
	R2	24,33
	R3	24,26
	R4	23,38
	R5	23,92
	R6	22,85
	Promedio	23,19
	Desviación estándar	1,49

Fuente: apéndice C, datos calculados.

Tabla VI. **Porcentaje de rendimiento de la extracción de la fracción lipídica del fruto del coco (*Cocos nucifera L.*) por maceración dinámica con reflujo utilizando acetato de etilo como solvente**

Metodología	Corrida	% de Rendimiento
Maceración Dinámica con Acetato de etilo	R1	24,06
	R2	23,54
	R3	24,98
	R4	24,34
	R5	24,98
	R6	23,77
	Promedio	24,28
	Desviación estándar	0,60

Fuente: apéndice C, datos calculados.

Tabla VII. **Porcentaje de rendimiento de la extracción de la fracción lipídica del fruto del coco (*Cocos nucifera L.*) con la técnica Soxhlet utilizando hexano como solvente**

Metodología	Corrida	% de Rendimiento
Soxhlet con Hexano	R1	36,89
	R2	34,42
	R3	37,57
	R4	35,25
	Promedio	36,03
	Desviación estándar	1,45

Fuente: apéndice C, datos calculados.

Tabla VIII. **Porcentaje de rendimiento de la extracción de la fracción lipídica del fruto del coco (*Cocos nucifera L.*) con la técnica Soxhlet utilizando alcohol isopropílico como solvente**

Metodología	Corrida	% de Rendimiento
Soxhlet con Alcohol isopropílico	R1	34,74
	R2	30,92
	R3	32,57
	R4	31,31
	Promedio	32,38
	Desviación estándar	1,72

Fuente: apéndice C, datos calculados.

Tabla IX. **Porcentaje de rendimiento de la extracción de la fracción lipídica del fruto del coco (*Cocos nucifera L.*) con la técnica Soxhlet utilizando acetato de etilo como solvente**

Metodología	Corrida	% de Rendimiento
Soxhlet con Acetato de etilo	R1	30,08
	R2	27,77
	R3	28,53
	R4	28,58
	Promedio	28,74
	Desviación estándar	0,97

Fuente: Apéndice C, datos calculados.

Tabla X. **Propiedades físicas de las fracciones lipídicas del coco (*Cocos nucifera L.*) obtenidas utilizando hexano como solvente**

Propiedad	Maceración dinámica con reflujo	Extracción Soxhlet
Densidad (g/mL, 24°C)	0,9260	0,9025
Índice de Refracción	1,4495	1,4500
Punto de fusión (°C)	39	36
Solubilidad en		
Agua	Insoluble	Insoluble
Etanol	Parcialmente soluble	Parcialmente soluble
Benceno	Soluble	Soluble
Cloroformo	Soluble	Soluble

Fuente: apéndice C, datos calculados.

Tabla XI. **Propiedades físicas de las fracciones lipídicas del coco (*Cocos nucifera L.*) obtenidas utilizando alcohol isopropílico como solvente**

Propiedad	Maceración dinámica con reflujo	Extracción Soxhlet
Densidad (g/mL, 24°C)	0,9277	0,9183
Índice de Refracción	1,4535	1,4545
Punto de fusión (°C)	36	34
Solubilidad en		
Agua	Insoluble	Insoluble
Etanol	Parcialmente soluble	Parcialmente soluble
Benceno	Soluble	Soluble
Cloroformo	Soluble	Soluble

Fuente: apéndice C, datos calculados.

Tabla XII. **Propiedades físicas de las fracciones lipídicas del coco (*Cocos nucifera L.*) obtenidas utilizando acetato de etilo como solvente**

Propiedad	Maceración dinámica con reflujo	Extracción Soxhlet
Densidad (g/mL, 24°C)	0,9280	0,9234
Índice de Refracción	1,4540	1,4550
Punto de fusión (°C)	28	26
Solubilidad		
Agua	Insoluble	Insoluble
Etanol	Parcialmente soluble	Parcialmente soluble
Benceno	Soluble	Soluble
Cloroformo	Soluble	Soluble

Fuente: apéndice C, datos calculados.

Tabla XIII. **Perfil de ácidos grasos por cromatografía gaseosa y detector de llama de ionización (FID) para la fracción lipídica obtenida por maceración dinámica con reflujo utilizando hexano como solvente**

Ácido graso	Tiempo de Retención (min)	Contenido (%m/m)
Caproico (C06:0)	10,32	0,55
Caprílico (C08:0)	10,83	6,91
Cáprico (C10:0)	11,77	5,63
Undecanoico (C11:0)	12,48	0,03
Láurico (C12:0)	13,49	47,93
Tridecanóico (C13:0)	14,73	0,04
Mirístico (C14:0)	16,52	19,10
Pentadecanoico (C15:0)	18,75	trazas
Palmitico (C16:0)	21,94	9,39
Palmitoleico (C16:1)	24,34	ND
Esteárico (C18:0)	31,59	3,21
Elaídico (trans C18:1n9)	33,92	trazas
Oleico (C18:1)	35,32	5,88
Linoléico (C18:2)	41,92	1,25
Araquídico (C20:0)	48,74	0,09
cis-11-Eicosenoico (C20:1n9)	54,79	trazas

Fuente: anexo 2, informes de resultados.

Tabla XIV. **Perfil de ácidos grasos por cromatografía gaseosa y detector de llama de ionización (FID) para la fracción lipídica del fruto del coco (*Cocos nucifera* L.) obtenida por maceración dinámica con reflujo utilizando alcohol isopropílico como solvente**

Ácido graso	Tiempo de Retención (min)	Contenido (%m/m)
Caproico (C06:0)	10,32	0,56
Caprílico (C08:0)	10,83	6,85
Cáprico (C10:0)	11,77	5,57
Undecanoico (C11:0)	12,48	0,02
Láurico (C12:0)	13,49	47,96
Tridecanóico (C13:0)	14,73	0,04
Mirístico (C14:0)	16,52	19,24
Pentadecanoico (C15:0)	18,75	0,01
Palmitico (C16:0)	21,94	9,38
Palmitoleico (C16:1)	24,34	ND
Estearico (C18:0)	31,59	3,37
Elaídico (trans C18:1n9)	33,92	ND
Oleico (C18:1)	35,32	5,81
Linoléico (C18:2)	41,92	1,10
Araquídico (C20:0)	48,74	0,09
cis-11-Eicosenoico (C20:1n9)	54,79	ND

Fuente: anexo 2, informes de resultados.

Tabla XV. **Perfil de ácidos grasos por cromatografía gaseosa y detector de llama de ionización (FID) para la fracción lipídica del fruto del coco (*Cocos nucifera* L.) obtenida por maceración dinámica con reflujo utilizando acetato de etilo como solvente**

Ácido graso	Tiempo de Retención (min)	Contenido (%m/m)
Caproico (C06:0)	10,32	0,56
Caprílico (C08:0)	10,83	6,86
Cáprico (C10:0)	11,77	5,58
Undecanoico (C11:0)	12,48	0,03
Láurico (C12:0)	13,49	47,86
Tridecanoico (C13:0)	14,73	0,04
Mirístico (C14:0)	16,52	19,13
Pentadecanoico (C15:0)	18,75	trazas
Palmitico (C16:0)	21,94	9,42
Palmitoleico (C16:1)	24,34	trazas
Esteárico (C18:0)	31,59	3,28
Elaídico (trans C18:1n9)	33,92	ND
Oleico (C18:1)	35,32	5,95
Linoléico (C18:2)	41,92	1,21
Araquídico (C20:0)	48,74	0,09
cis-11-Eicosenoico (C20:1n9)	54,79	ND

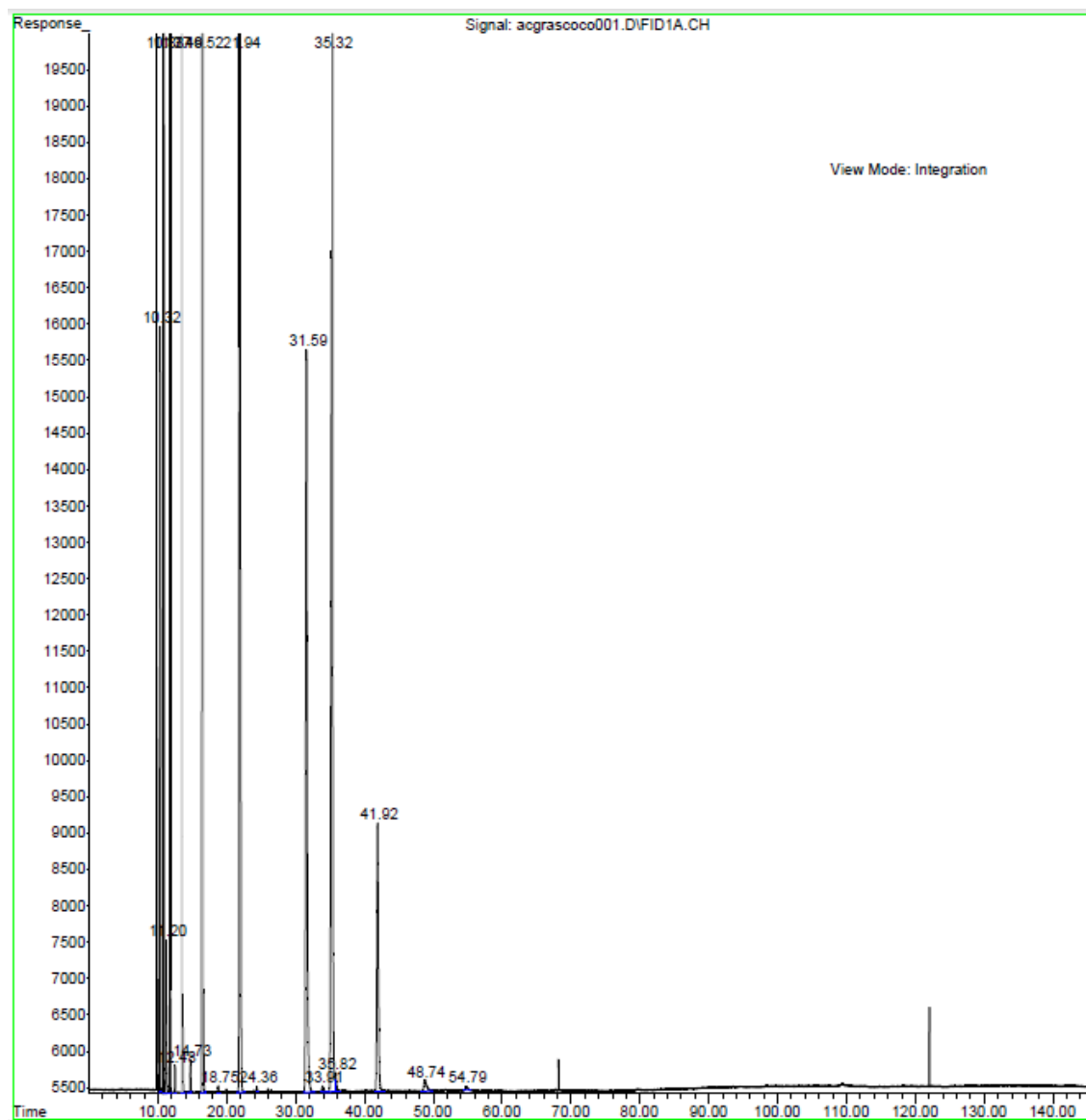
Fuente: anexo 2, informes de resultados.

Tabla XVI. **Porcentaje en masa del contenido de ácidos grasos determinados por cromatografía gaseosa y detector de llama de ionización (FID) para la fracción lipídica del fruto del coco (*Cocos nucifera L.*) obtenida por maceración dinámica con reflujo utilizando tres solventes**

Ácido graso	Porcentaje masa/masa		
	Hexano	Alcohol isopropílico	Acetato de etilo
Caproico (C06:0)	0,55	0,56	0,56
Caprílico (C08:0)	6,91	6,85	6,86
Cáprico (C10:0)	5,63	5,57	5,58
Undecanoico (C11:0)	0,03	0,02	0,03
Láurico (C12:0)	47,93	47,96	47,86
Tridecanóico (C13:0)	0,04	0,04	0,04
Mirístico (C14:0)	19,10	19,24	19,13
Pentadecanoico (C15:0)	trazas	0,01	trazas
Palmitico (C16:0)	9,39	9,38	9,42
Palmitoleico (C16:1)	ND	ND	trazas
Estearico (C18:0)	3,21	3,37	3,28
Elaídico (trans C18:1n9)	trazas	ND	ND
Oleico (C18:1)	5,88	5,81	5,95
Linoléico (C18:2)	1,25	1,10	1,21
Araquídico (C20:0)	0,09	0,09	0,09
cis-11-Eicosenoico (C20:1n9)	trazas	ND	ND

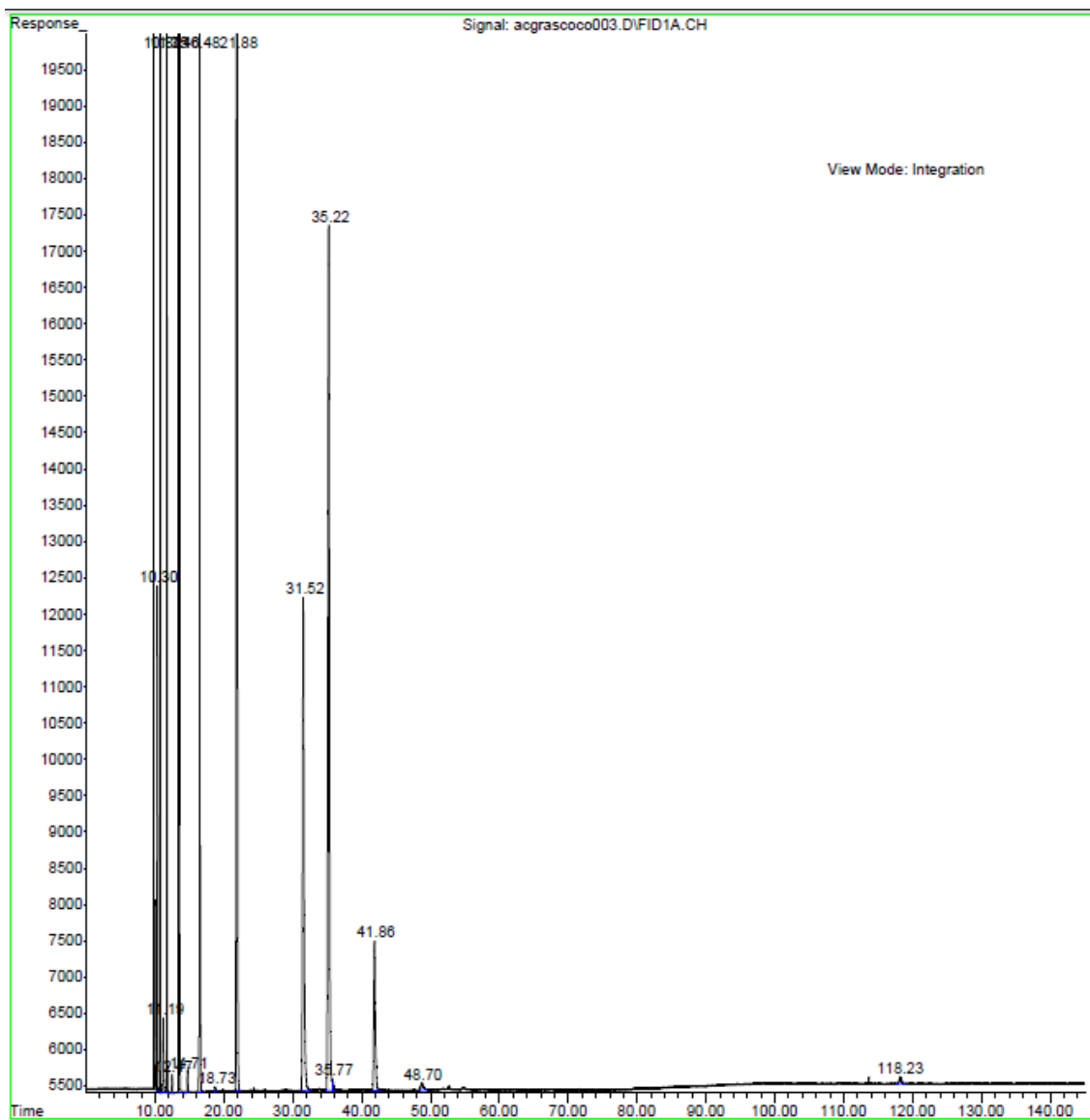
Fuente: tablas XIII, XIV y XV.

Figura 7. **Cromatograma de ácidos de la fracción lipídica del fruto del coco (*Cocos nucifera* L.) obtenida por maceración dinámica utilizando hexano como solvente**



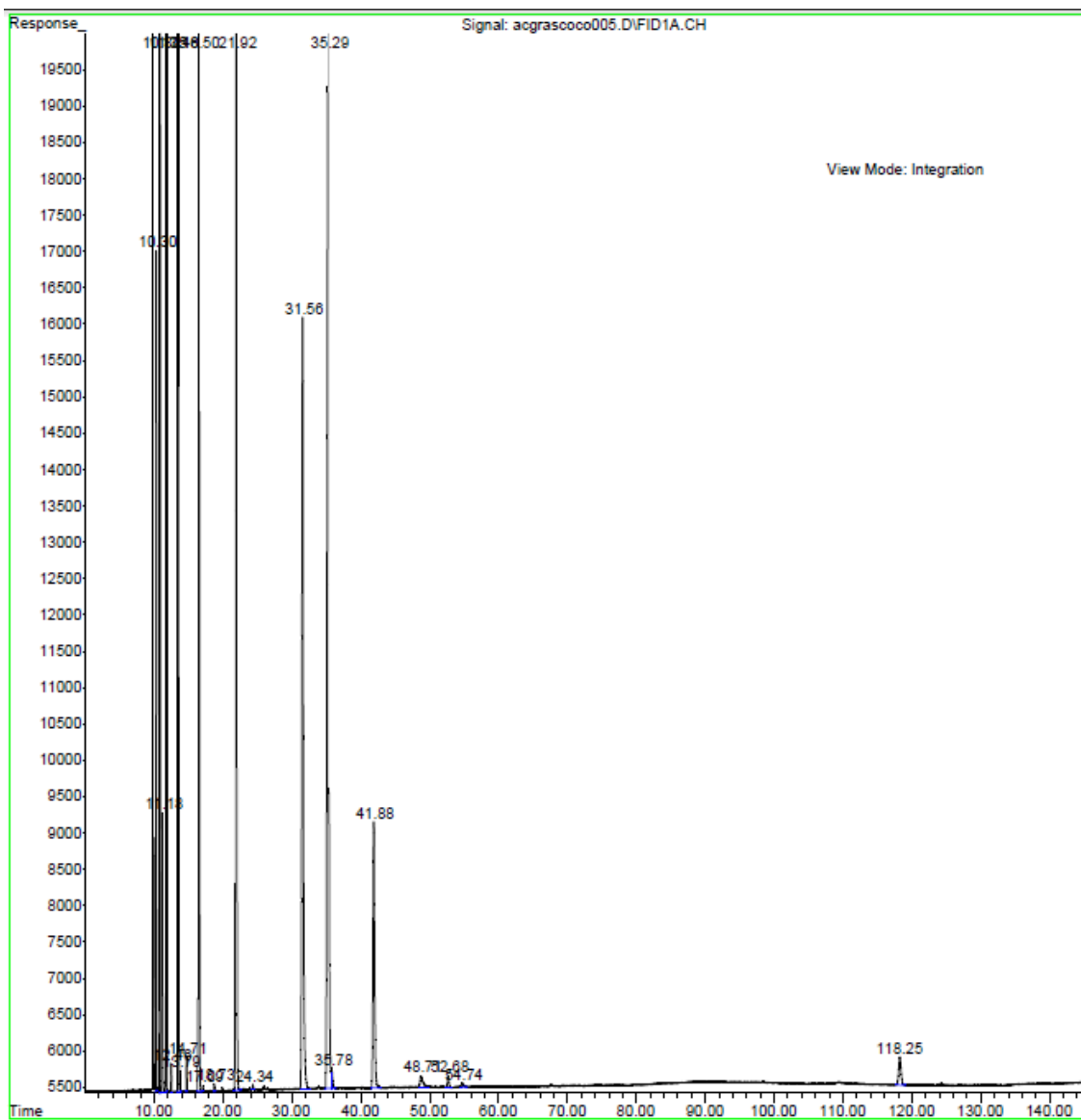
Fuente: anexo 2, informes de resultados.

Figura 8. Cromatograma de ácidos de la fracción lipídica del fruto del coco (*Cocos nucifera L.*) obtenida por maceración dinámica utilizando como solvente alcohol isopropílico



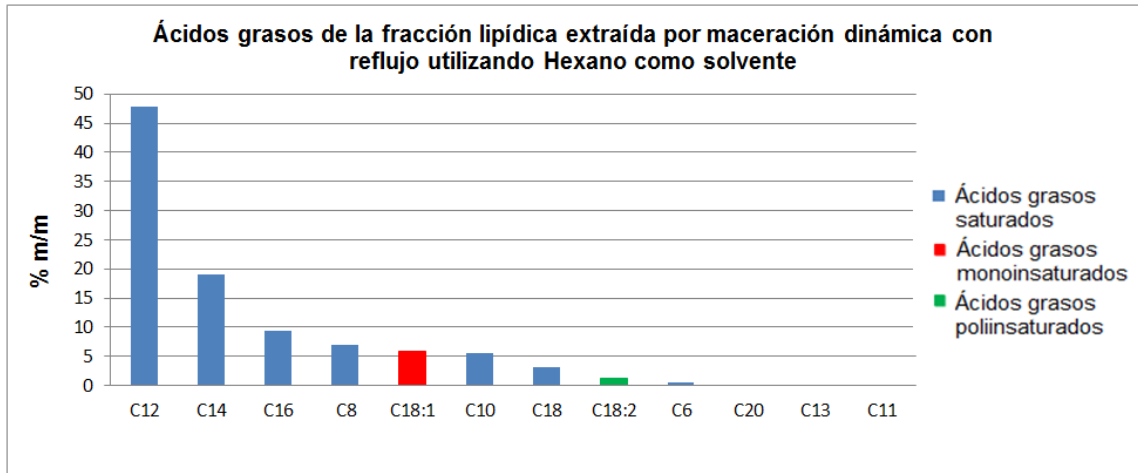
Fuente: anexo 2, informes de resultados.

Figura 9. **Cromatograma de ácidos de la fracción lipídica del fruto del coco (*Cocos nucifera* L.) obtenida por maceración dinámica utilizando como solvente acetato de etilo**



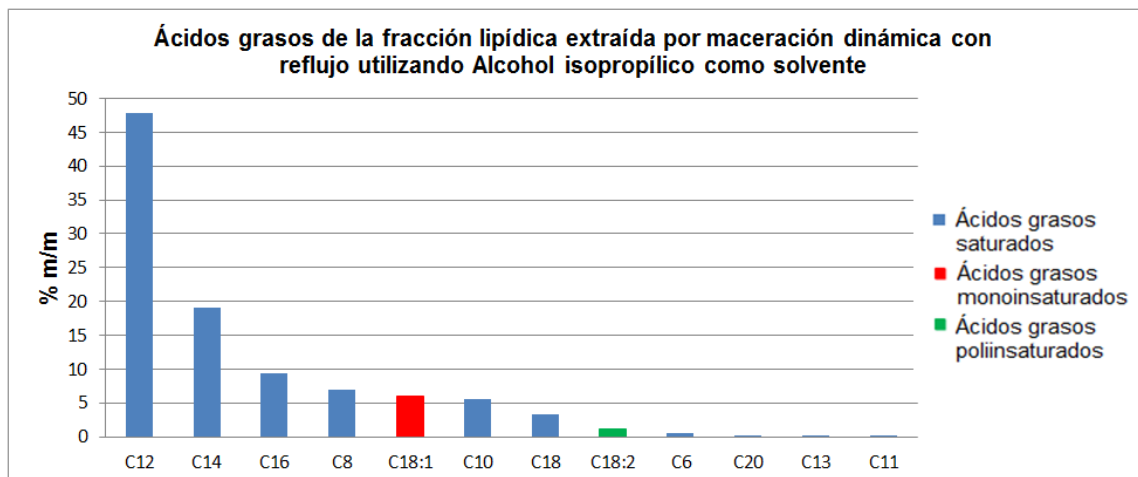
Fuente: anexo 2, informes de resultados.

Figura 10. **Porcentaje en masa de ácidos grasos identificados en la fracción lipídica del fruto del coco (*Cocos nucifera* L.) obtenida por maceración dinámica con hexano como solvente**



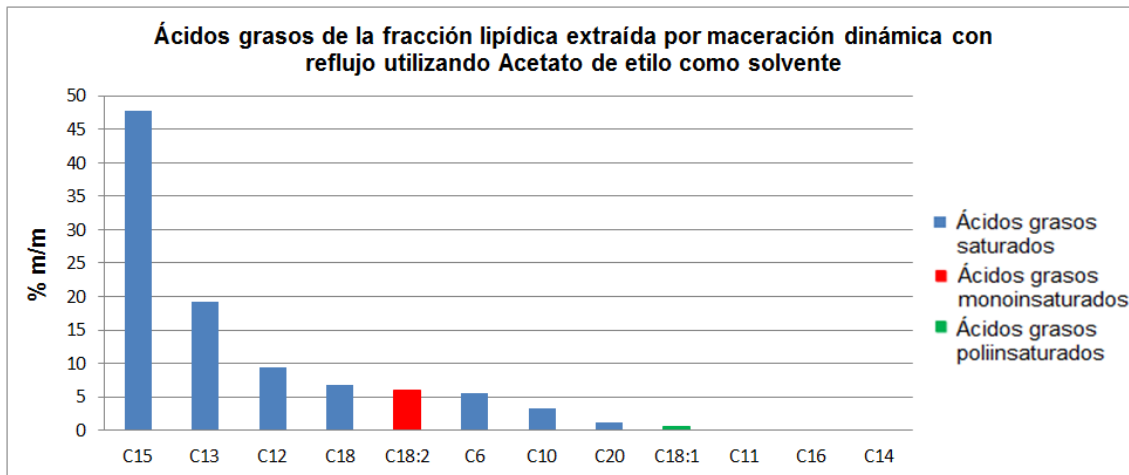
Fuente: tabla XVI.

Figura 11. **Porcentaje en masa de ácidos grasos identificados en la fracción lipídica del fruto del coco (*Cocos nucifera* L.) obtenida por maceración dinámica con alcohol isopropílico como solvente**



Fuente: tabla XVI.

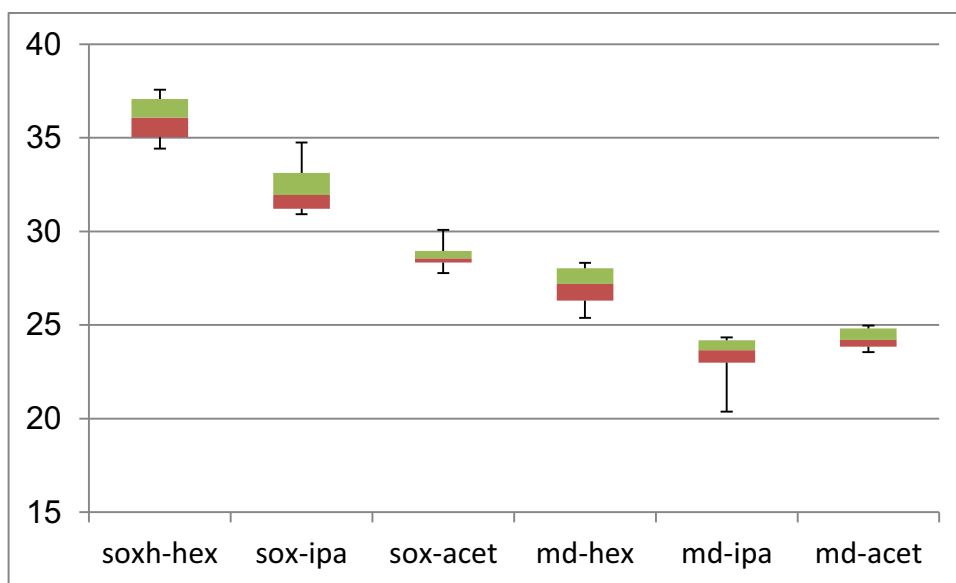
Figura 12. **Porcentaje en masa de ácidos identificados en la fracción lipídica del fruto del coco (*Cocos nucifera* L.) obtenida por maceración dinámica con acetato de etilo como solvente**



Fuente: tabla XVI.

5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Figura 13. Diagrama de cajas del rendimiento porcentual de extracción en función del método de extracción y del solvente utilizado



Fuente: apéndice D, análisis estadístico.

Tabla XVII. **Análisis de varianza para el porcentaje de rendimiento de la extracción de la fracción lipídica de la copra del coco (*Cocos nucifera L.*)**

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Varianza F	Probabilidad
Solvente	2	131,8580	65,9290	41,8400	0,0000
Método	1	409,6030	409,6030	259,9600	0,0000
Solvente x Método	2	34,2350	17,1180	10,860	0,0004
Error	24	37,8150	1,5760		
Total	29				

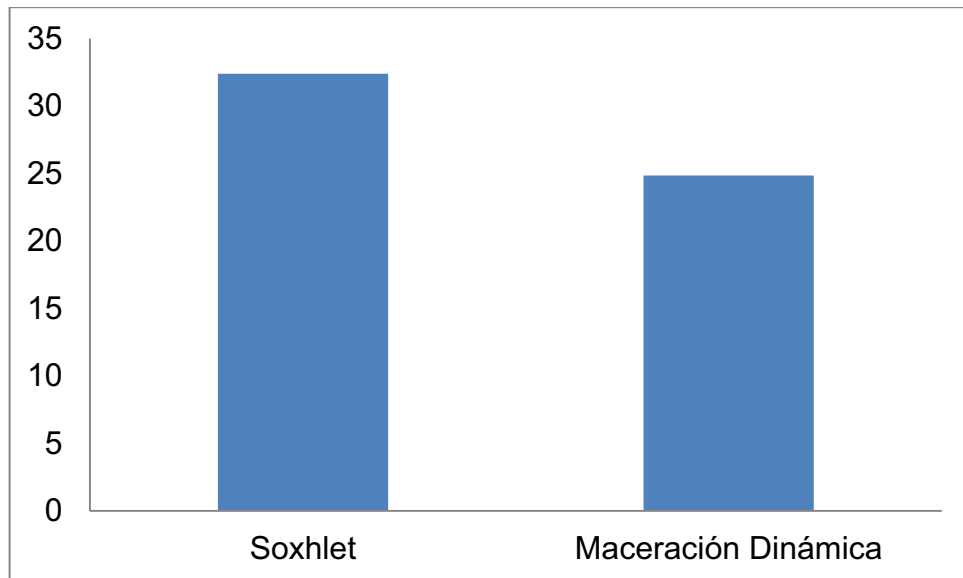
Fuente: Apéndice D, análisis estadístico.

Tabla XVIII. **Prueba de comparación de Tukey para las medias del porcentaje de rendimiento en función del método utilizado**

Solvente	Significación	Grupos Homogéneos
Soxhlet	32,386	A
Maceración Dinámica	24,843	B

Fuente: apéndice D, análisis estadístico.

Figura 14. **Medias marginales del rendimiento porcentual de la fracción lipídica de la copra del coco (*Cocos nucifera* L.) en función del método utilizado**



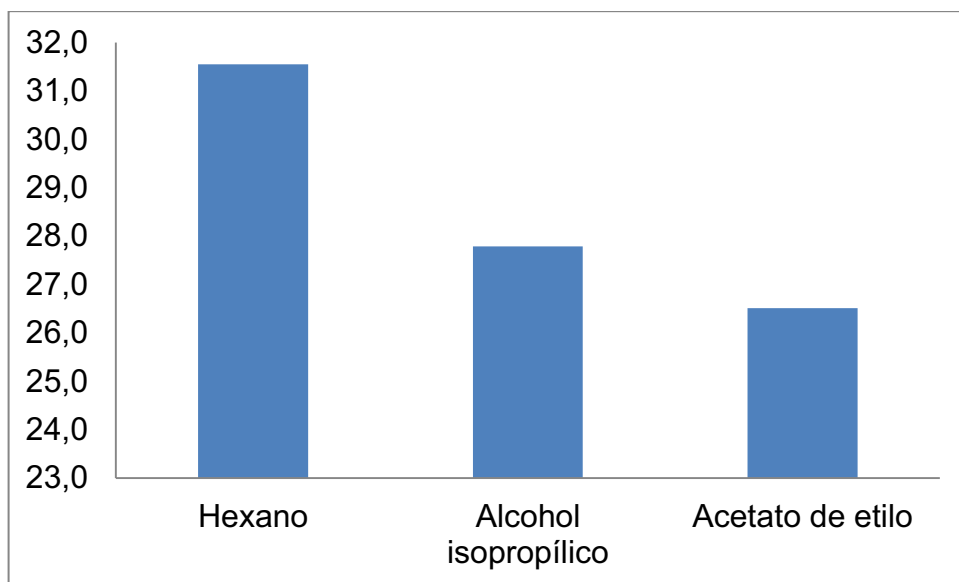
Fuente: apéndice D, análisis estadístico.

Tabla XIX. **Prueba de comparación de Tukey las medias del porcentaje de rendimiento en función del solvente**

Solvente	Significación	Grupos Homogéneos
Hexano	31,550	A
Alcohol isopropílico	27,785	B
Acetato de etilo	26,509	B

Fuente: apéndice D, análisis estadístico.

Figura 15. **Medias marginales del rendimiento porcentual de la fracción lipídica de la copra del coco (*Cocos nucifera* L.) en función del solvente utilizado**



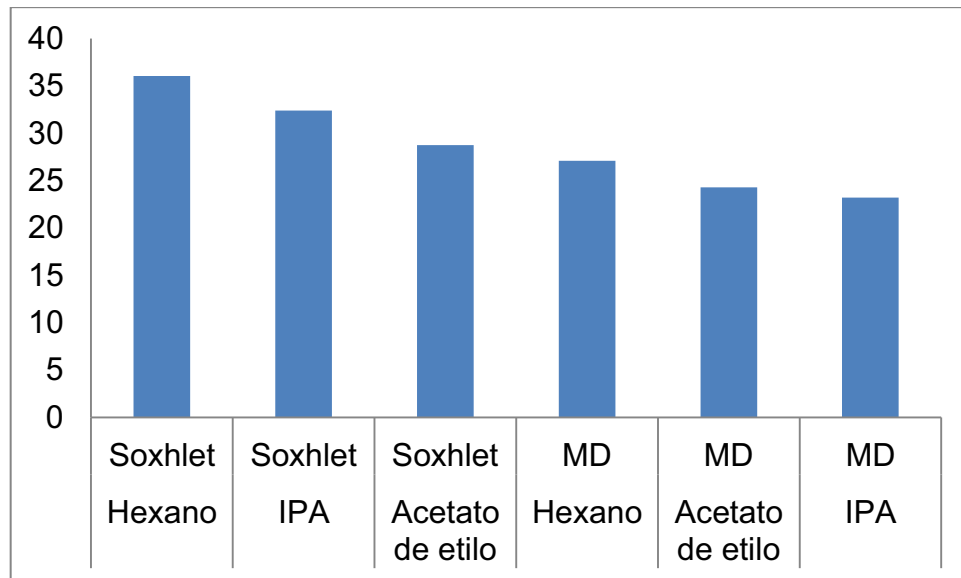
Fuente: apéndice D, análisis estadístico.

Tabla XX. **Prueba de comparación de Tukey las medias del porcentaje de rendimiento en función del método y del solvente utilizado**

Solvente	Significación	Media	Grupos Homogéneos
Hexano	Soxhlet	36,033	A
Alcohol isopropílico	Soxhlet	32,385	B
Acetato de etilo	Soxhlet	28,740	C
Hexano	Maceración dinámica	27,067	C
Acetato de etilo	Maceración dinámica	24,278	D
Alcohol isopropílico	Maceración dinámica	23,185	D

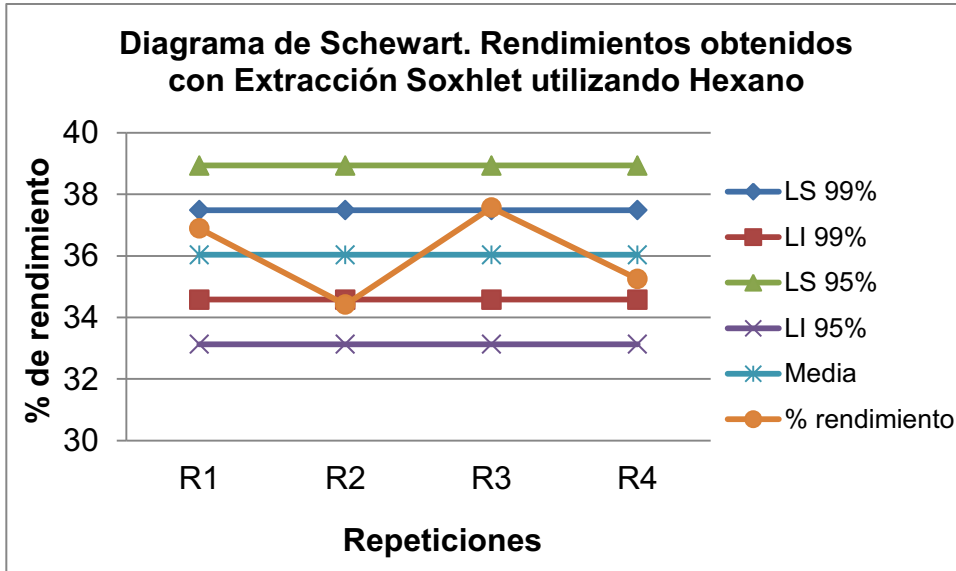
Fuente: apéndice D, análisis estadístico.

Figura 16. **Medias marginales del rendimiento porcentual de la fracción lipídica de la copra del coco (*Cocos nucifera* L.) en función del solvente y del método utilizado**



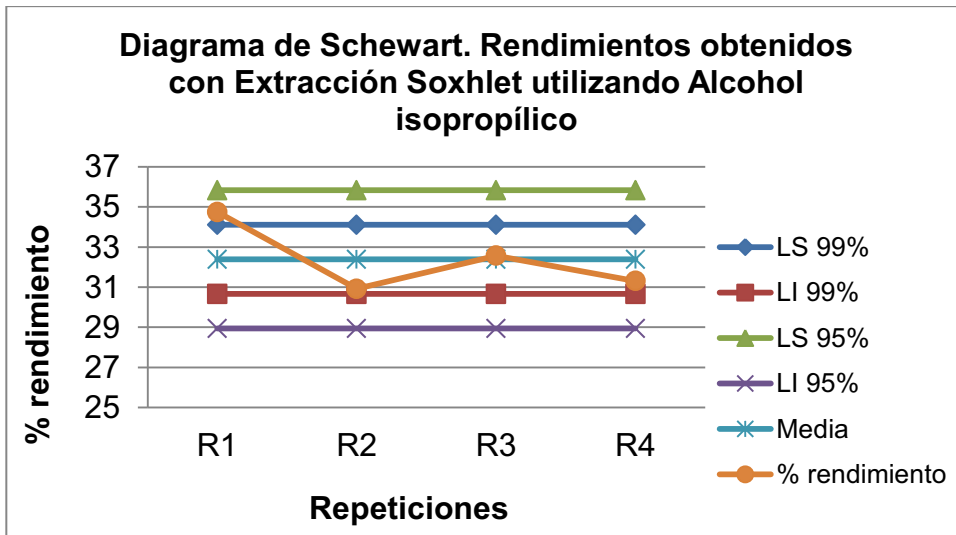
Fuente: apéndice D, análisis estadístico.

Figura 17. Diagrama de Schewart para el rendimiento de fracción lipídica la copra del coco (*Cocos nucifera L.*) para la extracción Soxhlet utilizando hexano como solvente, con una confianza de 95 %



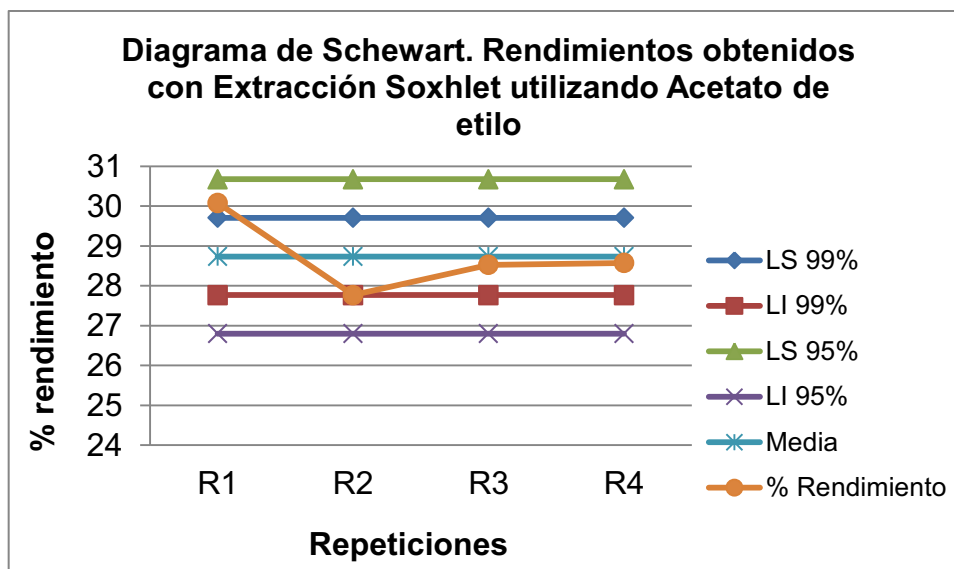
Fuente: elaboración propia.

Figura 18. Diagrama de Schewart para el rendimiento de fracción lipídica la copra del coco (*Cocos nucifera L.*) para la extracción Soxhlet utilizando alcohol isopropílico como solvente, con una confianza de 95 %



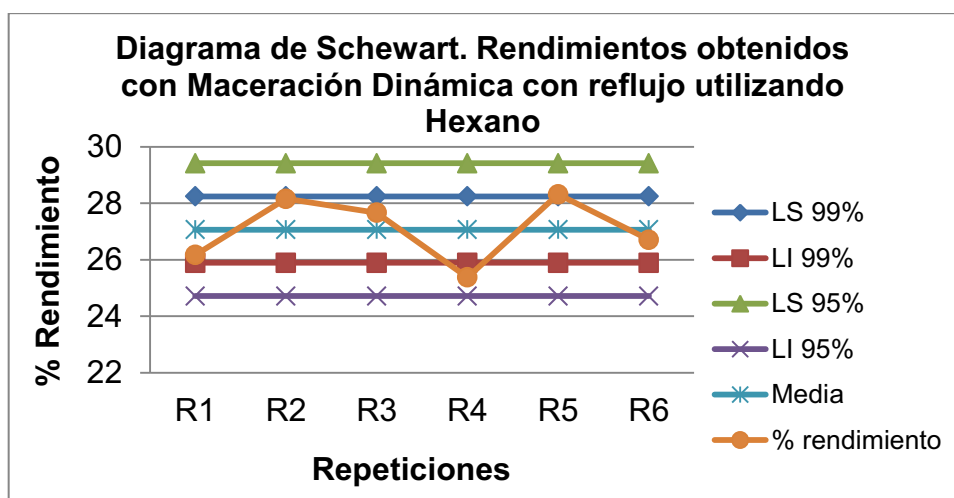
Fuente: elaboración propia.

Figura 19. Diagrama de Schewart para el rendimiento de fracción lipídica la copra del coco (*Cocos nucifera L.*) para la extracción Soxhlet utilizando acetato de etilo como solvente, con una confianza de 95 %



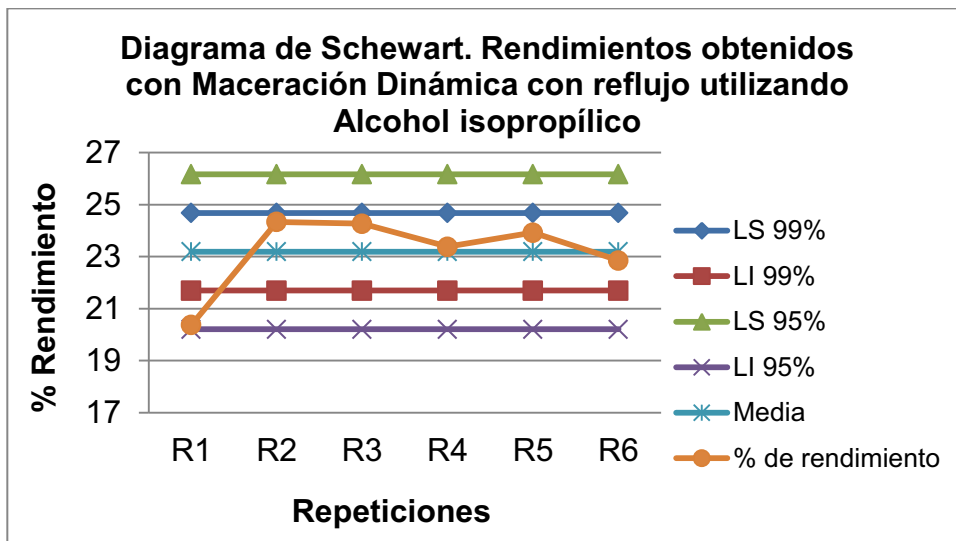
Fuente: elaboración propia.

Figura 20. Diagrama de Schewart para el rendimiento de fracción lipídica la copra del coco (*Cocos nucifera L.*) para la maceración dinámica con reflujo utilizando hexano como solvente, con una confianza de 95 %



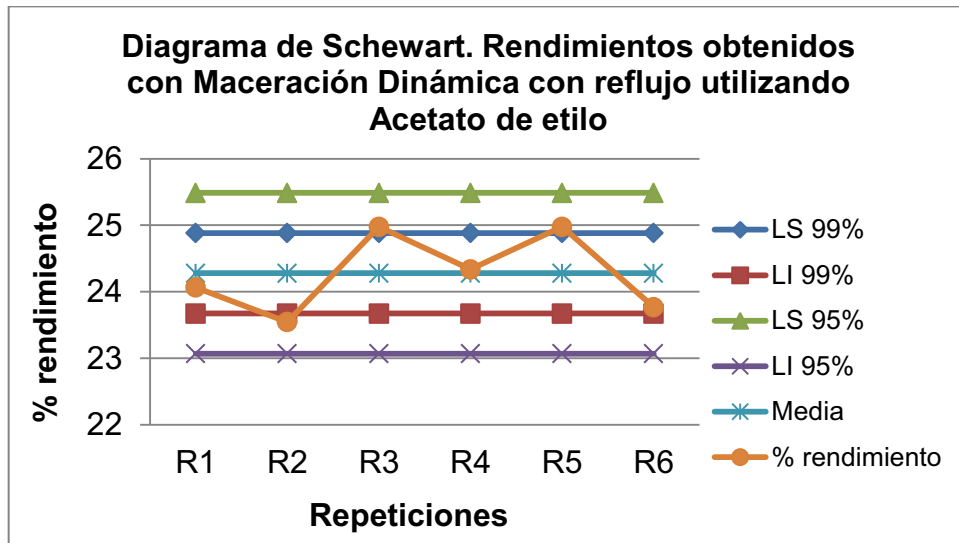
Fuente: elaboración propia.

Figura 21. Diagrama de Schewart para el rendimiento de fracción lipídica la copra del coco (*Cocos nucifera L.*) para la maceración dinámica con reflujo utilizando alcohol isopropílico como solvente, con una confianza de 95 %



Fuente: elaboración propia.

Figura 22. Diagrama de Schewart para el rendimiento de fracción lipídica la copra del coco (*Cocos nucifera L.*) para la maceración dinámica con reflujo utilizando acetato de etilo como solvente, con una confianza de 95 %



Fuente: elaboración propia

6. INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

El presente trabajo de graduación se realizó con el objetivo de evaluar el porcentaje de rendimiento de la extracción de la fracción lipídica del coco utilizando la técnica de maceración dinámica con reflujo en función de la capacidad extractora de tres solventes y realizar su caracterización fisicoquímica.

Como solventes se utilizaron hexano anhidro al 99,8 %, alcohol isopropílico al 99,97 % y acetato de etilo al 99,996 %. La extracción de la fracción lipídica se llevó a cabo a la temperatura de ebullición de cada solvente (68,6 grados Celsius para el hexano, 76,6 grados Celsius para el acetato de etilo y 82,0 grados Celsius para el alcohol isopropílico).

La técnica de extracción Soxhlet se utilizó como método comparativo para el porcentaje del rendimiento obtenido por Maceración dinámica con reflujo.

La materia prima utilizada se obtuvo de cocos variedad verde provenientes de la playa Tiquisate, Escuintla. Se procedió a retirar la copra del endocarpo y a reducirla de tamaño. Luego se secó en un secador de bandejas de flujo transversal a 60 grados Celsius durante cuatro horas hasta obtener una humedad del 2,66 %. Al tener la materia prima deshidratada se separó según su granulometría. Para la extracción de la fracción lipídica se utilizó el material con tamaño de partícula mayor a 1,18 milímetros y menor a 4,75 milímetros.

Previo a realizar la extracción de la fracción lipídica se realizaron pruebas preliminares para determinar las variables del proceso. En esta etapa de la investigación se definieron parámetros de control importantes y se determinó el comportamiento de cada solvente durante la extracción. Se definió la relación soluto-solvente como 1:10 tanto para la extracción Soxhlet como para la maceración dinámica con reflujo.

La técnica Soxhlet, por ser la técnica teóricamente más adecuada para realizar la extracción de la fracción lipídica del coco, se utilizó como referencia para definir las variables operativas. Se determinó el tiempo de extracción mediante el monitoreo de tres variables durante la extracción, el índice de refracción, la densidad y los sólidos disueltos. Se definió el punto final de la extracción cuando al menos una de las tres variables fuese constante durante tres ciclos. Se evidenció el agotamiento del material, cuando los valores de la densidad ya no presentaron variaciones significativas.

El índice de refracción durante la extracción Soxhlet también disminuyó hasta un valor constante, cercano al valor del solvente puro, en el punto final de la extracción. Éste comportamiento refleja que al inicio del proceso es cuando se extraen más componentes; sin embargo, esta curva disminuye en función del tiempo hasta que la extracción es insignificante.

En el apéndice A, datos preliminares, se observa que se obtuvo un tercer valor del índice de refracción constante al noveno ciclo, para la extracción Soxhlet utilizando Hexano como solvente. Cada ciclo tuvo una duración de 13 minutos aproximadamente, con lo que se obtuvo un tiempo máximo de extracción de 2 horas. Se observa que la densidad disminuyó a un valor cercano al del solvente puro y el contenido de sólidos disueltos disminuyó hasta 0 gramos por mililitro en el punto final de la extracción.

La media del rendimiento obtenido por la técnica Soxhlet utilizando Hexano como solvente fue de 36,03 % con una desviación estándar de 1,15 %.

Para la extracción Soxhlet utilizando Alcohol isopropílico como solvente, se obtuvo un tercer valor del índice de refracción constante al noveno ciclo. Al igual que en la extracción Soxhlet con hexano, cada ciclo tuvo una duración de 13 minutos aproximadamente, con lo que se obtuvo un tiempo máximo de extracción de 2 horas. La densidad disminuyó durante la extracción y el contenido de sólidos disueltos disminuyó de 0,0309 gramos por mililitro al inicio de la extracción hasta 0 gramos por mililitro en el punto final de la extracción. La media del rendimiento obtenido mediante la técnica Soxhlet utilizando alcohol isopropílico como solvente fue de 32,38 % con una desviación estándar de 1,72 %.

Para la extracción Soxhlet utilizando acetato de etilo como solvente, se obtuvo un tercer valor del índice de refracción constante al octavo ciclo. La densidad disminuyó durante la extracción y el contenido de sólidos disueltos disminuyó de 0,0199 gramos por mililitro al inicio de la extracción hasta 0,0014 gramos por mililitro en el noveno ciclo de la extracción. En este caso se determinó el punto final de la extracción en el noveno ciclo. Cada ciclo tuvo una duración de 15,5 minutos aproximadamente, con lo que se obtuvo un tiempo máximo de extracción de 2,33 horas o 140 minutos. La media del rendimiento obtenido con la técnica Soxhlet utilizando acetato de etilo como solvente fue de 28,74 % con una desviación estándar de 0,97 %.

El monitoreo de las extracciones por maceración dinámica con reflujo, se realizó controlando el índice de refracción, la densidad y los sólidos disueltos. Se definió el punto final de cada maceración la variación de éstas propiedades en función del tiempo no fue significativa.

El mayor porcentaje de rendimiento de la maceración dinámica con reflujo se obtuvo al utilizar hexano como solvente. La media del rendimiento fue de 27,07 % con una desviación estándar de 1,18 %. En el monitoreo de la maceración dinámica con reflujo utilizando hexano como solvente, el índice de refracción aumentó en función del tiempo. La densidad y el contenido de sólidos disueltos aumentaron en función del tiempo, evidenciando el aumento de componentes en la fase líquida. El punto final de la extracción se determinó a los 120 minutos.

En el monitoreo de la maceración dinámica con reflujo utilizando alcohol isopropílico como solvente, las tres variables aumentaron con el paso del tiempo. Se determinó el punto final de la extracción cuando el valor del índice de refracción fue constante durante tres mediciones. La media del rendimiento de la maceración dinámica con reflujo utilizando alcohol isopropílico como solvente fue de 23,19 % con una desviación estándar de 1,49 %.

En el monitoreo de la maceración dinámica con reflujo utilizando acetato de etilo como solvente, las tres variables aumentaron con el paso del tiempo. Se determinó el punto final de la extracción a los 140 minutos. La media del rendimiento de la maceración dinámica con reflujo utilizando alcohol isopropílico como solvente fue de 24,28 % con una desviación estándar de 0,60 %.

Se realizaron seis repeticiones para cada variación propuesta. Se hizo un análisis de varianza de los datos del porcentaje de rendimiento de extracción para evaluar si existe diferencia significativa entre los factores. La figura 12 muestra que si hay interacción entre el método y el solvente utilizado y que cada variación realizada tiene un efecto significativo sobre el rendimiento de la extracción de la fracción lipídica. En este gráfico también se observa que las

medias del rendimiento por extracción Soxhlet son mayores que las medias del rendimiento por maceración dinámica con reflujo para todos los solventes.

Mediante la prueba de comparación de Tukey se determinaron los grupos que presentan una diferencia significativa entre ellos.

En la tabla XIX se observan dos grupos homogéneos, es decir que no presentan diferencia significativa entre el mismo grupo. El primer grupo, la maceración dinámica con reflujo con hexano y la extracción Soxhlet con acetato de etilo. El segundo grupo, la maceración dinámica con reflujo con alcohol isopropílico y la maceración dinámica con reflujo con acetato de etilo.

En la tabla XIX también se observa que hay cuatro grupos que presentan diferencia significativa entre ellos. El primer grupo, la extracción Soxhlet con Hexano. El segundo grupo, la extracción Soxhlet con alcohol isopropílico. El tercer grupo, la maceración dinámica con reflujo con hexano y la extracción Soxhlet con acetato de etilo. El cuarto grupo, la maceración dinámica con reflujo con alcohol isopropílico y la maceración dinámica con reflujo con acetato de etilo.

También se realizó un estudio fisicoquímico de las fracciones lipídicas obtenidas por maceración dinámica con reflujo.

La composición de ácidos grasos en las fracciones lipídicas del fruto del coco (*Cocos nucifera L.*) obtenidas por maceración dinámica con reflujo para cada solvente utilizado se determinó por cromatografía gaseosa y detector de llama de ionización (FID). Para este análisis se utilizó una muestra compuesta por todas las repeticiones de cada variable.

Las figuras 6, 7 y 8 muestran el nivel de respuesta en función del tiempo de los ácidos grasos detectados en las fracciones lipídicas obtenidas por maceración dinámica con reflujo para los tres solventes utilizados por comparación contra un estándar de 39 ácidos grasos. En las figuras 9, 10 y 11 se muestra la clasificación de los ácidos grasos encontrados en las fracciones lipídicas mediante cromatografía gaseosa. Los ácidos grasos encontrados en mayor abundancia en las fracciones lipídicas fueron los ácidos grasos saturados de cadena corta, el ácido láurico, el ácido mirístico, el ácido palmítico y el ácido caprílico. En menor abundancia se encontró un ácido graso monoinsaturado, el ácido oleico, y un ácido graso poliinsaturado, el ácido linoléico. Se encontraron en escasa abundancia otros ácidos saturados, el ácido cáprico, el ácido esteárico, el ácido caproico y el ácido araquídico. Los porcentajes de los ácidos grasos presentes en las fracciones lipídicas corresponden a los porcentajes de ácidos grasos normados para el aceite de coco en el Reglamento Técnico Centroamericano 67.04.40:07 (anexo 1).

La tabla XVI es una tabla comparativa del porcentaje en masa del contenido de ácidos grasos determinados por cromatografía gaseosa y detector de llama de ionización (FID) para las fracciones lipídicas obtenidas por maceración dinámica con reflujo para cada solvente utilizado.

Según la tabla XVI, los ácidos grasos encontrados de mayor a menor abundancia en la fracción lipídica obtenida por maceración dinámica con reflujo con Hexano fueron el ácido láurico (47,93 % en masa), el ácido mirístico (19,10 % en masa), el ácido palmítico (9,39 % en masa), el ácido caprílico (6,9 % en masa), el ácido oleico (5,88 % en masa), el ácido cáprico (5,63 % en masa), el ácido esteárico (3,21 % en masa), el ácido linoléico (1,25 % en masa), el ácido

caproico (0,55 % en masa), el ácido araquídico (0,09 % en masa) y el ácido undecanoico (0,03 % en masa).

Además de los ácidos grasos anteriormente mencionados, se encontró en la fracción lipídica obtenida por maceración dinámica con reflujo con hexano en trazas el ácido pentadecanoico, el ácido elaídico (un isómero del ácido esteárico) y el ácido cis-11Eicosenoico, que es un isómero del ácido araquídico.

Según la tabla XVI, en la fracción lipídica obtenida por maceración dinámica con reflujo utilizando alcohol isopropílico como solvente, los ácidos grasos encontrados de mayor a menor abundancia fueron el ácido láurico (47,96 % en masa), el ácido mirístico (19,24 % en masa), el ácido palmítico (9,38 % en masa), el ácido caprílico (6,85 % en masa), el ácido oleico (5,81 % en masa), el ácido cáprico (5,57 % en masa), el ácido esteárico (3,37 % en masa), el ácido linoléico (1,10 % en masa), el ácido caproico (0,56 % en masa), el ácido araquídico (0,09 % en masa), el ácido undecanoico (0,02 % en masa) y el ácido pentadecanoico (0,01 % en masa).

La tabla XVI también muestra los ácidos grasos encontrados de mayor a menor abundancia en la fracción lipídica obtenida por maceración dinámica con reflujo utilizando acetato de etilo como solvente. Estos fueron el ácido láurico (47,86 % en masa), el ácido mirístico (19,24 % en masa), el ácido palmítico (9,42 % en masa), el ácido caprílico (6,86 % en masa), el ácido oleico (5,95 % en masa), el ácido cáprico (5,58 % en masa), el ácido esteárico (3,28 % en masa), el ácido linoléico (1,21 % en masa), el ácido caproico (0,56 % en masa), el ácido araquídico (0,09 % en masa) y el ácido undecanoico (0,03 % en masa).

En la fracción lipídica obtenida por maceración dinámica con reflujo con acetato de etilo también se encontró en trazas el ácido pentadecanoico y el ácido palmitoleico.

Tal como se muestra en las figuras 9, 10, y 11 la fracción lipídica obtenida está formada en su mayoría por ácidos saturados, siendo los más abundantes los ácidos grasos que contienen de doce a dieciséis átomos de carbono en su estructura.

En el perfil de ácidos grasos, solamente se detectó un ácido graso monoinsaturado, el ácido eláidico, y un ácido graso poliinsaturado, el ácido linoléico.

CONCLUSIONES

1. Se evaluó satisfactoriamente el rendimiento de extracción en función de la capacidad extractora de tres solventes según el diseño metodológico planteado.
2. Existe diferencia significativa en el rendimiento de extracción de la fracción lipídica en función de la capacidad extractora de cada uno de los solventes.
3. El solvente que presenta mayor rendimiento extractivo de la técnica Soxhlet es el hexano, el cual fue de 36,03 +/- 1,45.
4. El solvente que presenta mayor rendimiento extractivo de la maceración dinámica con reflujo es el hexano, el cual fue de 27,07 +/- 1,18.
5. El rendimiento extractivo de la maceración dinámica con reflujo es 9 % menor al rendimiento extractivo de la técnica Soxhlet, para el hexano y el alcohol isopropílico.
6. El rendimiento extractivo de la maceración dinámica con reflujo es 4,5 % menor al rendimiento extractivo de la técnica Soxhlet, para el acetato de etilo.
7. El punto de fusión de la fracción lipídica extraída por maceración dinámica con reflujo es 2 grados Celsius mayor que la extraída por la técnica Soxhlet.

8. No existe diferencia significativa entre la densidad y el índice de refracción de la fracción lipídica en función del método de extracción y de los tres solventes.
9. El perfil de ácidos grasos demuestra que la fracción lipídica de la copra del coco (*Cocos nucifera L.*) contiene en su mayoría ácido láurico y, que su contenido no varía para cada uno de los tres solventes.
10. Los ácidos grasos que constituyen el 80 % de la fracción lipídica de la copra del coco (*Cocos nucifera L.*) son el ácido láurico, el ácido mirístico, el ácido palmítico y el ácido caprílico.
11. La fracción lipídica de la copra del coco (*Cocos nucifera L.*) solo contiene un ácido graso monoinsaturado, el ácido oleico (C18:1) y un ácido graso poliinsaturado, el ácido Linoléico (C18:2).
12. El perfil de ácidos grasos muestra que el contenido porcentual de cada ácido graso en las fracciones lipídicas corresponde al contenido de ácidos grasos referido en el Reglamento Técnico Centroamericano para el aceite de coco.
13. La prueba de comparación de Tukey muestra que no existe diferencia significativa en el rendimiento de extracción de la fracción lipídica al comparar la extracción Soxhlet con acetato de etilo como solvente y la extracción por maceración dinámica con reflujo con hexano.
14. El diagrama de Schewart muestra que los datos del rendimiento de extracción de la fracción lipídica tienen una confianza del 95 %.

RECOMENDACIONES

1. Ampliar el tiempo de extracción en la maceración dinámica con reflujo para aumentar el rendimiento de la extracción de la fracción lipídica del coco (*Cocos nucifera L.*).
2. Realizar un estudio para evaluar el efecto de la velocidad de agitación en la obtención de la fracción lipídica del fruto del coco (*Cocos nucifera L.*) extraída mediante maceración dinámica con reflujo utilizando diferentes velocidades de agitación.
3. Realizar un estudio para evaluar el efecto de la maduración del fruto en el rendimiento de la extracción de la fracción lipídica de la copra del fruto del coco (*Cocos nucifera L.*).
4. Realizar un estudio del aprovechamiento de los ácidos grasos más abundantes presentes en la fracción lipídica de la copra del fruto del coco (*Cocos nucifera L.*), el ácido láurico, el ácido mirístico y el ácido palmítico.

BIBLIOGRAFÍA

1. MACARULLA, José M. *Biomoléculas: lecciones de bioquímica estructural*. 3a ed. España: Reverté, 1978. 294 p.
2. Reglamento Técnico Centroamericano 67.04.40:07. *Alimentos y bebidas procesados. Grasas y aceites. Especificaciones*. RTC: 2005. 23 p.
3. SHARAPIN, Nikolai. *Fundamentos de tecnología de productos fitoterapéuticos*. Área de Ciencia y Tecnología del Convenio Andrés Bello. Colombia: marzo 2000. 247 p.
4. SOGORB SÁNCHEZ, Miguel Ángel; GISBERT, Eugenio Vilanova. *Técnicas analíticas de Contaminantes Químicos*. España: Ediciones Díaz de Santos, 2004. 320 p.
5. TREYBAL, Robert E. *Operaciones de transferencia de masa*. 2a ed. México: McGraw-Hill. 832 p.

APÉNDICES

APÉNDICE A

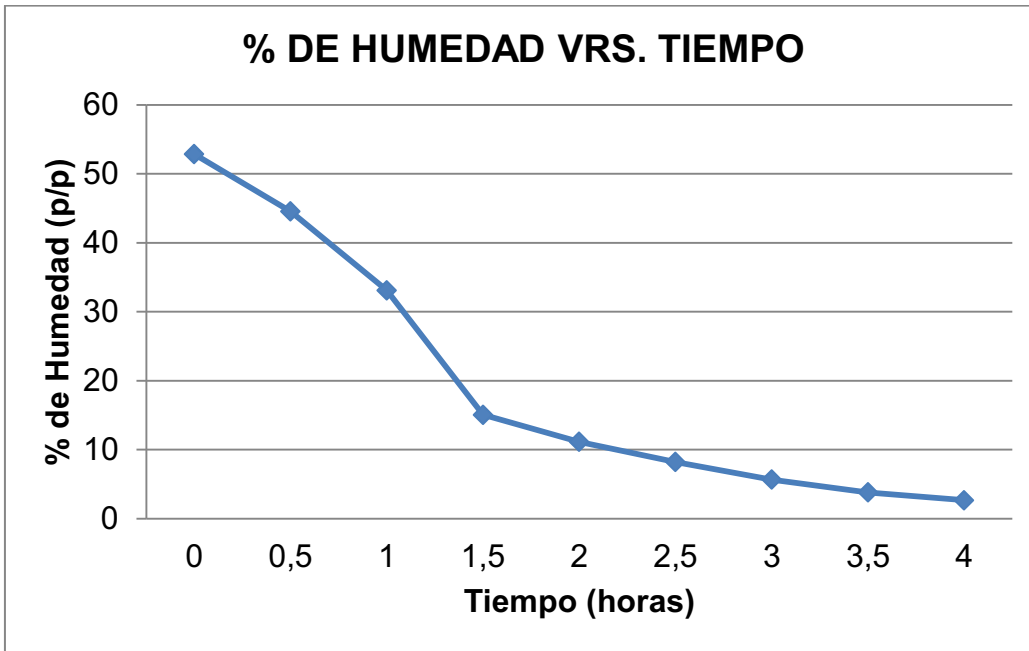
Datos preliminares

Porcentaje de humedad de la copra del coco (*Cocos nucifera L.*) en función del tiempo

Tiempo de secado (horas)	% de Humedad
0,00	52,84
0,50	44,53
1,00	33,09
1,50	15,05
2,00	11,13
2,50	8,21
3,00	5,65
3,50	3,80
4,00	2,66

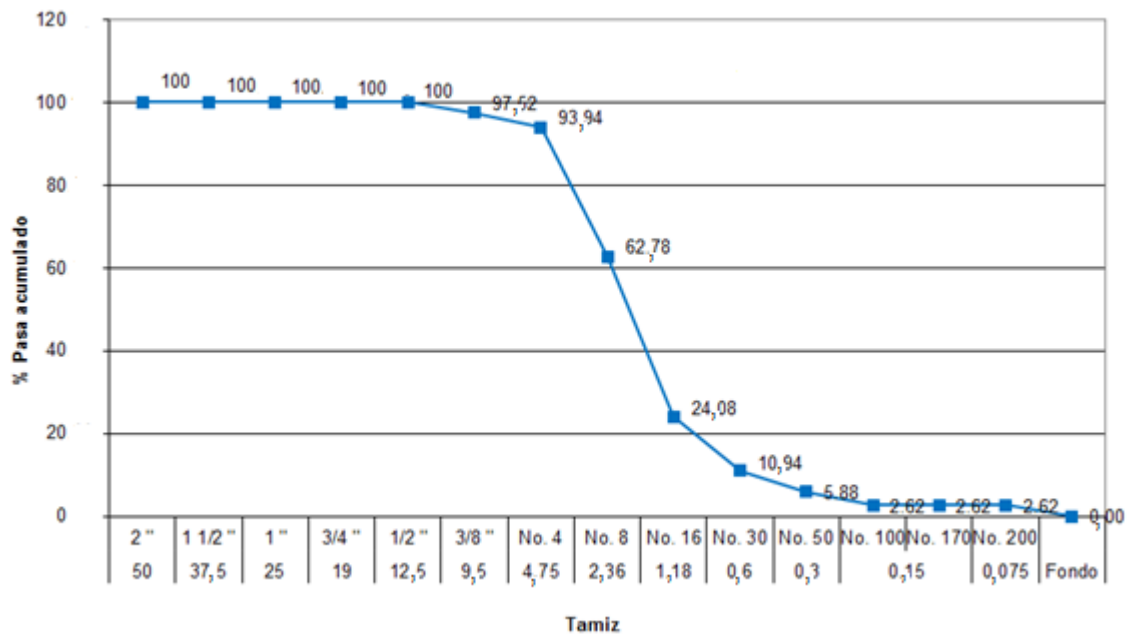
Fuente: balanza de humedad, marca Sartorius, modelo MA 150.

Curva de secado de la copra del coco



Fuente: elaboración propia.

Curva granulométrica de la copra del coco.



Fuente: elaboración propia.

Granulometría de la materia prima

Tamaño del tamiz (mm)	Peso del tamiz sin muestra	Peso del tamiz con muestra	Masa retenida en cada tamiz	% Pasa Acumulado
50,00	543,10	543,10	0,00	100,00
37,50	790,10	790,10	0,00	100,00
25,00	830,20	830,20	0,00	100,00
19,00	806,70	806,70	0,00	100,00
12,50	777,70	777,70	0,00	100,00
9,50	754,80	767,20	12,40	97,52
4,75	735,40	753,30	17,90	93,94
2,36	676,60	832,40	155,80	62,78
1,18	631,00	824,50	193,50	24,08
0,60	603,20	668,90	65,70	10,94
0,30	541,90	567,20	25,30	5,88
0,15	511,80	528,10	16,30	2,62
Fondo	473,90	487,00	13,10	0,00

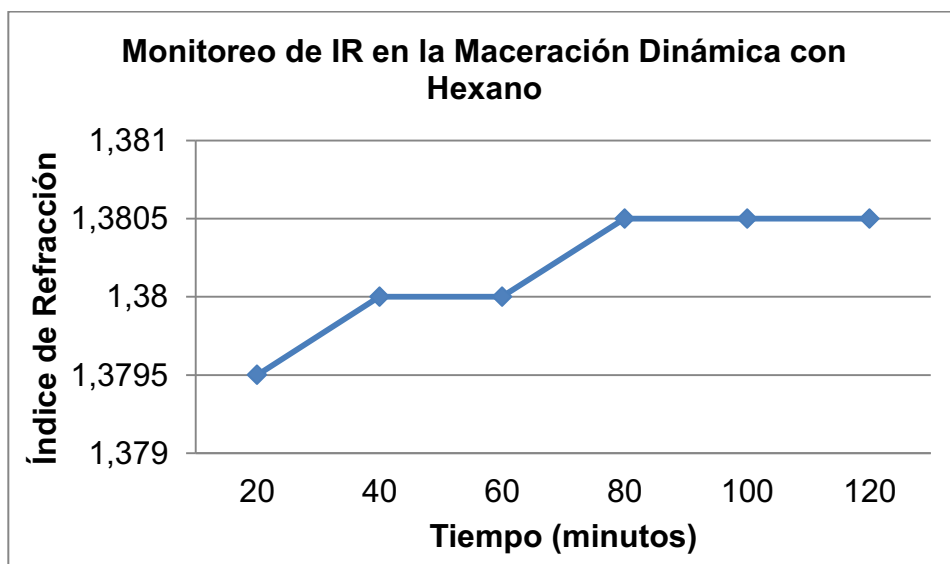
Fuente: elaboración propia.

Monitoreo de la extracción de la fracción lipídica de la copra del coco (*Cocos nucifera L.*) mediante maceración dinámica utilizando Hexano como solvente

Tiempo (minutos)	Índice de Refracción	Densidad (g/mL)	Sólidos Disueltos (g/mL)
20	1,3795	0,6640	0,0106
40	1,3800	0,6645	0,0117
60	1,3800	0,6649	0,0125
80	1,3805	0,6657	0,0134
100	1,3805	0,6697	0,0193
120	1,3805	0,6697	0,0193

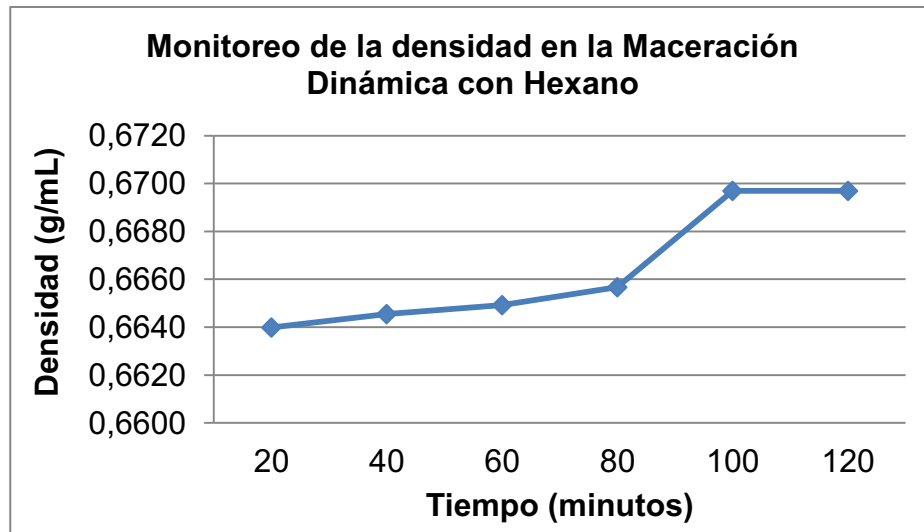
Fuente: apéndice C.

Monitoreo del índice de refracción en la extracción de la fracción lipídica de la copra de coco (*Cocos nucifera L.*) mediante maceración dinámica utilizando hexano como solvente



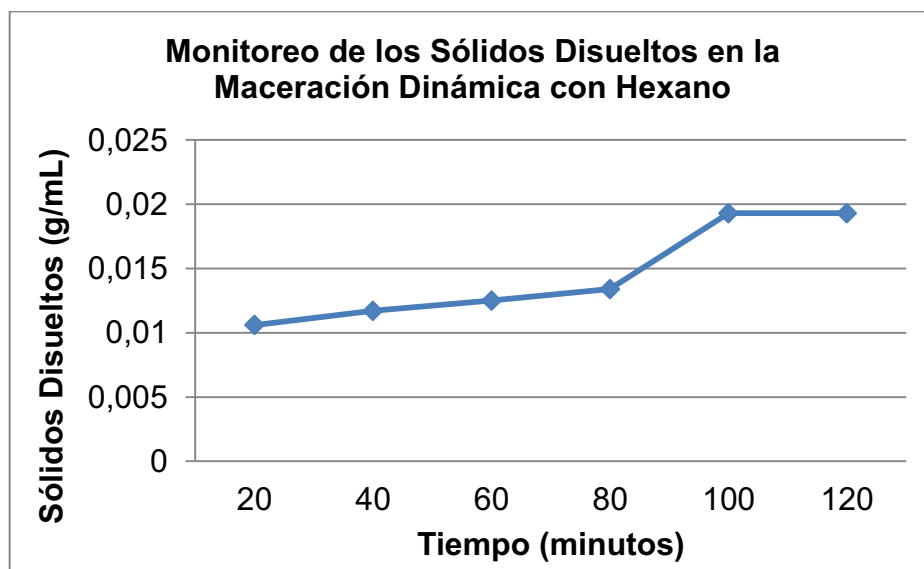
Fuente: elaboración propia.

Monitoreo de la densidad en la extracción de la fracción lipídica de la copra de coco (*Cocos nucifera L.*) mediante maceración dinámica utilizando hexano como solvente



Fuente: elaboración propia.

Monitoreo de los sólidos disueltos en la extracción de la fracción lipídica de la copra de coco (*Cocos nucifera L.*) mediante maceración dinámica utilizando hexano como solvente



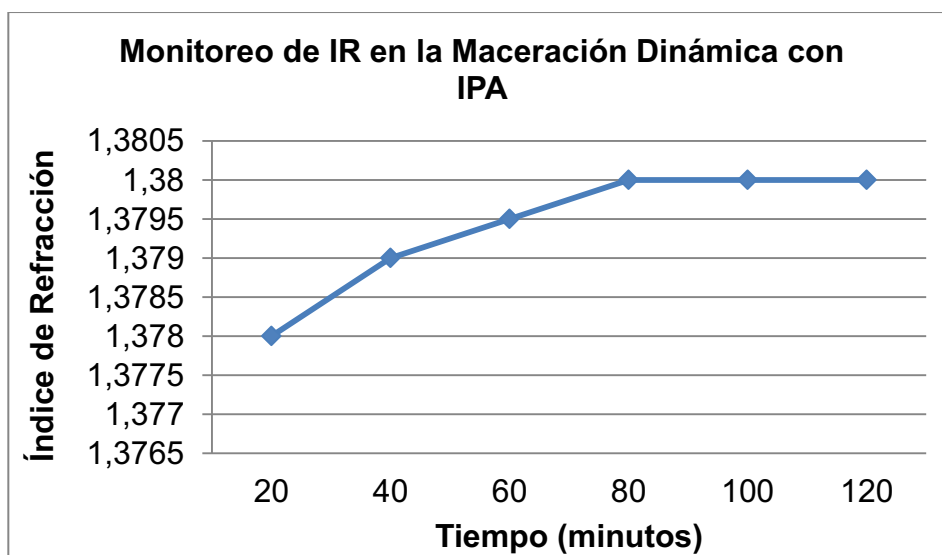
Fuente: elaboración propia.

Monitoreo de la extracción de la fracción lipídica de la copra de coco (*Cocos nucifera L.*) mediante maceración dinámica utilizando alcohol isopropílico como solvente

Tiempo (minutos)	Índice de Refracción	Densidad (g/mL)	Sólidos Disueltos (g/mL)
20	1,3780	0,7743	0,0081
40	1,3790	0,7775	0,0223
60	1,3795	0,7792	0,0244
80	1,3800	0,7804	0,0244
100	1,3800	0,7886	0,0268
120	1,3800	0,7900	0,0298

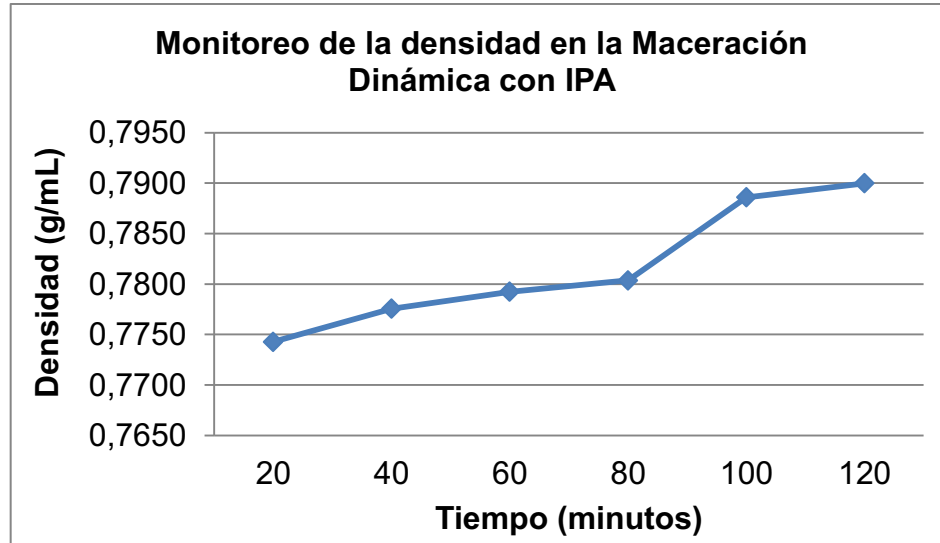
Fuente: apéndice C.

Monitoreo del Índice de refracción en la extracción de la fracción lipídica de la copra de coco (*Cocos nucifera L.*) mediante maceración dinámica utilizando alcohol isopropílico como solvente



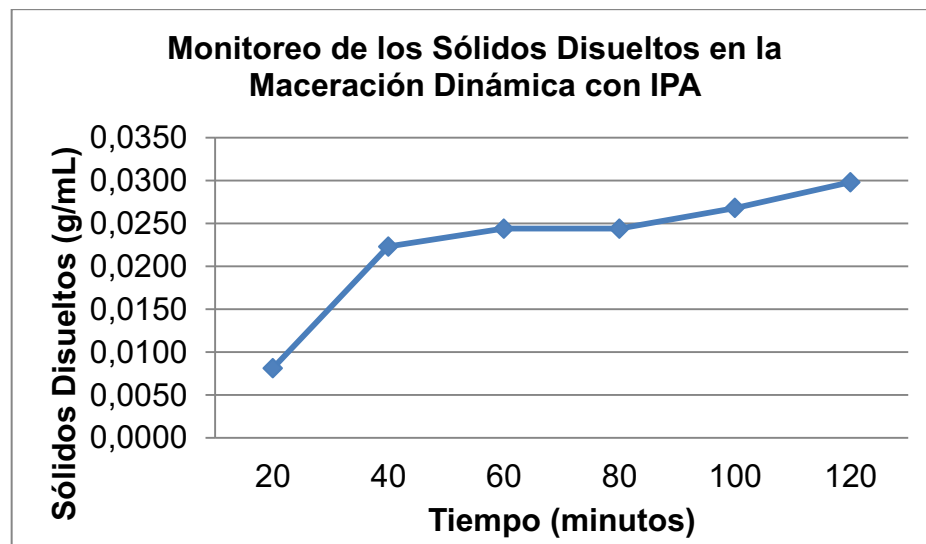
Fuente: elaboración propia.

Monitoreo de la densidad en la extracción de la fracción lipídica de la copra de coco (*Cocos nucifera L.*) mediante maceración dinámica utilizando alcohol isopropílico como solvente



Fuente: elaboración propia.

Monitoreo de los sólidos disueltos en la extracción de la fracción lipídica de la copra de coco (*Cocos nucifera L.*) mediante maceración dinámica utilizando alcohol isopropílico como solvente



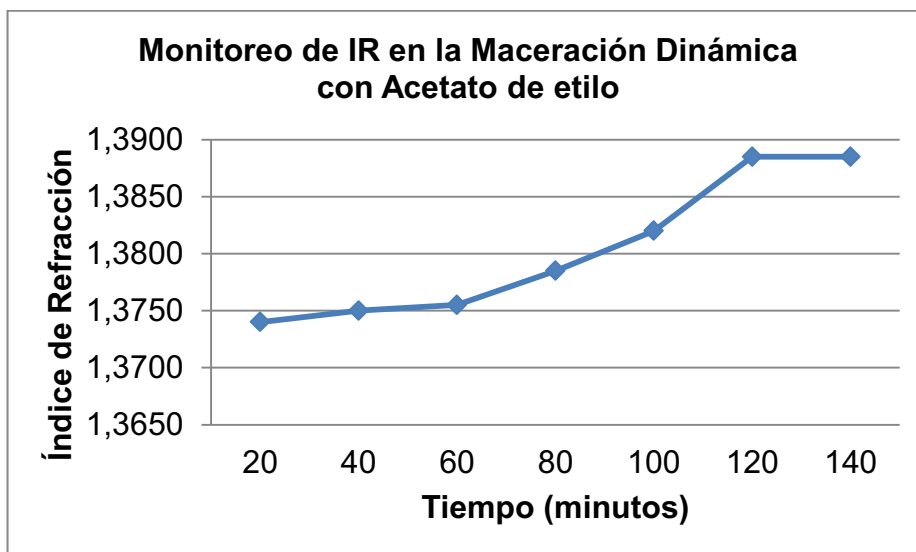
Fuente: elaboración propia.

**Monitoreo de la extracción de la fracción lipídica de la copra de coco
(*Cocos nucifera L.*) mediante maceración dinámica utilizando acetato de
etilo como solvente**

Tiempo de extracción (min)	Índice de Refracción	Densidad (g/mL)	Sólidos disueltos (g/mL)
20	1,3740	0,8853	0,0207
40	1,3750	0,8876	0,0254
60	1,3755	0,8891	0,0265
80	1,3785	0,8894	0,0339
100	1,3820	0,8899	0,0466
120	1,3885	0,8928	0,0496
140	1,3885	0,8929	0,0595

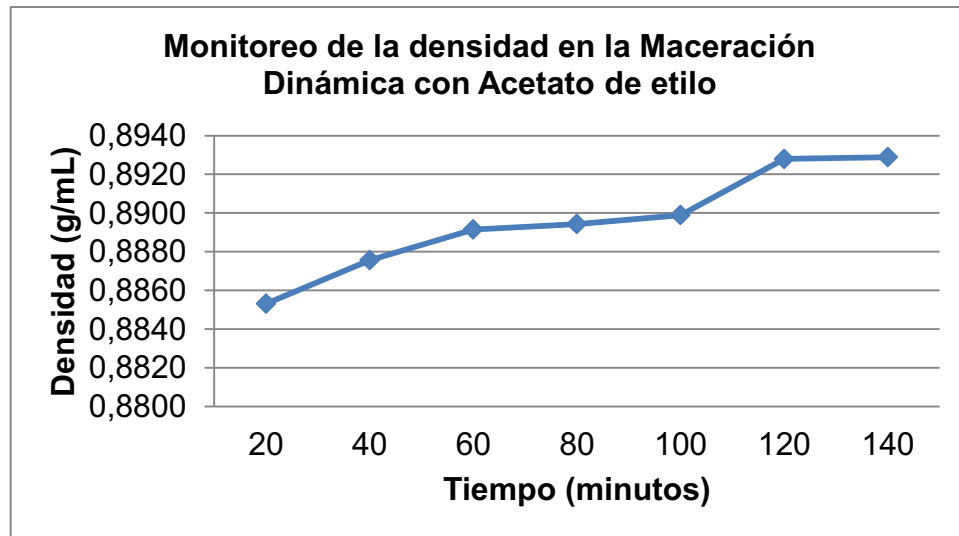
Fuente: Apéndice C.

**Monitoreo del Índice de refracción en la extracción de la fracción lipídica
de la copra de coco (*Cocos nucifera L.*) mediante maceración dinámica
utilizando acetato de etilo como solvente**



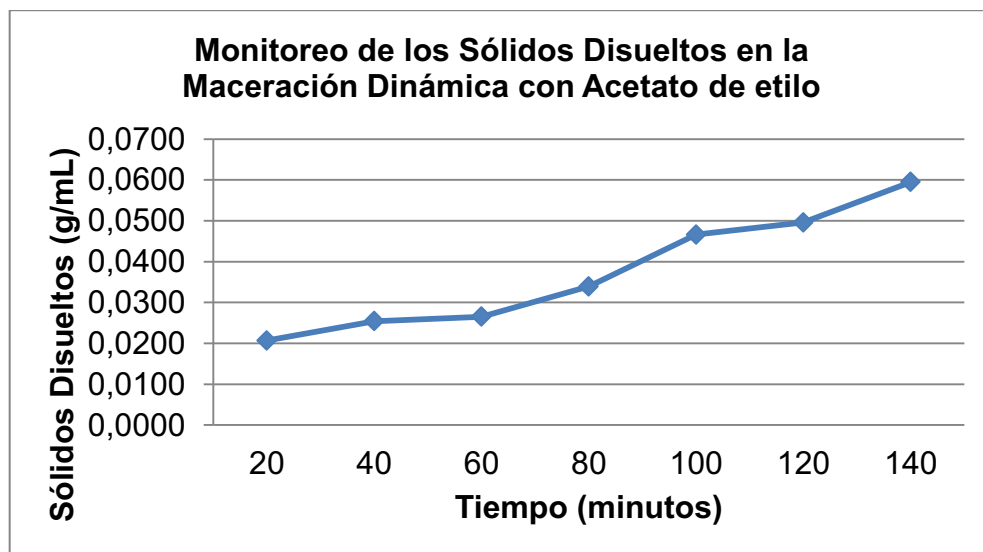
Fuente: elaboración propia.

Monitoreo de la densidad en la extracción de la fracción lipídica de la copra de coco (*Cocos nucifera L.*) mediante maceración dinámica utilizando acetato de etilo como solvente



Fuente: elaboración propia.

Monitoreo de los sólidos disueltos en la extracción de la fracción lipídica de la copra de coco (*Cocos nucifera L.*) mediante maceración dinámica utilizando acetato de etilo como solvente



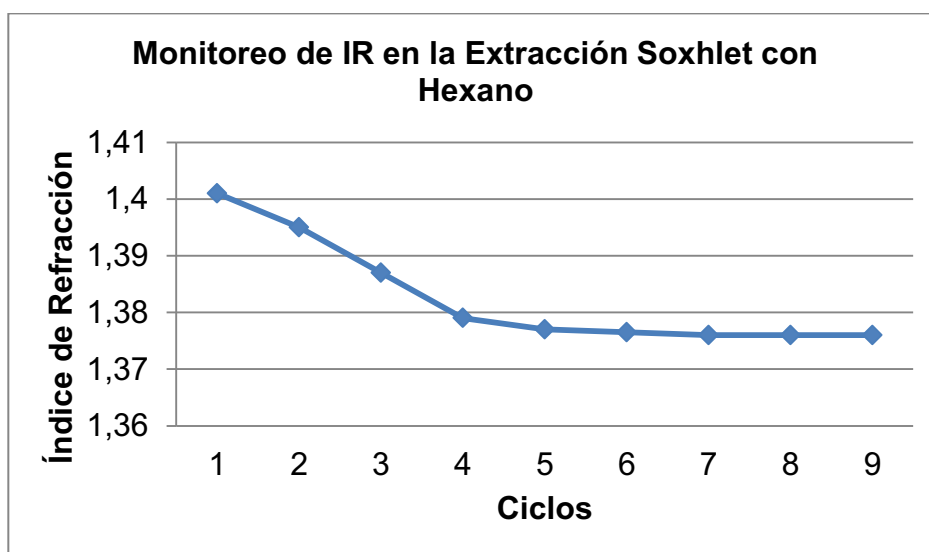
Fuente: elaboración propia.

Monitoreo de la extracción de la fracción lipídica de la copra de coco (*Cocos nucifera L.*) mediante la técnica Soxhlet con hexano.

Ciclo	Índice de Refracción	Densidad (g/mL)	Sólidos disueltos (g/mL)
1	1,4010		
2	1,3950	0,6573	0,0085
3	1,3870		
4	1,3790	0,6557	0,0041
5	1,3770		
6	1,3765	0,6549	0,0015
7	1,3760		
8	1,3760	0,6498	0,0000
9	1,3760		

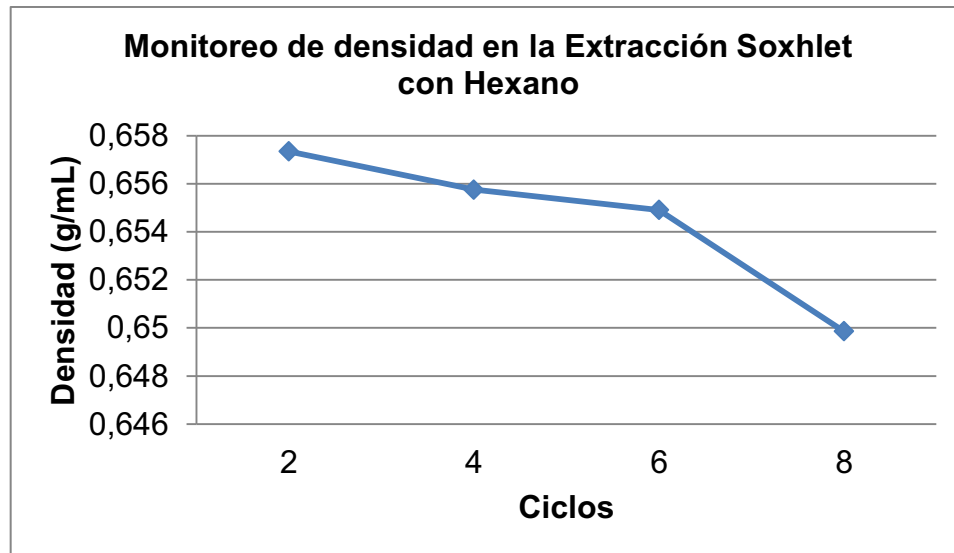
Fuente: apéndice C.

Monitoreo del Índice de refracción en la extracción de la fracción lipídica de la copra de coco (*Cocos nucifera L.*) mediante extracción Soxhlet utilizando Hexano como solvente



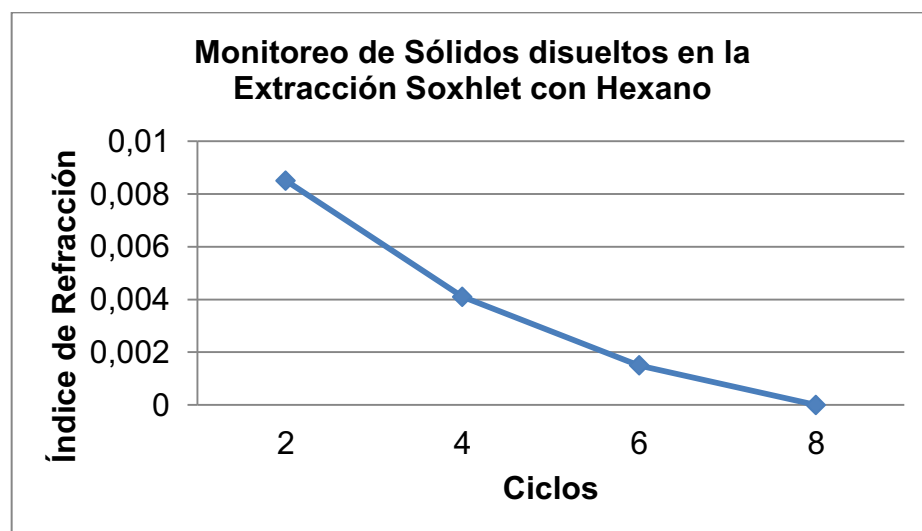
Fuente: elaboración propia.

Monitoreo de la densidad en la extracción de la fracción lipídica de la copra de coco (*Cocos nucifera L.*) mediante extracción Soxhlet utilizando hexano como solvente



Fuente: elaboración propia.

Monitoreo de los sólidos disueltos en la extracción de la fracción lipídica de la copra de coco (*Cocos nucifera L.*) mediante extracción Soxhlet utilizando hexano como solvente



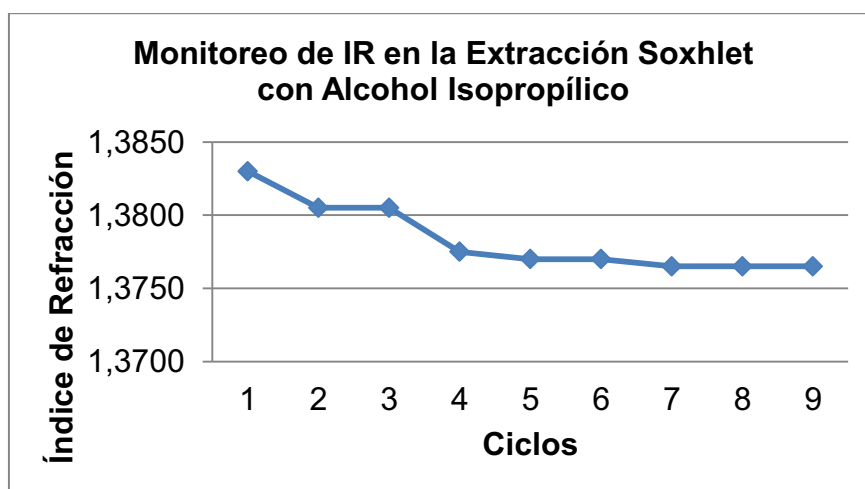
Fuente: elaboración propia.

**Monitoreo de la extracción de la fracción lipídica de la copra de coco
(*Cocos nucifera* L.) mediante la técnica Soxhlet utilizando alcohol
isopropílico como solvente**

Ciclo	Índice de Refracción	Densidad (g/mL)	Sólidos disueltos (g/mL)
1	1,3830		
2	1,3805	0,7831	0,0309
3	1,3805		
4	1,3775	0,7810	0,0078
5	1,3770		
6	1,3770	0,7780	0,0010
7	1,3765		
8	1,3765	0,7752	0,0000
9	1,3765		

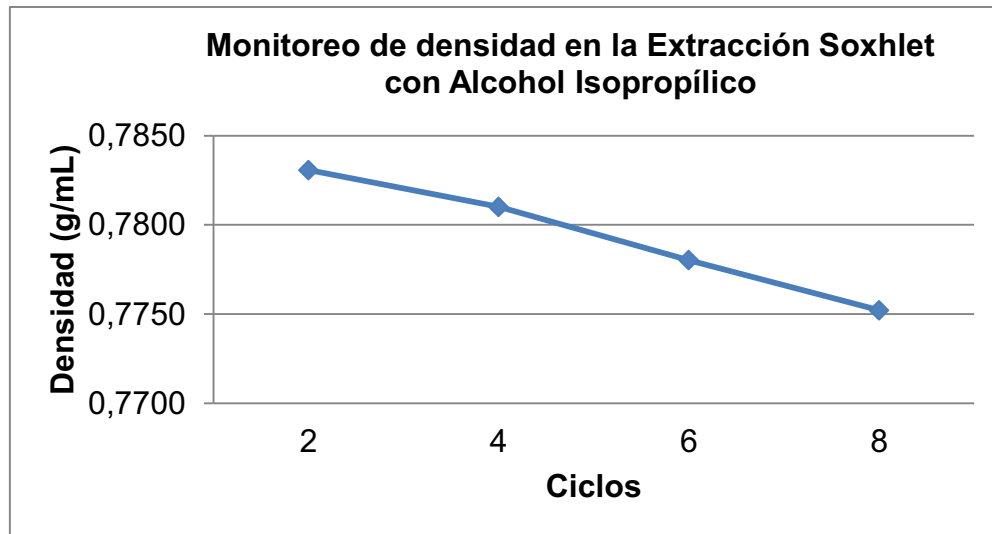
Fuente: apéndice C.

**Monitoreo del Índice de refracción en la extracción de la fracción lipídica
de la copra de coco (*Cocos nucifera* L.) mediante extracción Soxhlet
utilizando alcohol isopropílico como solvente**



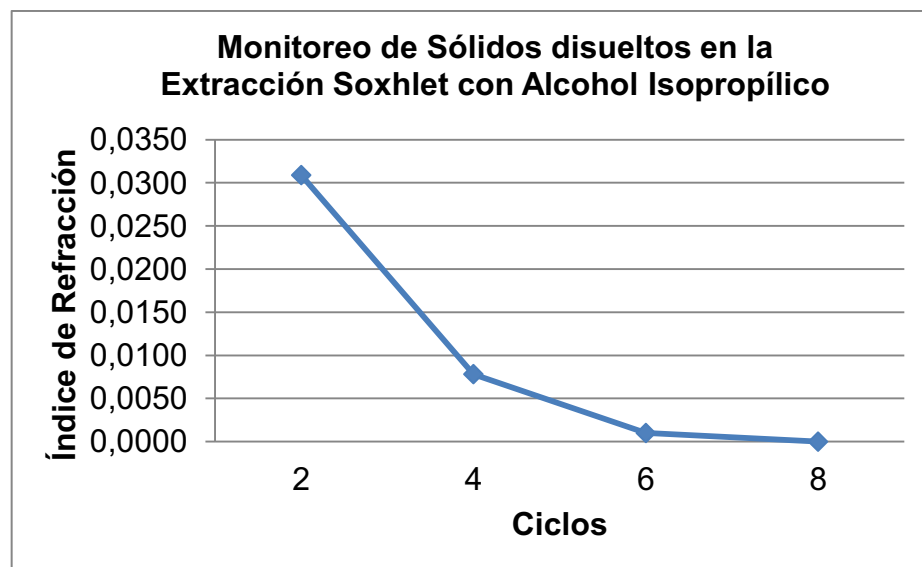
Fuente: elaboración propia.

Monitoreo de la densidad en la extracción de la fracción lipídica de la copra de coco (*Cocos nucifera L.*) mediante extracción Soxhlet utilizando alcohol isopropílico como solvente



Fuente: elaboración propia.

Monitoreo los sólidos disueltos en la extracción de la fracción lipídica de la copra de coco (*Cocos nucifera L.*) mediante extracción Soxhlet utilizando alcohol isopropílico como solvente



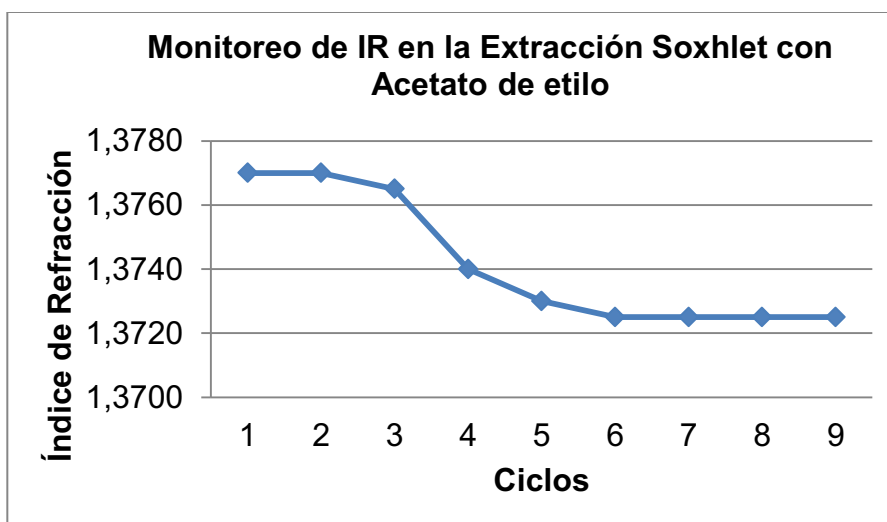
Fuente: elaboración propia.

Monitoreo de la extracción de la fracción lipídica de la copra de coco (*Cocos nucifera L.*) mediante la técnica Soxhlet con acetato de etilo

Ciclo	Índice de Refracción	Densidad (g/mL)	Sólidos disueltos (g/mL)
1	1,3770	0,8910	0,0199
2	1,3770		
3	1,3765	0,8907	0,0151
4	1,3740		
5	1,3730	0,8875	0,0144
6	1,3725		
7	1,3725	0,8855	0,0078
8	1,3725		
9	1,3725	0,8848	0,0014

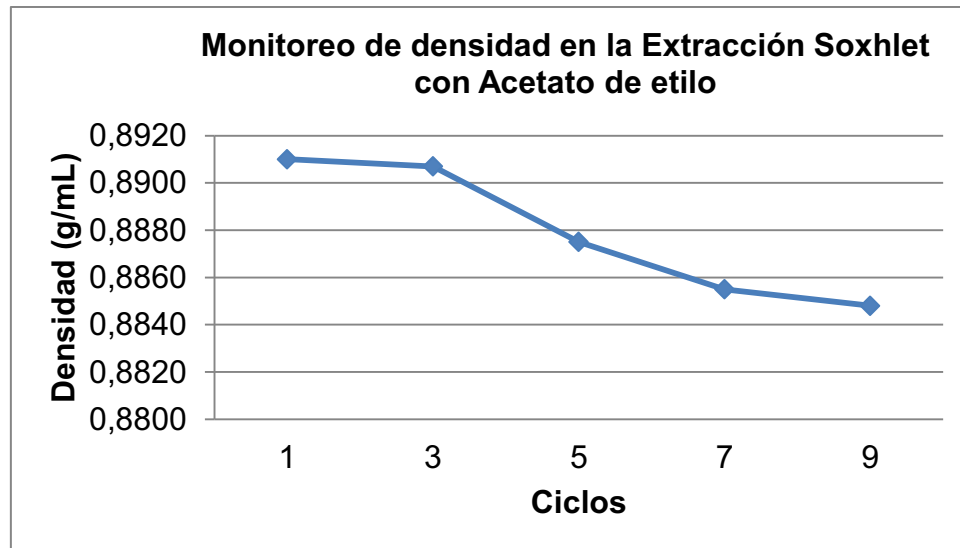
Fuente: Apéndice C.

Monitoreo del Índice de refracción en la extracción de la fracción lipídica de la copra de coco (*Cocos nucifera L.*) mediante extracción Soxhlet utilizando acetato de etilo como solvente



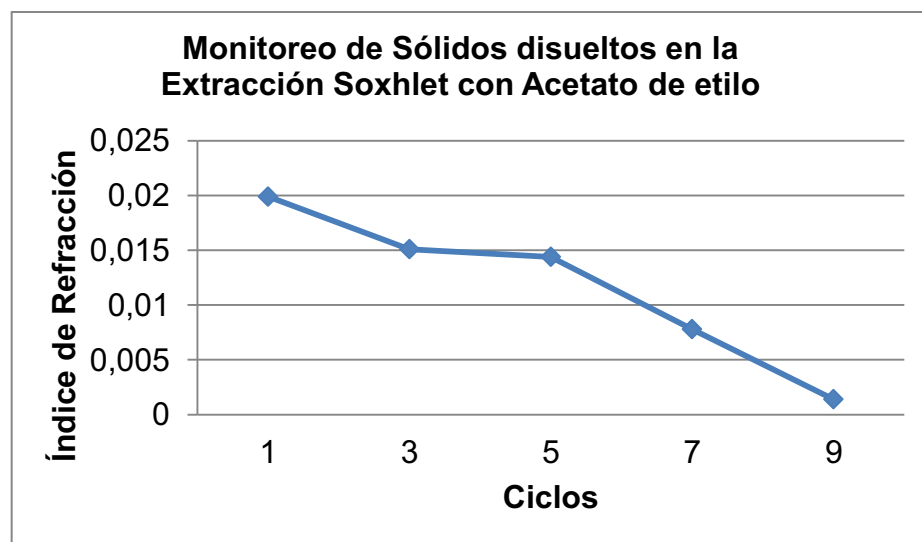
Fuente: elaboración propia.

Monitoreo de la densidad en la extracción de la fracción lipídica de la copra de coco (*Cocos nucifera L.*) mediante extracción Soxhlet utilizando acetato de etilo como solvente



Fuente: elaboración propia.

Monitoreo de los sólidos disueltos en la extracción de la fracción lipídica de la copra de coco (*Cocos nucifera L.*) mediante extracción Soxhlet utilizando acetato de etilo como solvente



Fuente: elaboración propia.

APÉNDICE B

Muestra de cálculo

Porcentaje de rendimiento

$$\% \text{ de Rendimiento} = \frac{\text{Peso 1}}{\text{Peso 2}} * 100\%$$

(Ecuación No. 3)

Donde:

Peso 1 = peso de la fracción lipídica obtenida (gramos)

Peso 2 = peso de la materia prima (gramos)

V = volumen del picnómetro (mililitros)

Para la Maceración dinámica con Hexano repetición 1, se obtuvo:

$$\% \text{ de Rendimiento} = \frac{6,5433}{25} * 100 = 26,1732 \%$$

APÉNDICE C

Datos calculados

Porcentajes de rendimiento de extracción

Muestra	Materia prima (g)	Fracción lipídica (g)	% de Rendimiento
S-H-R1	20	7,3787	36,8935
S-H-R2	20	6,8832	34,4160
S-H-R3	20	7,5142	37,5710
S-H-R4	20	7,0509	35,2545
MD-H-R1	25	6,5433	26,1732
MD-H-R2	25	7,0397	28,1588
MD-H-R3	25	6,9161	27,6644
MD-H-R4	25	6,3445	25,3780
MD-H-R5	25	7,0808	28,3232
MD-H-R6	25	6,6779	26,7116
S-IPA-R1	20	6,9477	34,7385
S-IPA-R2	20	6,1832	30,9160
S-IPA-R3	20	6,5142	32,5710
S-IPA-R4	20	6,2621	31,3105
MD-IPA-R1	25	5,0923	20,3692
MD-IPA-R2	25	6,0828	24,3312
MD-IPA-R3	25	6,0661	24,2644
MD-IPA-R4	25	5,8445	23,3780
MD-IPA-R5	25	5,9798	23,9192
MD-IPA-R6	25	5,7119	22,8476
S-AE-R1	20	6,0160	30,0800

Continuación de la tabla

Muestra	Materia prima (g)	Fracción lipídica (g)	% de Rendimiento
S-AE-R2	20	5,5549	27,7745
S-AE-R3	20	5,7060	28,5300
S-AE-R4	20	5,7157	28,5785
MD-AE-R1	25	6,0143	24,0572
MD-AE-R2	25	5,8859	23,5436
MD-AE-R3	25	6,2440	24,9760
MD-AE-R4	25	6,0862	24,3448
MD-AE-R5	25	6,2454	24,9816
MD-AE-R6	25	5,9415	23,7660

Fuente: elaboración propia.

Densidad de las fracciones lipídicas obtenidas

Solvente	Maceración dinámica	Soxhlet
Hexano	0,92601	0,90253
Alcohol isopropílico	0,92769	0,91833
Acetato de etilo	0,92797	0,92339

Fuente: elaboración propia.

**Densidad y sólidos disueltos para el monitoreo de las extracciones
Soxhlet**

Muestra	Ciclo	Densidad		Sólidos disueltos		
		Peso bruto (g)	Densidad (g/mL)	Peso 1 (g)	Peso 2 (g)	TDS (g/mL)
S-H-R1	2	4,1420	0,6573	2,0791	2,0876	0,0085
	4	4,1403	0,6558	1,9246	1,9287	0,0041
	6	4,1394	0,6549	1,9236	1,9251	0,0015
	8	4,1340	0,6499	2,1603	2,1603	0,0000
S-IPA-R1	2	4,2764	0,7831	1,9422	1,9731	0,0309
	4	4,2742	0,7810	1,8941	1,9019	0,0078
	6	4,2710	0,7780	1,9231	1,9241	0,0010
	8	4,2680	0,7752	2,1603	2,1603	0,0000
S-AE-R1	1	4,3851	0,8910	1,9585	1,9784	0,0199
	3	4,3915	0,8907	1,9428	1,9579	0,0151
	5	4,3918	0,8875	1,9360	1,9504	0,0144
	7	4,3880	0,8855	1,9317	1,9395	0,0078
	9	4,3859	0,8848	1,9402	1,4160	0,0014

Fuente: elaboración propia.

**Densidad y sólidos disueltos para el monitoreo de las extracciones por
Maceración dinámica**

Muestra	Tiempo (min)	Densidad		Sólidos disueltos		
		Peso bruto (g)	Densidad (g/mL)	Peso 1 (g)	Peso 2 (g)	TDS (g/mL)
MD-H-R1	20	4,1491	0,6640	1,9574	1,9680	0,0106
	40	4,1497	0,6645	2,0173	2,0290	0,0117
	60	4,1501	0,6649	1,9329	1,9454	0,0125
	80	4,1509	0,6657	1,9701	1,9835	0,0134
	100	4,1552	0,6697	1,9914	2,0107	0,0193
	120	4,1552	0,6697	2,0594	2,0796	0,0202
MD-IPA-R1	20	4,2670	0,7743	1,9430	1,9511	0,0081
	40	4,2705	0,7775	1,9387	1,9610	0,0223
	60	4,2723	0,7792	1,9254	1,9498	0,0244
	80	4,2735	0,7804	1,9254	1,9498	0,0244
	100	4,2823	0,7886	1,9356	1,9624	0,0268
	120	4,2838	0,7900	1,9222	1,9520	0,0298
MD-AE-R1	20	4,3857	0,8853	1,9296	1,9503	0,0207
	40	4,3881	0,8876	1,9155	1,9409	0,0254
	60	4,3898	0,8891	1,9175	1,9440	0,0265
	80	4,3901	0,8894	1,9464	1,9803	0,0339
	100	4,3906	0,8899	1,9303	1,9769	0,0466
	120	4,3937	0,8928	1,9663	2,0159	0,0496
	140	4,3938	0,8929	1,9220	1,9815	0,0595

Fuente: elaboración propia.

APÉNDICE D

Análisis estadístico

Coeficiente de varianza del rendimiento de extracción de la fracción lipídica de la copra del coco (*Cocos nucifera L.*)

Coeficiente de Varianza	4,39
-------------------------	------

Fuente: Software Statistix 9,0

Medias del rendimiento para el Solvente y el Método de extracción utilizado

Solvente	Método de extracción	N	Media	SE
Acetato de etilo	Maceración dinámica	6	24,2780	0,5125
Acetato de etilo	Soxhlet	4	28,7400	0,6276
Alcohol isopropílico	Maceración dinámica	6	23,1850	0,5125
Alcohol isopropílico	Soxhlet	4	32,3850	0,6276
Hexano	Maceración dinámica	6	27,0670	0,5125
Hexano	Soxhlet	4	36,0330	0,6276

Fuente: Software Statistix 9,0

Prueba de comparación de Tukey para las medias del rendimiento para el solvente utilizado

Solvente	N	Media	SE	Grupos Homogéneos
Hexano	10	31,5500	0,4051	A
Alcohol isopropílico	10	27,7850	0,4051	B
Acetato de etilo	10	26,5090	0,4051	B

Fuente: Software Statistix 9,0

Prueba de comparación de Tukey para las medias del rendimiento para el método de extracción utilizado

Solvente	N	Media	SE	Grupos Homogéneos
Soxhlet	18	32,3860	0,3624	A
Maceración Dinámica	12	24,8430	0,2959	B

Fuente: Software Statistix 9,0

**Prueba de comparación de Tukey para las medias del rendimiento para
cada fuente de variación**

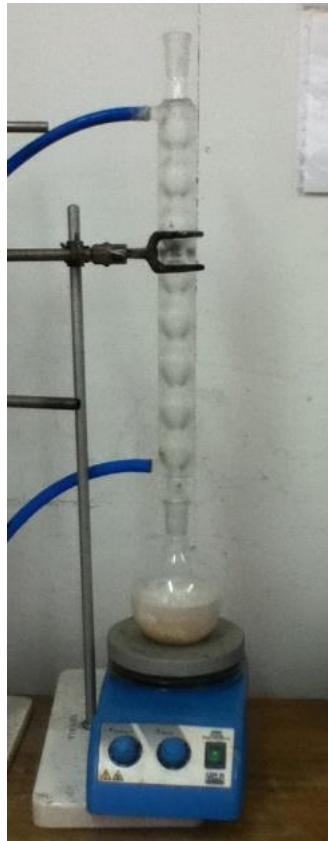
Fuente de variación	Alfa	Error estándar	Valor Q crítico	Valor crítico por comparación	Grados de libertad
Método	0,0500	0,4678	2,9120	0,9631	24
Solvente	0,0500	0,5729	3,5330	1,4311	24
Solvente*Método	0,0500	0,7247	4,3730	2,2409	24

Fuente: Software Statistix 9,0

APÉNDICE E

Fotografías del proceso

Extracción de la fracción lipídica por maceración dinámica con reflujo



Fuente: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, LIEXVE.

Extracción de la fracción lipídica por Soxhlet



Fuente: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, LIEXVE

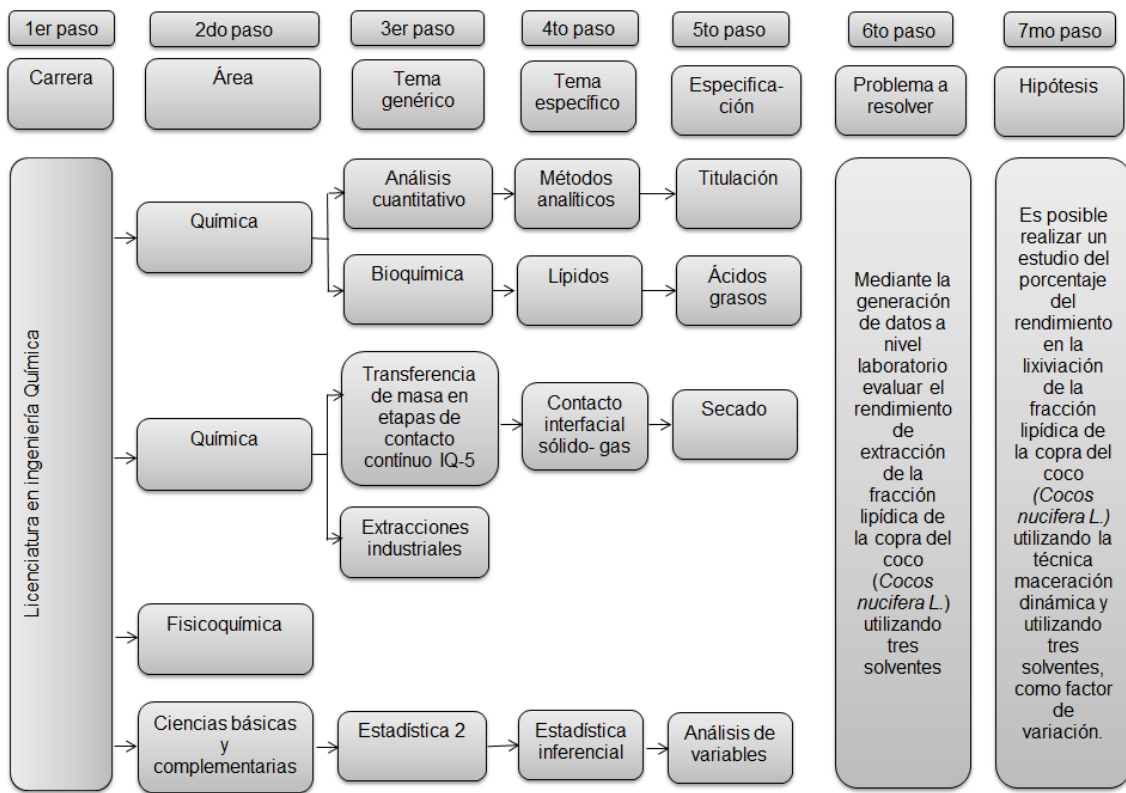
Rota evaporación del solvente de extracción



Fuente: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, LIEXVE

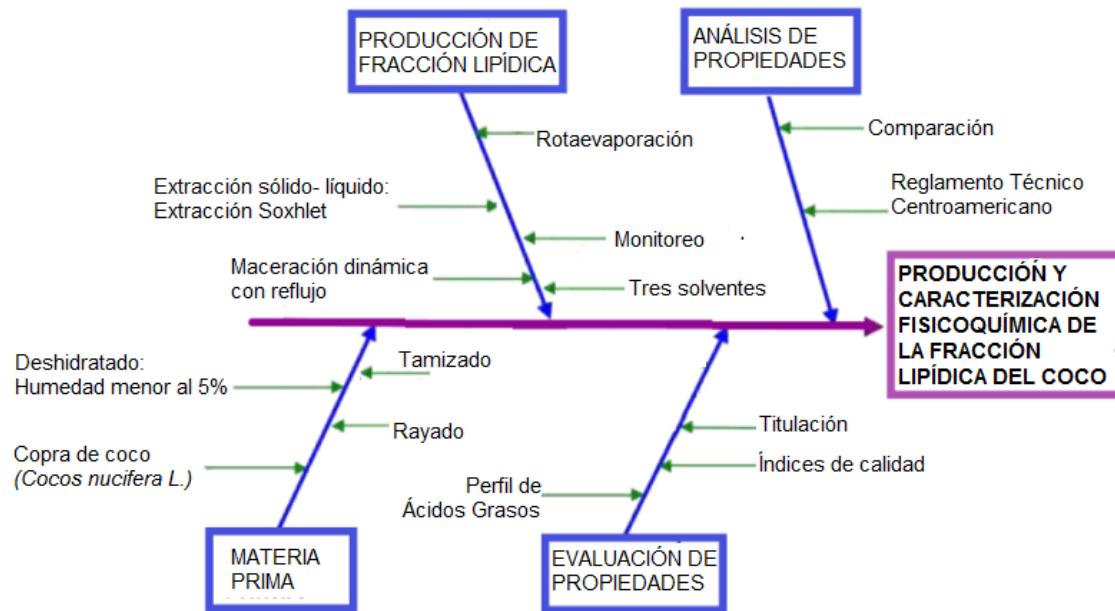
APÉNDICE F

Requisitos académicos



APÉNDICE H

Diagrama de Ishikawa



ANEXOS

Anexo 1

Gamas de composición de ácidos grasos de aceites vegetales crudos determinados mediante cromatografía gaseosa de muestras auténticas (expresadas en porcentaje del contenido total de ácidos grasos)

REGLAMENTO TÉCNICO CENTROAMERICANO

RTCA 67.04.40:07

Tabla No. 1. Gamas de composición de ácidos grasos de aceites vegetales crudos determinados mediante CGL de muestras auténticas (expresadas en porcentaje del contenido total de ácidos grasos)

Ácidos grasos	Aceite de Maní	Aceite de Babasú	Aceite de Coco	Aceite de semilla de algodón	Aceite de pepitas de uva	Aceite de maíz	Aceite de semilla de mostaza	Aceite de palma	Aceite de almendra de palma	Oleína de palma ⁽²⁾	Super-oleína de palma ⁽²⁾
C6:0	ND	ND	ND-0,7	ND	ND	ND	ND	ND	ND-0,8	ND	ND
C8:0	ND	2,6-7,3	4,6-10,0	ND	ND	ND	ND	ND	2,4-6,2	ND	ND
C10:0	ND	1,2-7,6	5,0-8,0	ND	ND	ND	ND	ND	2,6-5,0	ND	ND
C12:0	ND-0,1	40,0-55,0	45,1 53,2	ND-0,2	ND	ND-0,3	ND	ND-0,5	45,0-55,0	0,1-0,5	0,1-0,5
C14:0	ND-0,1	11,0-27,0	16,8-21,0	0,6-1,0	ND-0,3	ND-0,3	ND-1,0	0,5-2,0	14,0-18,0	0,5-1,5	0,5-1,5
C16:0	8,0-14,0	5,2-11,0	7,5-10,2	21,4-26,4	5,5-11,0	8,6-16,5	0,5-4,5	39,3-47,5	6,5-10,0	38,0-43,5	30,0-39,0
C16:1	ND-0,2	ND	ND	ND-1,2	ND-1,2	ND-0,5	ND-0,5	ND-0,6	ND-0,2	ND-0,6	ND-0,5
C17:0	ND-0,1	ND	ND	ND-0,1	ND-0,2	ND-0,1	ND	ND-0,2	ND	ND-0,2	ND-0,1
C17:1	ND-0,1	ND	ND	ND-0,1	ND-0,1	ND-0,1	ND	ND	ND	ND-0,1	ND
C18:0	1,0-4,5	1,8-7,4	2,0-4,0	2,1-3,3	3,0-6,5	ND-3,3	0,5-2,0	3,5- 6,0	1,0-3,0	3,5-5,0	2,8-4,5
C18:1	35,0-69	9,0-20,0	5,0-10,0	14,7-21,7	12,0-28,0	20,0-42,2	8,0-23,0	36,0-44,0	12,0-19,0	39,8-46,0	43,0-49,5
C18:2	12,0-43,0	1,4-6,6	1,0-2,5	46,7-58,2	58, 0-78,0	34,0-65,6	10,0-24,0	9,0-12,0	1,0-3,5	10,0-13,5	10,5-15,0
C18:3	ND-0,3	ND	ND-0,2	ND-0,4	ND-1,0	ND-2,0	6,0-18,0	ND-0,5	ND-0,2	ND-0,6	0,2-1,0
C20:0	1,0-2,0	ND	ND-0,2	0,2-0,5	ND-1,0	0,3-1,0	ND-1,5	ND-1,0	ND-0,2	ND-0,6	ND-0,4
C20:1	0,7-1,7	ND	ND-0,2	ND-0,1	ND-0,3	0,2-0,6	5,0-13,0	ND-0,4	ND-0,2	ND-0,4	ND-0,2
C20:2	ND	ND	ND	ND-0,1	ND	ND-0,1	ND-1,0	ND	ND	ND	ND
C22:0	1,5-4,5	ND	ND	ND-0,6	ND-0,5	ND-0,5	0,2-2,5	ND-0,2	ND-0,2	ND-0,2	ND-0,2
C22:1	ND-0,3	ND	ND	ND-0,3	ND-0,3	ND-0,3	22,0-50,0	ND	ND	ND	ND
C22:2	ND	ND	ND	ND-0,1	ND	ND	ND-1,0	ND	ND	ND	ND
C24:0	0,5-2,5	ND	ND	ND-0,1	ND-0,4	ND-0,5	ND-0,5	ND	ND	ND	ND
C24:1	ND-0,3	ND	ND	ND	ND	ND	0,5-2,5	ND	ND	ND	ND

Fuente: Reglamento Técnico Centroamericano 67.04.40:07

Anexo 2

Informes de resultados

Reporte del perfil de ácidos grasos de la fracción lipídica del coco (*Cocos nucifera L*) obtenido por maceración dinámica utilizando hexano como solvente

Area Percent Report

Data Path : D:\MSDCHEM\1\DATA\Evelyn Figueroa\
Data File : acgrascoco001.D
Signal(s) : FID1A.CH
Acq On : 21 Sep 2012 3:30
Sample : FAMES Aceite de coco Hexano R2
Misc : 1068120920010102, Vial 6097
ALS Vial : 3 Sample Multiplier: 1

Integration File: FIDFAMESCOCO.E

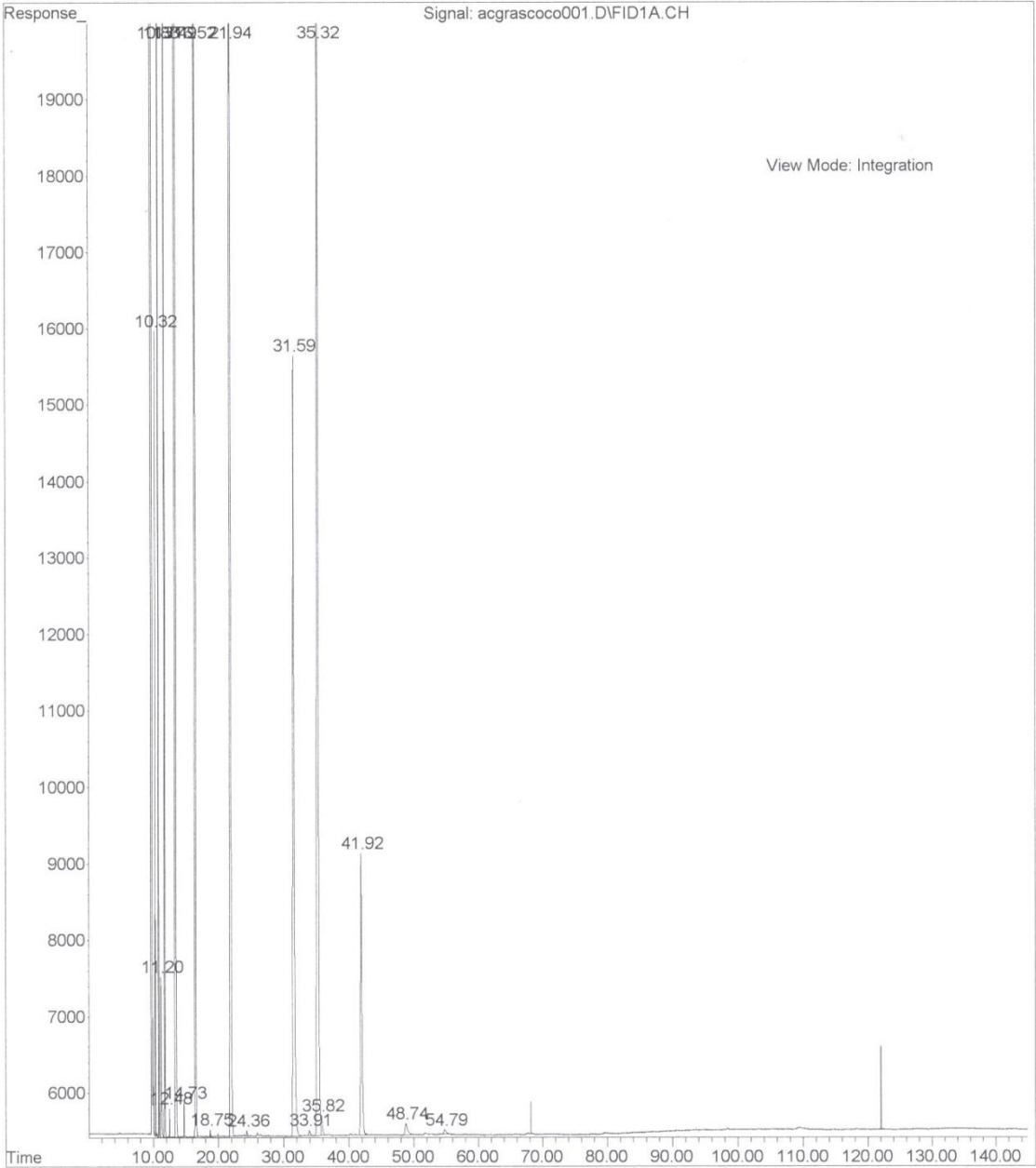
Method : D:\MSDCHEM\1\METHODS\ACGRAS2011L.M
Title :

Signal : FID1A.CH

peak #	R.T. min	Start min	End min	PK TY	peak height	peak area	peak % max.	% of total
1	10.317	10.230	10.394	BV	10516	241882	1.14%	0.544%
2	10.833	10.724	11.064	BV	130380	3062204	14.41%	6.884%
3	11.199	11.064	11.630	PB	2094	101869	0.48%	0.229%
4	11.766	11.644	12.037	BB	95571	2495450	11.74%	5.610%
5	12.480	12.370	12.644	BB	374	11082	0.05%	0.025%
6	13.494	13.324	13.897	BB	538906	21256354	100.00%	47.785%
7	14.725	14.340	14.854	BV	436	16662	0.08%	0.037%
8	16.519	16.287	16.860	BB	160022	8472261	39.86%	19.046%
9	18.753	18.594	19.087	BB	88	5550	0.03%	0.012%
10	21.940	21.514	22.594	BB	53438	4164795	19.59%	9.363%
11	24.362	24.220	24.674	BV	72	6247	0.03%	0.014%
12	31.588	31.207	32.767	BB	10212	1424531	6.70%	3.202%
13	33.915	33.687	34.487	BB	70	10968	0.05%	0.025%
14	35.316	34.794	35.710	BV	18659	2572740	12.10%	5.784%
15	35.818	35.710	36.420	VB	255	33851	0.16%	0.076%
16	41.917	41.500	42.874	BB	3684	553197	2.60%	1.244%
17	48.744	48.234	49.794	BB	148	41230	0.19%	0.093%
18	54.790	54.460	55.394	BB	53	12252	0.06%	0.028%
Sum of corrected areas:						44483126		

ACGRAS2011L.M Wed Oct 03 12:17:58 2012

File :D:\MSDCHEM\1\DATA\Evelyn Figueroa\acgrascoco001.D
Operator : WQ umg
Acquired : 21 Sep 2012 3:30 using AcqMethod ACGRAS2011L.M
Instrument : GC6890-MS
Sample Name: FAMES Aceite de coco Hexano R2
Misc Info : 1068120920010102, Vial 6097
Vial Number: 3



Reporte del perfil de ácidos grasos de la fracción lipídica del coco (*Cocos nucifera* L) obtenido por maceración dinámica utilizando alcohol isopropílico como solvente

Area Percent Report

Data Path : D:\MSDCHEM\1\DATA\Evelyn Figueroa\
 Data File : acgrascoco003.D
 Signal(s) : FID1A.CH
 Acq On : 21 Sep 2012 8:24
 Sample : FAMES Aceite de Coco IPA R2
 Misc : 1069120920010102, Vial 6100
 ALS Vial : 5 Sample Multiplier: 1

Integration File: FIDFAMESCOCO.E

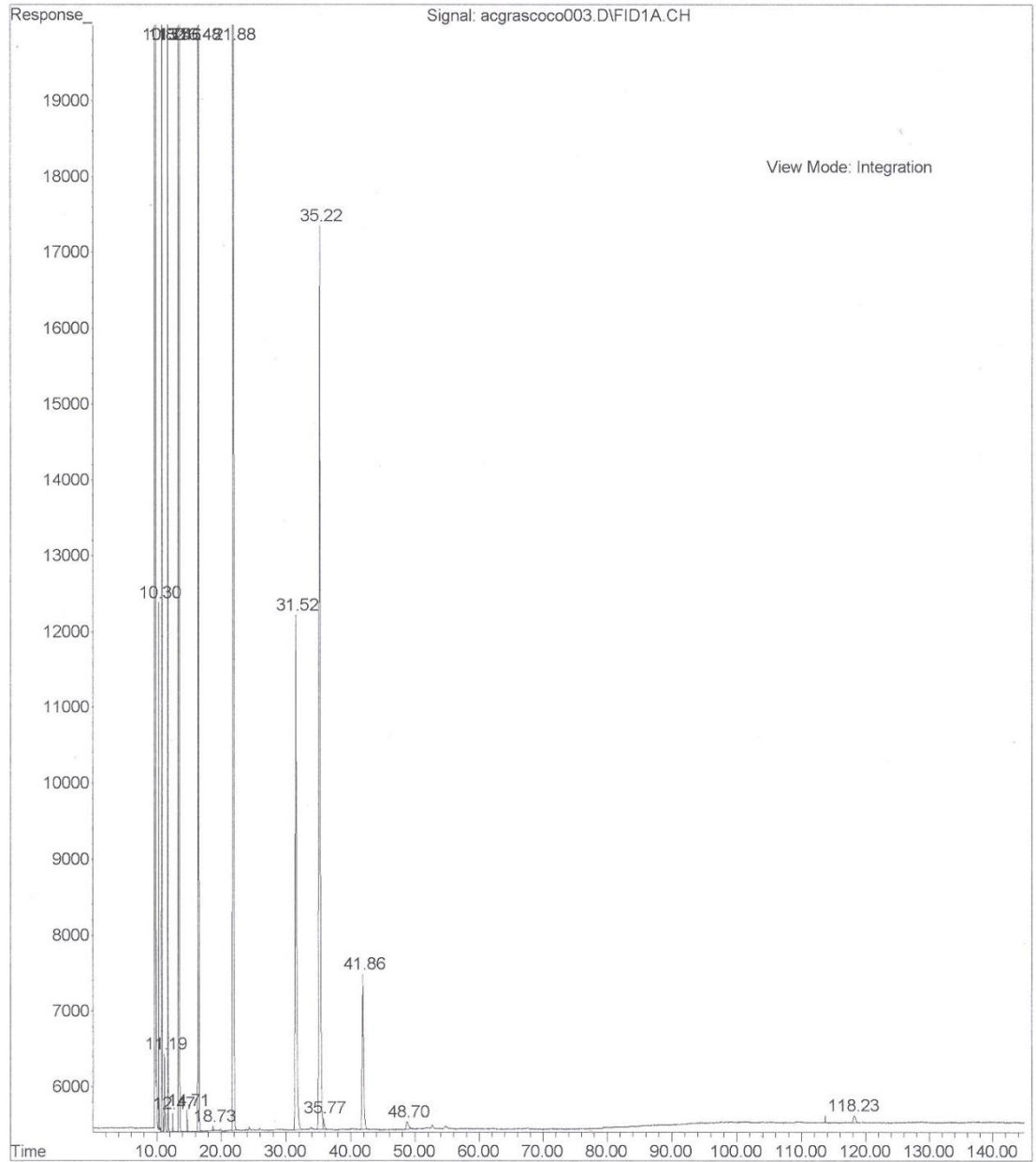
Method : D:\MSDCHEM\1\METHODS\ACGRAS2011L.M
 Title :

Signal : FID1A.CH

peak #	R.T. min	Start min	End min	PK TY	peak height	peak area	peak % max.	% of total
1	10.304	10.204	10.379	BV	6950	159733	1.17%	0.558%
2	10.820	10.724	11.044	BV	84277	1957392	14.29%	6.832%
3	11.191	11.044	11.630	PV	1023	58647	0.43%	0.205%
4	11.751	11.630	12.030	VB	61685	1590286	11.61%	5.551%
5	12.465	12.397	12.550	BB	243	6986	0.05%	0.024%
6	13.462	13.310	13.884	BB	389418	13701787	100.00%	47.825%
7	14.708	14.304	14.844	BB	280	10151	0.07%	0.035%
8	16.478	16.297	16.824	BB	115953	5496563	40.12%	19.185%
9	18.732	18.637	18.904	BB	60	3269	0.02%	0.011%
10	21.884	21.624	22.477	BB	35723	2679091	19.55%	9.351%
11	31.523	31.157	32.537	BB	6760	961909	7.02%	3.357%
12	35.221	34.837	35.684	BV	11901	1640036	11.97%	5.724%
13	35.769	35.684	36.297	VB	151	20594	0.15%	0.072%
14	41.862	41.524	42.664	BB	2051	314877	2.30%	1.099%
15	48.702	48.370	49.390	BB	95	25372	0.19%	0.089%
16	118.225	117.727	118.927	BB	95	23101	0.17%	0.081%
Sum of corrected areas:						28649794		

ACGRAS2011L.M Wed Oct 03 13:05:30 2012

File :D:\MSDCHEM\1\DATA\Evelyn Figueroa\acgrascoco003.D
Operator : WQ umg
Acquired : 21 Sep 2012 8:24 using AcqMethod ACGRAS2011L.M
Instrument : GC6890-MS
Sample Name: FAMES Aceite de Coco IPA R2
Misc Info : 1069120920010102, Vial 6100
Vial Number: 5



Reporte del perfil de ácidos grasos de la fracción lipídica del coco (*Cocos nucifera L*) obtenido por maceración dinámica utilizando acetato de etilo como solvente

Area Percent Report

Data Path : D:\MSDCHEM\1\DATA\Evelyn Figueroa\
 Data File : acgrascoco005.D
 Signal(s) : FID1A.CH
 Acq On : 21 Sep 2012 13:19
 Sample : FAMES Aceite de Coco Acetato de Etilo R2
 Misc : 1070120920010102, Vial 6103
 ALS Vial : 7 Sample Multiplier: 1

Integration File: FIDFAMESCOCO.E

Method : D:\MSDCHEM\1\METHODS\ACGRAS2011L.M
 Title :

Signal : FID1A.CH

peak #	R.T. min	Start min	End min	PK TY	peak height	peak area	peak % max.	% of total
1	10.302	10.203	10.377	BV	11529	264866	1.18%	0.560%
2	10.818	10.710	11.043	BV	137085	3219565	14.32%	6.808%
3	11.182	11.043	11.650	VV	3793	178539	0.79%	0.378%
4	11.750	11.650	11.914	PV	100021	2618651	11.65%	5.537%
5	12.464	12.377	12.657	BB	396	11768	0.05%	0.025%
6	13.479	13.290	13.724	BV	541636	22477539	100.00%	47.529%
7	13.789	13.724	13.910	VB	285	9858	0.04%	0.021%
8	14.707	14.603	14.823	BV	454	17038	0.08%	0.036%
9	16.503	16.283	16.917	BB	169051	8986465	39.98%	19.002%
10	17.090	16.997	17.237	BB	76	3894	0.02%	0.008%
11	18.730	18.603	18.910	BV	92	5510	0.02%	0.012%
12	21.922	21.577	22.557	BB	55952	4421785	19.67%	9.350%
13	24.336	24.177	24.630	BB	72	6333	0.03%	0.013%
14	31.558	31.150	32.730	BB	10557	1538844	6.85%	3.254%
15	35.294	34.790	35.697	BV	19270	2758490	12.27%	5.833%
16	35.783	35.697	36.330	VB	276	36781	0.16%	0.078%
17	41.880	41.497	42.870	BB	3646	567873	2.53%	1.201%
18	48.714	48.407	49.873	BV	150	43904	0.20%	0.093%
19	52.675	52.340	53.113	BB	159	22893	0.10%	0.048%
20	54.738	54.420	55.393	BB	53	12818	0.06%	0.027%
21	118.247	117.660	118.993	BB	379	89021	0.40%	0.188%
Sum of corrected areas:						47292436		

ACGRAS2011L.M Thu Oct 04 06:58:53 2012

File :D:\MSDChem\1\DATA\Evelyn Figueroa\acgrascoco005.D
Operator : WQ umg
Acquired : 21 Sep 2012 13:19 using AcqMethod ACGRAS2011L.M
Instrument : GC6890-MS
Sample Name: FAMES Aceite de Coco Acetato de Etilo R2
Misc Info : 1070120920010102, Vial 6103
Vial Number: 7

