



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

**DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE CERA DE LA CACHAZA DE CAÑA DE AZÚCAR
PROVENIENTE DE CUATRO INGENIOS AZUCAREROS DE LA COSTA SUR DE
GUATEMALA, UTILIZANDO ETANOL COMO SOLVENTE EXTRACTOR A ESCALA
LABORATORIO**

Yohana López Rosales

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

Guatemala, febrero de 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE CERA DE LA CACHAZA DE CAÑA DE AZÚCAR
PROVENIENTE DE CUATRO INGENIOS AZUCAREROS DE LA COSTA SUR DE
GUATEMALA, UTILIZANDO ETANOL COMO SOLVENTE EXTRACTOR A ESCALA
LABORATORIO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

YOHANA LÓPEZ ROSALES

ASESORADO POR LA INGA. TELMA MARICELA CANO MORALES
E ING. MARIO JOSÉ MÉRIDA MERÉ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA QUÍMICA

GUATEMALA, FEBRERO DE 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Christian Moisés de la Cruz Leal
VOCAL V	Br. Kevin Armando Cruz Lorente
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Sergio Alejandro Recinos
EXAMINADOR	Ing. Jorge Rodolfo García Carrera
EXAMINADOR	Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

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:

**DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE CERA DE LA CACHAZA DE CAÑA DE AZÚCAR
PROVENIENTE DE CUATRO INGENIOS AZUCAREROS DE LA COSTA SUR DE
GUATEMALA, UTILIZANDO ETANOL COMO SOLVENTE EXTRACTOR A ESCALA
LABORATORIO**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química con fecha 06 de agosto de 2018.

Yohana López Rosales



Guatemala, 30 de julio de 2020

Ingeniero
Williams Guillermo Álvarez Mejía
Director de Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala
Presente

Estimado Ingeniero Álvarez:

Por medio de la presente HACEMOS CONSTAR que hemos revisado y dado nuestra aprobación al Informe Final del trabajo de graduación titulado **“DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE CERA DE LA CACHAZA DE CAÑA DE AZÚCAR PROVENIENTE DE CUATRO INGENIOS AZUCAREROS DE LA COSTA SUR DE GUATEMALA, UTILIZANDO ETANOL COMO SOLVENTE EXTRACTOR A ESCALA LABORATORIO”**, de la estudiante de Ingeniería Química Yohana López Rosales quien se identifica con CUI No. 2237870510101 y registro académico número 2012-13347.

Sin otro particular nos suscribimos a usted.

Atentamente,



Ing. Qco. Mario José Mérida Meré
PROFESOR INVESTIGADOR
Escuela de Ingeniería Química/ USAC
JEFE
Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales -LIXVE-
Sección Química Industrial CII / USAC
Asesor

INGENIERO QUÍMICO

Mario José Mérida Meré
Colegiado No. 1411



Inga. Qca. Telma Maricela Cano Morales
Profesora Investigadora Titular IX
Sección Química Industrial
DIRECTORA
Centro de Investigaciones de Ingeniería / USAC
Asesora

INGENIERA QUÍMICA

Telma Maricela Cano Morales
Colegiado No. 433



Guatemala, 10 de octubre de 2020.
Ref. EIQ.TG-IF.036.2020.

Ingeniero
Williams Guillermo Álvarez Mejía
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Álvarez:

Como consta en el registro de evaluación, correlativo 024-2018, le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

INFORME FINAL

Solicitado por el estudiante universitario: **Yohana Lopez Rosales.**
Identificado con número de carné: **2237870510101.**
Identificado con registro académico: **201213347.**
Previo a optar al título de la carrera: **Ingeniería Química.**
En la modalidad: **Informe Final, Seminario de Investigación.**

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:

DETERMINACION DEL CONTENIDO DE CERA DE LA CACHAZA DE CAÑA DE AZUCAR PROVENIENTE DE CUATRO INGENIOS AZUCAREROS DE LA COSTA SUR DE GUATEMALA, UTILIZANDO ETANOL COMO SOLVENTE EXTRACTOR A ESCALA LABORATORIO.

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por:

Telma Maricela Cano Morales, profesional de la Ingeniería Química
Mario José Mérida Meré, profesional de la Ingeniería Química

Habiendo encontrado el referido 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"

Estuardo Monroy Benítez
Ingeniero Químico
Colegiado No. 446

Estuardo Edmundo Monroy Benítez
profesional de la Ingeniería Química
COORDINADOR DE TERNA
Tribunal de Revisión
Trabajo de Graduación

C.c.: archivo





Guatemala, 5 de febrero de 2021.
Ref. EIQ.005.2021

Aprobación del informe final del trabajo de graduación

Ingeniera
Aurelia Anabela Cordova Estrada
Decana
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Revisado el INFORME FINAL DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN (TESIS), DENOMINADO **Determinación del contenido de cera de la cachaza de caña de azúcar proveniente de cuatro ingenios azucareros de la costa sur de Guatemala, utilizando etanol como solvente extractor a escala laboratorio.** del(la) estudiante Yohana López Rosales, se conceptúa que el documento presentado, reúne todas las condiciones de calidad en materia administrativa y académica (rigor, pertinencia, secuencia y coherencia metodológica), por lo tanto, se procede a la autorización del mismo, para que el(la) estudiante pueda optar al título de Ingeniería Química.

“Id y Enseñad a Todos”

Ing. Williams G. Alvarez Mejia, M.Sc. M.U.I.E.
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química

Cc. Archivo
WGAM/mpea



ACAAI

Agencia Centroamericana de Acreditación de
Programas de Arquitectura y de Ingeniería



Formando Ingenieros Químicos en Guatemala desde 1939



NO SALGAS
QUÉDATE EN
CASA

DTG. 032.2021.

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al Trabajo de Graduación titulado: **DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE CERA DE LA CACHAZA DE CAÑA DE AZÚCAR PROVENIENTE DE CUATRO INGENIOS AZUCAREROS DE LA COSTA SUR DE GUATEMALA, UTILIZANDO ETANOL COMO SOLVENTE EXTRACTOR A ESCALA LABORATORIO**, presentado por la estudiante universitaria: **Yohana López Rosales**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Anabela Cordova Estrada
Decana

Guatemala, febrero de 2021.

AACE/asga

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por darme el privilegio de conocer el amor espiritual y ser guía en mi vida; bendiciéndome con ser una mujer virtuosa y muy afortunada.
- Mis padres** Maynor López y Carmen Rosales, por su incondicional amor y apoyo, su infinito esfuerzo y dedicación; sin ellos este logro no hubiera sido posible; agradecida por siempre.
- Mi hermana** Gabriela López, por su compañía y amor fraternal; que Dios la proteja siempre.
- Mi esposo** Mi amado y cariñoso esposo Guillermo Mijangos; por apoyarme con amor y paciencia en el camino que elegimos recorrer juntos por la vida.
- Mi hija** Por ser la heredera de una nueva historia y desde ya ser nuestra más grande alegría; que Dios la cuide y bendiga siempre.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por ser el centro de estudios que me ha formado como profesional.

Facultad de Ingeniería

Por compartir conocimientos a través de mis catedráticos, con ética y profesionalismo.

Mis asesores

Ing. Mario Mérida e Inga. Telma Cano, por su colaboración en la consecución de este logro, compartiendo conocimiento y experiencia.

Mis amigos

Por creer en mi capacidad y compartir sus conocimientos sin esperar nada a cambio, y en los momentos difíciles brindarme su comprensión y cariño; a todas las personas que de una u otra forma me apoyaron; muy agradecida desde el fondo de mi corazón.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN	XIII
OBJETIVOS.....	XV
HIPÓTESIS.....	XVII
INTRODUCCIÓN	XIX
1. ANTECEDENTES	1
2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Proceso para la obtención de cachaza.....	5
2.1.1. Clarificación del jugo.....	5
2.1.2. El proceso de clarificación	7
2.1.2.1. Alcalización.....	8
2.1.2.2. Calentamiento.....	9
2.1.3. Operación de los clarificadores (decantación del jugo claro y desalojo de la cachaza).....	11
2.2. La cachaza como producto para la agroindustria	14
2.3. Cera de la caña de azúcar.....	15
2.4. Usos de la cera de caña de azúcar	16
2.5. Aceites y grasas	17
2.5.1. Ácidos grasos	18
2.6. Métodos de extracción.....	18
2.6.1. Maceración estática.....	19

2.6.2.	Maceración dinámica	19
2.6.3.	Maceración estática con reflujo	20
2.6.4.	Maceración dinámica con reflujo	20
2.6.5.	Técnica Soxhlet.....	21
2.7.	Caracterización de los aceites y grasas	21
2.7.1.	Índice de acidez	22
2.7.2.	Índice de saponificación	22
2.7.3.	Índice de yodo	22
2.8.	Cromatografía	23
2.8.1.	Clasificación de los métodos de separación en cromatografía	23
2.8.2.	Cromatografía gaseosa	24
2.8.3.	Cromatografía gas-líquido (GLC)	25
2.8.4.	Cromatografía gaseosa con acoplamiento a espectrometría de masas (CG-EM).....	25
2.8.5.	Cromatografía gaseosa con detector de ionización de llama (FID).....	26
3.	DISEÑO METODOLÓGICO.....	27
3.1.	Variables	27
3.1.1.	Variables independientes	27
3.1.2.	Variables dependientes	28
3.2.	Delimitación de campo de estudio	28
3.2.1.	Obtención de la materia prima	29
3.2.2.	Obtención de la fracción acuosa extractable de la cera a partir de la cachaza	29
3.2.3.	Análisis fisicoquímico de la extracción de la cera a partir de la cachaza	29

3.2.4.	Análisis cuantitativo de los perfiles de ácidos grasos.....	30
3.3.	Recursos humanos disponibles.....	30
3.4.	Recursos materiales disponibles.....	31
3.4.1.	Materia prima y reactivos.....	31
3.4.2.	Cristalería.....	31
3.4.3.	Accesorios.....	32
3.4.4.	Equipo.....	32
3.4.5.	Complementos.....	33
3.4.6.	Recursos adicionales.....	33
3.5.	Técnica cualitativa o cuantitativa.....	34
3.5.1.	Extracción de la cera a partir de la cachaza de caña de azúcar, utilizando la técnica extracción Soxhlet.....	35
3.5.2.	Extracción de la cera a partir de la cachaza de caña de azúcar utilizando la técnica de lixiviación sólido-líquido con maceración dinámica a escala laboratorio.....	36
3.5.3.	Índice de acidez basado en el método oficial AOCS Ca 5a – 40.....	38
3.5.4.	Índice de yodo basado en el método oficial AOCS Cd 1-25.....	38
3.5.5.	Índice de saponificación basado en el método oficial AOCS Cd3-25.....	39
3.5.6.	Cromatografía gaseosa con detector de ionización de llama (FID).....	40
3.6.	Recolección y ordenamiento de la información.....	40
3.7.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.....	47

3.8.	Análisis estadístico.....	52
3.8.1.	Media.....	53
3.8.2.	Desviación estándar.....	53
3.8.3.	Coefficiente de variación de Pearson.....	54
3.8.4.	Análisis de varianza.....	54
3.9.	Métodos y modelos de los datos según tipo variables.....	56
3.9.1.	Análisis de varianza.....	56
3.9.2.	Conclusión análisis ANOVA.....	57
3.10.	Programas a utilizar para análisis de datos.....	58
4.	RESULTADOS.....	59
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	67
	CONCLUSIONES.....	71
	RECOMENDACIONES.....	73
	BIBLIOGRAFÍA.....	75
	APÉNDICES.....	77
	ANEXOS.....	79

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Diagrama de arreglo típico de una torre de sulfitación de jugo	6
2.	Reacción química.....	8
3.	Intercambiador de calor concha y tubos.....	10
4.	Intercambiador de placas	11
5.	Corte de clarificador tipo <i>Dorr-Oliver</i>	12
6.	Diseño experimental	35
7.	Porcentajes de rendimiento del método lixiviación sólido - líquido con maceración dinámica en relación 1:5 a escala laboratorio, utilizando etanol como solvente extractor	60
8.	Porcentajes de rendimiento del método técnica Soxhlet a escala laboratorio, utilizando etanol como solvente extractor	61
9.	Comparación de porcentajes de rendimiento del método lixiviación sólido - líquido con maceración dinámica en relación 1:5 a escala laboratorio, utilizando etanol como solvente extractor con el método técnica Soxhlet a escala laboratorio.....	61
10.	Comparación de ingenios azucareros para el índice de acidez obtenida de la cachaza de caña de azúcar por el método de extracción Soxhlet.....	62
11.	Comparación de ingenios azucareros para el índice de saponificación obtenida de la cachaza de caña de azúcar para el método de extracción Soxhlet.....	63

12.	Comparación de ingenios azucareros para el índice de yodo obtenida de la cachaza de caña de azúcar para el método de extracción Soxhlet.....	63
-----	--	----

TABLAS

I.	Análisis de cachaza (base seca) promedio de varios ingenios de Guatemala	14
II.	Composición de la cera de caña de azúcar	15
III.	Propiedades físicas de la cera de caña de azúcar	16
IV.	Usos de la cera de caña de azúcar.....	17
V.	Variables independientes.....	27
VI.	Variables dependientes	28
VII.	Materia prima y reactivos.....	31
VIII.	Cristalería	32
IX.	Accesorios	32
X.	Equipo.....	33
XI.	Complementos.....	33
XII.	Recursos adicionales.....	34
XIII.	Porcentajes de rendimiento obtenidos de la extracción de cera de cachaza de caña de azúcar por medio del método lixiviación sólido - líquido con maceración dinámica en relación 1:5 a escala laboratorio, utilizando etanol como solvente extractor	41
XIV.	Porcentajes de rendimiento obtenidos de la extracción de cera de cachaza de caña de azúcar por medio del método técnica Soxhlet a escala laboratorio, utilizando etanol como solvente extractor.....	42
XV.	Índices de acidez, índices de saponificación e índices de yodo de la cera obtenida de la cachaza de caña de azúcar para el método de extracción Soxhlet.....	42

XVI.	Porcentaje de resinas para el método Soxhlet.....	43
XVII.	Valores de perfil de ácidos grasos por FID de la cera obtenida de la cachaza por el método Soxhlet del Ingenio azucarero Madre Tierra ...	43
XVIII.	Valores de perfil de ácidos grasos por FID de la cera obtenida de la cachaza por el método Soxhlet del Ingenio azucarero la Unión.....	44
XIX.	Valores de perfil de ácidos grasos por FID de la cera obtenida de la cachaza por el método Soxhlet del Ingenio azucarero Pantaleón.....	45
XX.	Valores de perfil de ácidos grasos por FID de la cera obtenida de la cachaza por el método Soxhlet del Ingenio azucarero Magdalena.....	46
XXI.	Porcentajes de rendimiento obtenidos de la extracción de cera de cachaza de caña de azúcar por medio del método lixiviación sólido-líquido con maceración dinámica en relación 1:5 a escala laboratorio, utilizando etanol como solvente extractor	48
XXII.	Porcentajes de rendimiento obtenidos de la extracción de cera de cachaza de caña de azúcar por medio del método técnica Soxhlet a escala laboratorio, utilizando etanol como solvente extractor	48
XXIII.	Índices de acidez, índices de saponificación e índices de yodo de la cera obtenida de la cachaza de caña de azúcar por el método de extracción Soxhlet.....	49
XXIV.	Valores de perfil de ácidos grasos por FID de la cera obtenida de la cachaza por el método Soxhlet del ingenio azucarero Madre Tierra ...	50
XXV.	Valores de perfil de ácidos grasos por FID de la cera obtenida de la cachaza por el método Soxhlet del ingenio azucarero La Unión.....	50
XXVI.	Valores de perfil de ácidos grasos por FID de la cera obtenida de la cachaza por el método Soxhlet del ingenio azucarero Pantaleón.....	51
XXVII.	Valores de perfil de ácidos grasos por FID de la cera obtenida de la cachaza por el método Soxhlet del ingenio azucarero Magdalena	52
XXVIII.	Análisis de varianza para clasificación doble	56
XXIX.	Resultado análisis ANOVA.....	58

XXX.	Porcentajes de rendimiento obtenidos de la extracción de cera de cachaza de caña de azúcar por medio del método lixiviación sólido-líquido con maceración dinámica en relación 1:5 a escala laboratorio utilizando etanol como solvente extractor	59
XXXI.	Porcentajes de rendimiento obtenidos de la extracción de cera de cachaza de caña de azúcar por medio del método técnica Soxhlet a escala laboratorio, utilizando etanol como solvente extractor	60
XXXII.	Índices de acidez, índices de saponificación e índices de yodo de la cera obtenida de la cachaza de caña de azúcar para el método de extracción Soxhlet.....	62
XXXIII.	Valores de perfil de ácidos grasos por FID de la cera obtenida de la cachaza por el método Soxhlet del ingenio azucarero Madre Tierra ...	64
XXXIV.	Valores de perfil de ácidos grasos por FID de la cera obtenida de la cachaza por el método Soxhlet del ingenio azucarero La Unión	64
XXXV.	Valores de perfil de ácidos grasos por FID de la cera obtenida de la cachaza por el método Soxhlet del ingenio azucarero Pantaleón	65
XXXVI.	Valores de perfil de ácidos grasos por FID de la cera obtenida de la cachaza por el método Soxhlet del ingenio azucarero Magdalena	66

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
b	Bloques
GLC	Cromatografía gas-liquido
S	Desviación estándar
FID	Detector de ionización de llama
F	Fisher
°C	Grado centígrado
k	Grupos
H1	Hipótesis alternativa
Ho	Hipótesis nula
IA	Índice de acidez
IS	Índice de saponificación
I	Índice de yodo
μL	Microlitro
mL	Mililitro
c	Observaciones
%	Porcentaje

GLOSARIO

Ácido graso	Molécula orgánica formada por una cadena lineal hidrocarbonada saturada o insaturada, en cuyo extremo hay un grupo carboxilo.
ANOVA	<i>Analyze of variance</i> , análisis de varianza.
Bloque	Grupo de corridas experimentales realizadas en condiciones relativamente homogéneas.
Cromatografía	Método físico que se basa en el principio de retención selectiva para separar los componentes de una mezcla compleja, que permite identificar y determinar las cantidades de los componentes.
Cromatografía de gases	Es la técnica a elegir para la separación de compuestos orgánicos e inorgánicos, térmicamente estables y volátiles.
Etanol	Compuesto químico líquido, incoloro e inflamable. Puede utilizarse como solvente.
Índice de acidez	Es la presencia natural de la acidez libre en las grasas, es decir la suma de los ácidos grasos no combinados, resultado de la hidrólisis o

descomposición lipolítica de algunos triglicéridos.

Índice de yodo

Es la cantidad de gramos de yodo que pueden combinarse con 100 g de grasa y titularse con tiosulfato de sodio.

Lixiviación

Es un proceso en el cual se extrae uno o varios solutos de un sólido, mediante la utilización de un disolvente líquido.

Saponificación

Reacción de un éster y un hidróxido alcalino, obteniéndose la sal alcalina del ácido orgánico (jabón) y un alcohol.

RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo la evaluación de la extracción de cera a partir de la cachaza de caña de azúcar de cuatro procedencias diferentes; la misma es el subproducto del prensado de caña en donde se extrajo jugo y el sedimento que se denomina cachaza; posteriormente el filtrado de la cachaza termina como un subproducto del proceso la composición de la cera de caña de azúcar que contiene ácidos grasos, ácidos volátiles, ácidos grasos no solubles, ácidos no volátiles, ácidos hidroxiácidos, materia no saponificable, hidrocarburos y alcoholes.

Las muestras de cachaza provenientes de los filtros fueron llevadas al laboratorio a una humedad por debajo de 10 %; el contenido de cera de la cachaza de caña de azúcar se obtuvo utilizando dos métodos de extracción. Con la finalidad de comparar dichos métodos se determinó cuál es el más efectivo. Se propusieron dos: lixiviación sólido-líquido con maceración dinámica, relación 1:5 y la técnica Soxhlet.

Para la técnica lixiviación sólido-líquido con maceración dinámica, relación 1:5, se utilizaron 50 g de muestra y 500 mL de etanol como solvente extractor; el tiempo de extracción fue de 4 horas; finalmente, la materia prima se decantó y separó del solvente de captura mediante el equipo de rotaevaporación; para el método técnica Soxhlet se utilizaron diferentes cantidades de muestra y 500 mL de etanol como solvente extractor; de igual forma el tiempo de extracción fue de 4 horas a partir de la primera ebullición; se separó del solvente de captura mediante el equipo rotaevaporación .

Se realizaron 3 repeticiones para cada método, para los cuatro ingenios, dando un total de 24 unidades experimentales para determinar los rendimientos.

Se determinó que existe diferencia significativa en el rendimiento extractivo entre los métodos: lixiviación sólido-líquido con maceración dinámica, relación 1:5 y la técnica Soxhlet. El método de extracción sí afecta significativamente el rendimiento de cera de cachaza de caña de azúcar.

Se realizó para la técnica Soxhlet que fue el método más eficiente; la caracterización fisicoquímica de la cera extraída en la que se evaluaron los índices de acidez, índices de saponificación, índices de yodo, porcentajes de resinas y porcentajes de aceites; además, se determinó el porcentaje de rendimiento, perfil de ácidos grasos mediante cromatografía gaseosa con detector de ionización de llama (FID), para los cuatro ingenios azucareros: Madre Tierra, La Unión, Pantaleón y Magdalena, ubicados en la costa sur del país de Guatemala.

La investigación se llevó a cabo 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; las condiciones en las cuales se trabajó fueron: 640 mm Hg presión atmosférica y 25 °C - 27 °C de temperatura en Guatemala.

OBJETIVOS

General

Determinar el contenido de cera de la cachaza de caña de azúcar proveniente de cuatro ingenios azucareros de la costa sur de Guatemala, utilizando etanol como solvente extractor a escala laboratorio y la caracterización fisicoquímica de la cera extraída de la cachaza de caña de azúcar a partir del método seleccionado.

Específicos

1. Evaluar el rendimiento de la extracción de la cera obtenida de la cachaza de la caña de azúcar utilizando etanol como solvente extractor en función de los métodos: lixiviación sólido-líquido con maceración dinámica en relación 1:5 y técnica Soxhlet a escala laboratorio.
2. Evaluar el rendimiento de la extracción de la cera obtenida de la cachaza de la caña de azúcar, utilizando etanol como solvente extractor en función del lugar de procedencia de la cachaza de caña de cuatro ingenios azucareros.
3. Caracterizar los índices de acidez, de saponificación, de yodo, porcentajes de resinas y el extracto de cera obtenida de la cachaza de la caña de azúcar procedente de cuatro ingenios azucareros.

4. Determinar el perfil de ácidos grasos a través de la cromatografía de gases con detector de llama (FID) del extracto de cera obtenida de la cachaza de la caña de azúcar procedente de cuatro ingenios azucareros.

HIPÓTESIS

Es factible la extracción y evaluación del rendimiento de la cera a partir de la cachaza de caña de azúcar de cuatro ingenios azucareros provenientes de la costa sur de Guatemala escala laboratorio, utilizando los métodos de lixiviación sólido-líquido con maceración dinámica en relación 1:5 y técnica Soxhlet, utilizando etanol como solvente extractor, buscando la caracterización fisicoquímica del método a elegir.

Hipótesis alternativa

- **Ho₁**. Existe diferencia significativa en el rendimiento extractivo entre los métodos: lixiviación sólido-líquido con maceración dinámica en relación 1:5 y técnica Soxhlet para la extracción de la cera a partir de la cachaza de caña de azúcar de la procedencia de cuatro ingenios azucareros.

Hipótesis nula

- **Hi₁**. No existe diferencia significativa en el rendimiento extractivo entre los métodos: lixiviación sólido-líquido con maceración dinámica en relación 1:5 y técnica Soxhlet para la extracción de la cera a partir de la cachaza de caña de azúcar de la procedencia de cuatro ingenios azucareros.

INTRODUCCIÓN

La caña de azúcar contiene entre 0,1 a 0,3 % de cera, pero solo alrededor del 40 % pasa al jugo de donde es separado en la etapa de clarificación y pasa a formar parte de la cachaza. Si bien el bagazo se lleva un mayor porcentaje de cera, la extracción de cera se lleva a cabo a partir de la cachaza debido al uso del bagazo como combustible para el caldero.

En Cuba, el aceite de la cera de la cachaza de la caña de azúcar ha sido probado para diferentes productos como la elaboración de medios de protección temporal contra la corrosión, materia prima para la producción de jabones y agente para la activación de la vulcanización de gomas; estos intentos de empleo de esta materia prima resultan de mucho valor para la economía nacional; esto se pudo realizar debido a que se analizó la extracción de la cera; por lo que se pretende que Guatemala se actualice y pueda obtener un nuevo producto que genere ingresos económicos, ya que cuenta con una producción elevada de cachaza obtenida de la caña de azúcar.

La cachaza es un residuo muy abundante de la industria azucarera; “por su composición química y bajo precio, resulta atractiva como materia prima en la industria de procesos, por lo que constituye uno de los subproductos con mayores perspectivas para su aprovechamiento industrial” ¹

¹ ARTEAGA PÉREZ, Luis. *Análisis de alternativas para la obtención de materia insaponificable a partir de residuales de la industria azucarera*. p. 2.

En la industria azucarera se generan subproductos como la cachaza que son aprovechados en el campo agroindustrial, debido a esto es necesaria la búsqueda de otros procesamientos que generen nuevos productos.

“La cachaza sirve como materia prima para obtener cera, pues cuando se muele la caña la cera se desprende, pasando al jugo y formando parte de la materia suspendida. La cachaza contiene de 2 a 3 % de cera cruda, la cual puede ser extraída por diversos métodos como el arrastre de vapor con solventes, entre otros”²

El presente trabajo pretende caracterizar la cera extraída a partir de la cachaza por medio de dos métodos de extracción en el que se utiliza etanol como solvente extractor; al obtener los resultados del análisis se toma el criterio de darle un uso diferente a uno de los subproductos de la industria azucarera como es la cachaza de caña de azúcar; usando este residuo como materia prima se generarán ingresos adicionales a la industria azucarera.

² ASMA, Tamboli; PALLAVI, Bhosale; SONAL, Chonde; Ghosh Jai and Raut Prakash D.. Effect of Endosulfan on Indole acetic acid and Gibberellin secretion by Azospirillum SPP NCIM-2548 and Azotobacter SPP NCIM-2452. https://www.researchgate.net/publication/236021458_Tamboli_Asma_M_Bhosale_Pallavi_R_Chonde_Sonal_G_Ghosh_Jai_S_and_Raut_Prakash_D2012_Effect_of_Endosulfan_on_Indole_acetic_acid_and_Gibberellin_secretion_by_Azospirillum_SPP_NCIM-2548_and_Azotobacter_SP. Consulta: abril de 2020.

1. ANTECEDENTES

Se han realizado diversos trabajos de investigación enfocados en los temas de extracción de ceras y caracterización del perfil de ácidos grasos. Los trabajos de investigación que se presentan a continuación han aportado información relevante a esta investigación.

En la Universidad Técnica del Norte Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales carrera de Agroindustria, se presentó el trabajo de graduación titulado: “Diseño de una planta de extracción de cera proveniente de la cachaza de la industria azucarera de la zona 1”. El estudio se realizó con la finalidad de diseñar una planta extractora de cera a partir de la cachaza de la industria azucarera de la zona 1, que aproveche un residuo de la producción de azúcar, debido a que en Ecuador no existe uso de la cera de caña de azúcar.

En la Escuela de Ingeniería Química, de la Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, se realizó el trabajo de graduación denominado: “Evaluación del rendimiento de extracción y caracterización del aceite fijo de café tostado genuino Antigua obtenido por el proceso de prensado”; para ello se efectuó la extracción del aceite por prensado mediante tratamiento térmico por extrusión; así también se comparó el rendimiento con la extracción de lixiviación en caliente Soxhlet. Las propiedades físicas mencionan el índice de refracción, densidad, pH, solubilidad, viscosidad y humedad.

En el Complejo Agroindustrial Azucarero (CAI) Antonio Guiteras, del Ministerio del Azúcar en la localidad de Delicias (Puerto Padre), Las Tunas, se realizó la caracterización de la cachaza cubana con vistas a su utilización en la

producción de cera cruda, en las que se determinaron las características físicas y químicas de la cera cruda con miras a su aprovechamiento como materia prima.

Los indicadores de la composición fisicoquímica de esta materia prima pueden ser utilizados para definir posteriormente los rendimientos de cera cruda, así como otros parámetros tecnológicos del proceso de producción a partir de este importante residuo de la industria azucarera.

En el Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar, ICIDCA, La Habana, se realizó la investigación denominada “Recuperación de cera de cutícula de caña de azúcar mediante separación mecánica y extracción con solventes” por lo que se utilizaron técnicas de extracción Soxhlet y se procesó la fracción DERMAL; se estudiaron 3 clases de disolventes orgánicos como agentes extractivos. El material ceroso extraído fue caracterizado por técnicas de determinación de índices fisicoquímicos y por cromatografía gaseosa; por lo que se reportaron algunos datos sobre la composición química de esta nueva calidad de cera vegetal.

En el departamento de Química, Universidad Ignacio Agramonte Loynaz, Camagüey, Cuba, se realizó la extracción de cera a partir de cachaza con etanol 96 °GL a escala de laboratorio; no se emplearon sustancias agresivas al medio ambiente. La cera se extrajo de la cachaza, un residuo de la industria azucarera, utilizando etanol como solvente. La extracción de cera se llevó a cabo mediante un proceso de lixiviación, empleando una relación cachaza/etanol de 0,05 kg/L; los parámetros de operación definidos fueron: temperatura de 70 °C, presión atmosférica, velocidad de agitación de 700 rpm y tiempo de extracción de 2,5 horas.

En el departamento de Industrias del Ministerio de Agricultura e Industrias de Costa Rica, se realizó el estudio preliminar sobre la posibilidad de establecer en el país la industria de la extracción de cera de la cachaza, realizado para el Comité de Normas y Asistencia Técnica.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Proceso para la obtención de cachaza

Se presenta el proceso para la obtención de la cachaza de caña de azúcar paso a paso, desde la clarificación del jugo hasta la decantación del jugo claro y desalojo de la cachaza.

2.1.1. Clarificación del jugo

El jugo mezclado obtenido del tándem de molinos tiene aún una carga considerable de tierra, arena, bagacillo y otras formas de basura (*trash*) propias de la caña.

El proceso de clarificación de jugo consiste en la remoción de impurezas contenidas en el jugo mezclado, y así obtener el jugo clarificado con las características para producir la calidad de la azúcar requerida.

Dosificación de ácido fosfórico y sulfatación: si la calidad de azúcar que se va a producir es blanco sulfitado, es recomendable dosificarle ácido fosfórico al jugo mezclado.

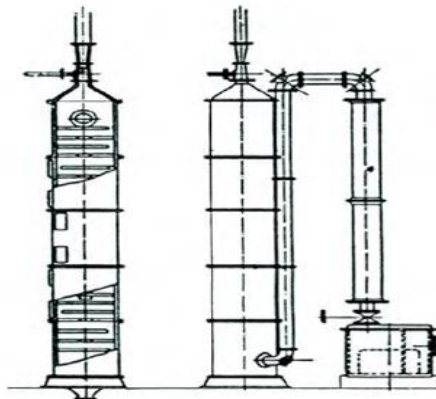
Los fosfatos solubles son componentes propios de la caña de azúcar que intervienen en el acondicionamiento de los lodos por la formación de precipitados; al reaccionar con el calcio de la cal (óxido de calcio CaO).

Se estima que es necesaria una concentración de fosfato alrededor de 300 ppm en el jugo, pero hay variedades de caña con concentraciones de fosfato menores; los jugos de estas cañas se conocen como refractarios, por la dificultad que presentan para clarificarlos.

El jugo mezclado se bombea a la torre de sulfitación, en la cual se pone en contacto en contracorriente con anhídrido sulfuroso (SO_2), gas generado por la combustión de azufre elemental.

Los hornos y las tuberías por las que se conduce el anhídrido sulfuroso son enfriados por chaquetas en las cuales circula agua fría, para evitar la formación de anhídrido sulfúrico (SO_3) y subsecuente generación de ácido sulfúrico (H_2SO_4). En la siguiente figura se muestra el diagrama de un arreglo típico de una torre de sulfitación para jugo, provista de un horno para combustión del azufre y el eyector a vapor para producir el tiro negativo en el sistema por efecto Venturi.

Figura 1. **Diagrama de arreglo típico de una torre de sulfitación de jugo**



Fuente: HUGOT, Émile. *Manual para ingenieros azucareros*. p. 123.

El anhídrido sulfuroso forma ácido sulfuroso (H_2SO_3) por hidrólisis con el jugo. El ácido sulfuroso se disocia en protones (H^+) y el anión sulfito (SO_3^{2-}).

El sulfito es una especie química clasificada como agente reductor de mediana potencia; reduce químicamente los pigmentos o colorantes, desactivando los sistemas conjugados que absorben en forma parcial la radiación electromagnética en la región del espectro visible. También elimina precursores de color.

La sulfitación del jugo es imprescindible para obtener menor color en el azúcar blanco final. El criterio que más se maneja es quemar tanto azufre como sea necesario para lograr una caída de 0,5 unidades de pH entre el jugo mezclado proveniente de los molinos y el que sale de la torre de sulfitación.

Los consumos de azufre se encuentran alrededor de 0,5 a 0,8 lb/t (libras por tonelada métrica de caña molida).

Como efectos positivos adicionales de la sulfitación, se ha comprobado que el jugo decanta más rápidamente; que disminuye la viscosidad en la meladura, en las mieles y en las masas cocidas, lo que produce una cocción más rápida de las mismas; se mejora el desarrollo del cristal y el agotamiento de las mieles; se mejora también la purga de la miel en las centrífugas.

2.1.2. El proceso de clarificación

Se describirá el proceso de clarificación del jugo de la cachaza de caña de azúcar, etapa en la que se separa la mayor parte de las impurezas sólidas insolubles como gomas, bagazos y sustancias colorantes, entre otros.

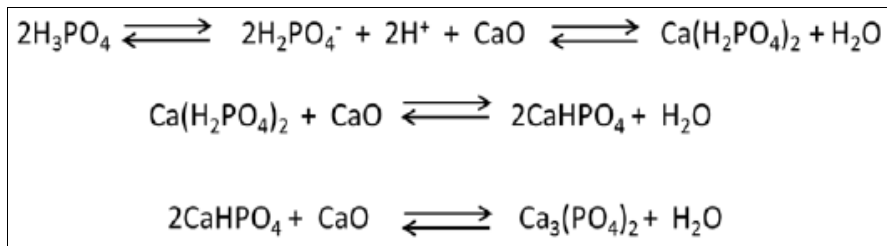
Para lograr que se dé este proceso fisicoquímico se deben contemplar otros subprocesos involucrados indispensables, que a continuación se describen.

2.1.2.1. Alcalización

El proceso medular para la clarificación del jugo consiste en la formación de un sólido sedimentable de composición compleja, cuya reacción química base está entre el anión fosfato PO_4^{3-} (contenido en la caña y adicionado en la dosificación de ácido fosfórico) y el catión calcio Ca^{2+} (aportado por la dosificación de cal).

Las reacciones químicas involucradas en el proceso se presentan a continuación:

Figura 2. Reacción química



Fuete: CENGICAÑA. *El cultivo de la caña de azúcar en Guatemala*. p. 152.

La alcalización del jugo se hace a la salida de la torre de sulfitación. Se puede utilizar lechada de cal (cal como óxido de calcio dispersado en agua hasta obtener una suspensión de aproximadamente 15 grados baumé de densidad); el problema de la lechada de cal es la incrustación y obstrucción frecuente de tuberías y equipos de bombeo.

La utilización de sacarato de calcio (mezcla de cal con jugo claro o con meladura), produce una verdadera solución de la cal y evita los problemas de obstrucción de tuberías y equipos; aunque existe alguna pérdida de sacarosa por la recirculación de materiales, los beneficios en calidad de la alcalización y en mantenimiento del equipo son considerables.

El pH del jugo alcalizado se fija entre 6,7 - 7,2, pero la variable respuesta a controlar es el pH del jugo clarificado. Si el jugo clarificado tiene un pH menor a 6,4, la inversión de sacarosa (hidrólisis ácida con generación de azúcares reductores) es significativa, lo que afecta la recuperación y recirculación de mieles (aunque se favorezca la disminución del color en el azúcar envasado).

Si el pH del jugo clarificado es mayor a 7,0, la subsecuente generación de color por la caramelización durante el calentamiento en evaporadores y tachos es significativa. La alcalización del jugo mezclado para obtener un pH en el jugo claro en el rango de 6,5 - 6,9 es lo recomendable. Se debe considerar la calidad del azúcar a producir; si se elabora azúcar blanca este rango de pH es más rígido, si se produce azúcar cruda el pH en el jugo claro puede alcanzar hasta 7,2.

2.1.2.2. Calentamiento

Colateralmente a la formación de especies fosfatadas insolubles de calcio, el jugo alcalizado debe calentarse a una temperatura levemente por arriba del punto de ebullición del agua (218 - 220 °F).

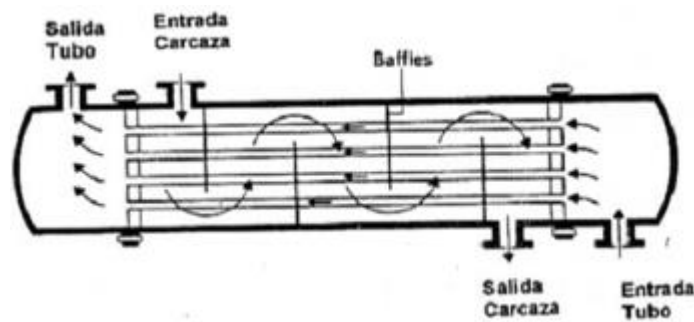
Al calentarse el jugo a esta temperatura, se le confiere al sistema el calor necesario para que se verifiquen las reacciones involucradas; también a esta temperatura las proteínas presentes en el jugo se desnaturalizan, dejan de ser

solubles y ya no se mantienen en suspensión en el medio. Las proteínas desnaturizadas pasan a formar parte del sólido insoluble sedimentable. La temperatura por arriba del punto de ebullición del agua es importante también, para un adecuado *flasheo* del jugo en el tanque *flash*.

El *flasheo* (ebullición instantánea del agua) ocurre por la descompresión súbita del jugo al pasar de las tuberías a un tanque con comunicación a la atmósfera (tanque *flash*); la eliminación de vapor de agua por *flasheo* previene que se formen burbujas de gases emergentes, que afectan negativamente la sedimentación de las impurezas.

Para las distintas etapas de calentamiento se pueden usar calentadores de concha (carcasa) y tubos o intercambiadores de calor de placas que son más eficientes y pequeños; en las figuras aparecen ilustrados un calentador de concha y tubos y un calentador de placas, respectivamente. En los ingenios suelen encontrarse arreglos de ambos tipos de calentadores, para lograr el objetivo de temperatura final en el jugo alcalizado.

Figura 3. **Intercambiador de calor concha y tubos**



Fuente: Avibert. *Patrones de flujo*. <http://avibert.blogspot.com/2010/06/patrones-de-flujo-en-intercambiadores.html>. Consulta: 3 de mayo de 2019.

Figura 4. **Intercambiador de placas**



Fuente: Ekin Endüstriyel. *Tecnología de intercambiador de calor de placas*. <http://www.ec-regasketing.com/es/heat-exchangers.htm>. Consulta: 3 de mayo de 2019.

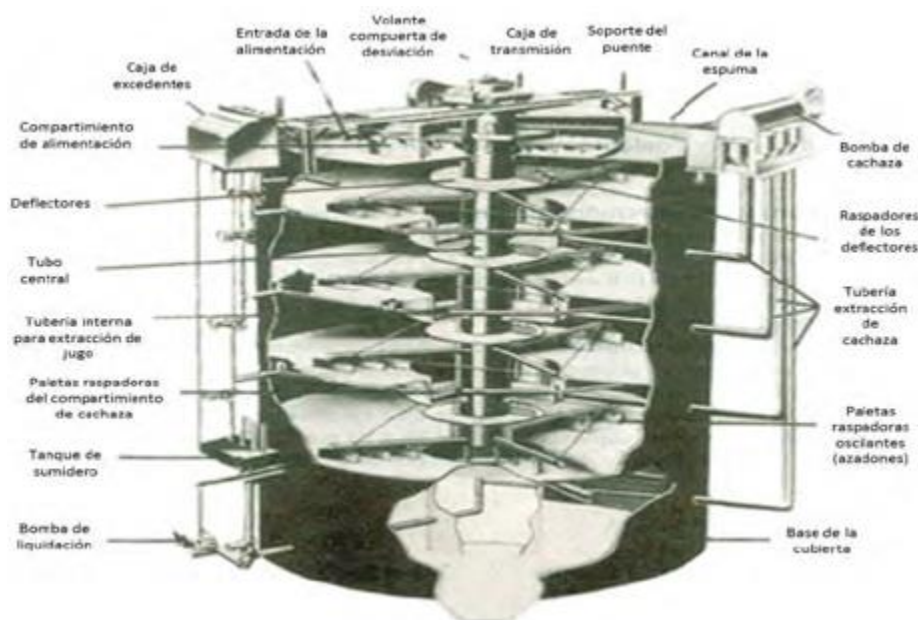
Un aditivo necesario para completar el proceso de clarificación es la dosificación de floculante o polímero floculador, polímero sintético de cadena larga. Hay de varios tipos; los más usados son las poliacrilamidas aniónicas parcialmente hidrolizadas. El floculante se prepara disolviéndolo en agua y dándole un tiempo de maduración (reposo) antes de dosificarlo, lo que permite que se extiendan las cadenas del polímero. La dosificación del floculante se hace directamente a cada clarificador.

2.1.3. Operación de los clarificadores (decantación del jugo claro y desalojo de la cachaza)

El jugo alcalizado caliente se bombea al tanque *flash* y entra tangencialmente por la pared de dicho tanque; en el tanque *flash*, además de liberar el vapor de agua, el jugo pierde velocidad (lo que va a favorecer la sedimentación de las impurezas insolubles). Del tanque *flash* el jugo alimenta por gravedad a los clarificadores.

Los clarificadores son equipos para sedimentar los sólidos insolubles y separarlos de la fase líquida; el más usado en Guatemala es el clarificador tipo Dorr-Oliver. Este posee cuatro compartimientos independientes de fondos cónicos y cada uno con un cabezal para la decantación del jugo clarificado y juegos de bombas de diafragma para extraer los lodos sedimentados. En la figura 5 se muestra el corte de un clarificador tipo Dorr - Oliver.

Figura 5. Corte de clarificador tipo *Dorr-Oliver*



Fuente: CHEN, James. *Manual del azucarero de caña*. p. 315.

Hay ingenios que ya tienen en operación clarificadores australianos tipo SRI de un único compartimiento, los cuales, por diseño, pueden manejar mayor caudal de jugo alcalizado para el proceso de clarificación y con menor tiempo de retención comparado con un clarificador tipo *Dorr - Oliver*.

Durante el tiempo de retención en el clarificador, los precipitados de especies fosfatadas de calcio en formación se asocian con los sólidos en suspensión que trae el jugo (tierra, bagacillo, basura, entre otros) y con las proteínas desnaturalizadas; esta asociación primaria forma partículas sólidas llamadas *floc* primario (proceso de floculación primaria).

Las partículas de *floc* primario se asocian en conglomerados más grandes y compactos denominados coágulos (proceso de coagulación). Paralelamente a la coagulación, las cadenas de floculante extendidas empiezan a asociarse con varias partículas de *floc* primario, generando agregados esponjosos (floculación secundaria) que a la vez se unen a los coágulos formados y en conjunto forman un lodo altamente denso y con alta velocidad de sedimentación; a este lodo se le denomina cachaza.

La cachaza tiene altos contenidos de carbono orgánico, fósforo, calcio y en menores cantidades nitrógeno; de tal manera que es un material utilizado en la fertilización y mejoramiento de los suelos agrícolas.

En la siguiente tabla se presenta la composición química promedio de la cachaza, proveniente de muestras obtenidas de varios ingenios.

Tabla I. **Análisis de cachaza (base seca) promedio de varios ingenios de Guatemala**

Nutriente	Valor
Agua (%)	7,5
pH	5,8
N (%)	1,2
P ₂ O ₅ (%)	2,2
K ₂ O (%)	0,6
C _a O (%)	1,0
M _g O (%)	0,6
C (%)	40
Relación C/N	33,3

Fuente: CENGICAÑA. *El cultivo de la caña de azúcar en Guatemala*. p. 146.

De la tabla I se deduce que cada tonelada de cachaza fresca aporta en total 3,0 kg de nitrógeno, 5,5 kg de P₂O₅ y 1,5 kg de K₂O. Esta cantidad total aportada puede constituir entre 0,6 y 1,5 kg de nitrógeno disponible de cachaza, (dependiendo del suelo) 3,3 kg de P₂O₅ y 0,9 kg de K₂O disponibles por tonelada de cachaza fresca.

2.2. La cachaza como producto para la agroindustria

De acuerdo con el estudio de extracción de cera a partir de la cachaza, es posible apreciar que este subproducto, para algunos agricultores fue una buena alternativa como fertilizante; de la misma manera, con base en este estudio se puede evidenciar que la aplicación de cachaza directamente al suelo puede influir negativamente en sus propiedades físicas, químicas y biológicas.

Por otra parte, durante el tiempo en que los fertilizantes químicos estaban fuera del alcance de los productores, la cachaza fue una fuente de nutrientes para el crecimiento de la caña de azúcar y como inoculante de leguminosas. Tanto la cachaza como otros materiales orgánicos afectan las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Debido a su naturaleza puede causar algunos problemas, ya que cuando es aplicada directamente al suelo como abono, presenta deterioración de las propiedades como permeabilidad, aireación, estructura y composición del suelo. Con el paso del tiempo dicho deterioro puede empeorar.

2.3. Cera de la caña de azúcar

La cera de caña de azúcar ha sido químicamente definida como una compleja y variable mezcla de largas cadenas de alcanos, hidrocarburos, ácidos grasos, cetonas, aldehídos, alcoholes, ésteres y esteroides, tales como B-sitoesterol, stigmaesterol, ketoesteroides e hidroxiketoesteroides. La composición de la cera se puede apreciar en la siguiente tabla.

Tabla II. **Composición de la cera de caña de azúcar**

Ácidos grasos	35,5 %
Ácidos volátiles	15 %
Ácidos grasos solubles	15 %
Ácidos no volátiles	70 %
Ácidos hidroxíácidos	22 %
Ácidos grasos normales	56 %
Materia no saponificable	60 %
Hidrocarburos	2,7 %
Alcoholes	72,1 %

Fuente: CABRERA, Eldaí. *Revalorización de los subproductos de la caña de azúcar*. p. 18.

Además, la caña lleva en su corteza una cierta cantidad de cera cuya mayor parte se encuentra en el anillo de cera, bajo el nudo. Algunas variedades (Ca 290, B 37,161, R 337, entre otros) la tienen en abundancia. La mayor parte de las ceras se funden entre 60 °C y 80 °C y más frecuentemente entre 65 °C y 75 °C. Las propiedades físicas de la cera de caña de azúcar se detallan en la siguiente tabla.

Tabla III. **Propiedades físicas de la cera de caña de azúcar**

Determinación	Caña de azúcar
Índice de acidez	12 - 22
Índice de saponificación	43 - 65
Índice de lodo	19 - 44
Densidad (100 °C)	0,982 - 0,993 g/cm ³
Punto de fusión	68 - 72 °C
% de materia insaponificable	65 - 75

Fuente: CABRERA, Eldaí. *Revalorización de los subproductos de la caña de azúcar*. p. 18.

La cera de caña de azúcar es un sustituto potencial a la costosa cera de carnauba, generalmente usada en cosméticos, comestibles y farmacéuticos.

2.4. Usos de la cera de caña de azúcar

Una manera de despertar el interés en este estudio es presentar los potenciales usos que puede tener la cera de caña de azúcar, mostrando de esta manera las diversas áreas en las que se podría desenvolver. Las ceras vegetales han venido siendo utilizadas desde hace mucho tiempo como compuestos de bajo valor comercial en productos no derivados del petróleo.

Tabla IV. **Usos de la cera de caña de azúcar**

Cera cruda de caña de azúcar	<ul style="list-style-type: none"> • En aplicación a metales para prevenir el ataque corrosivo (metales en general). • Emulsiones para tratamiento de pieles. • Lubricantes en fundición de aluminio. • Separador de moldes en confección de plásticos reforzados. • Tratamientos de artículos de cuero.
Cera refinada	<ul style="list-style-type: none"> • En fabricación de betunes • Emulsiones autolustrantes para recubrimiento de cítricos • Crayones labiales • Pegamento de fusión en caliente • Pulimento para tabletas y pisos • Emulsiones • Tintas para papel
En aceite	<ul style="list-style-type: none"> • En producción de plasticantes • Antiespumante para la industria fermentativa
Como sustituto	<ul style="list-style-type: none"> • De cera de carnauba y cera de abejas
Como cera procesada	<ul style="list-style-type: none"> • En la fabricación de compuestos farmacéuticos como policosanol.

Fuente, elaboración propia, con datos extraídos de: REVELO VARGAS, Danilo Andrés.

Extracción de la cera del bagazo de caña de azúcar (Saccharum officinarum) mediante tratamiento de explosión de vapor y tratamiento de combinación de solventes heptano/hexano/agua. p. 32.

2.5. Aceites y grasas

Son sustancias de origen vegetal o animal que consisten predominantemente en mezclas de ésteres de la glicerina con los ácidos grasos, es decir, triglicéridos. En general, el término grasa es utilizado para referirse a los materiales sólidos a temperatura ambiente, mientras que el término aceite se refiere a los líquidos a temperatura ambiente³.

³ DE LEÓN BARRIENTOS, Iván Eduardo. *Caracterización fisicoquímica y evaluación del rendimiento de aceite fijo de cacao criollo Theobroma cacao L.) a escala laboratorio utilizando los métodos de maceración estática y maceración dinámica con reflujo. p. 3.*

2.5.1. Ácidos grasos

Son sustancias orgánicas, mejor conocidas como ácidos carboxílicos de cadena larga, siendo los más comunes aquellos de número par de carbonos.

Si las moléculas de un ácido graso tienen insaturaciones en su estructura, se trata de un ácido graso insaturado; por otra parte, si la estructura lineal es completamente saturada, se dice que es un ácido graso saturado, siendo estos últimos los principales componentes de las grasas; mientras que los primeros componen los aceites. Las insaturaciones en una cadena de carbonos de un ácido graso intervienen en el estado físico de una sustancia; al aumentar el número de insaturaciones en las moléculas de ácido graso, disminuye el punto de fusión. Los ácidos grasos son moléculas bipolares, es decir, poseen una sección hidrófila (compatible con el agua) y otra hidrófoba (incompatible con el agua)⁴.

2.6. Métodos de extracción

La lixiviación consiste en hacer pasar un solvente por la materia prima vegetal. Para que este método sea efectivo, la extracción de aceites debe ser realizada con solventes orgánicos, ya que los aceites no son solubles en agua. Estos métodos pueden ser realizados por expresión en frío o bien, por lixiviación. Los métodos más comunes de extracción por lixiviación son: maceración estática, maceración dinámica, maceración estática con reflujo, maceración dinámica con reflujo y técnica Soxhlet⁵.

⁴ DE LEÓN BARRIENTOS, Iván Eduardo. *Caracterización fisicoquímica y evaluación del rendimiento de aceite fijo de cacao criollo (Theobroma cacao L.) a escala laboratorio utilizando los métodos de maceración estática y maceración dinámica con reflujo*. p. 11.

⁵ *Ibíd.*

2.6.1. Maceración estática

Consiste en colocar la materia prima en contacto con el solvente que se va a utilizar. Este método puede combinarse con la aplicación de calor para obtener un rendimiento más alto, o bien, reducir el tiempo de extracción de aceite. La ventaja es la sencillez en su metodología; pero entre sus desventajas se pueden mencionar los bajos rendimientos y mayores tiempos de extracción. Si se le aplica calor, se tendría la desventaja que la materia prima debe colocarse en un recipiente cerrado para evitar tanto la pérdida de solvente como de fracciones aromáticas características del aceite⁶.

2.6.2. Maceración dinámica

Consiste en colocar la materia prima en contacto con el solvente que se va a utilizar, al igual que el método anterior; con la diferencia de que en este se agita para homogeneizar la mezcla. Este método puede ser combinado con la aplicación de calor para obtener un rendimiento mayor o reducir el tiempo extractivo.

Sus ventajas son la sencillez de metodología y la homogeneización de la mezcla debido a la agitación, permitiendo de esta forma que el solvente alcance a cubrir mejor la materia prima. Como desventajas se pueden mencionar las mismas que para maceración estática, ya que no se obtienen rendimientos altos o bien, para la obtención de un mayor rendimiento se necesitaría de un tiempo extractivo mayor; también que, al aplicarse calor, no pueden utilizarse de buena forma los vapores del solvente, ya que, si el

⁶ DE LEÓN BARRIENTOS, Iván Eduardo. *Caracterización fisicoquímica y evaluación del rendimiento de aceite fijo de cacao criollo (Theobroma cacao L.) a escala laboratorio utilizando los métodos de maceración estática y maceración dinámica con reflujo*. p. 12.

recipiente es abierto, se perdería la mezcla gaseosa de vapor del solvente y fracciones volátiles, características del aceite⁷.

2.6.3. Maceración estática con reflujo

Es una mejora del método de maceración estática, ya que consiste en colocar un condensador en la parte superior del recipiente utilizado para la extracción. Para que este método se lleve a cabo de buena manera, es necesario aplicar calor a la mezcla, ayudando de esta forma a la extracción del aceite.

La presencia de un condensador en la parte superior previene que los vapores y los compuestos volátiles se escapen, porque al pasar por el condensador, la diferencia de temperaturas propicia que esta mezcla gaseosa ceda su calor latente formando un condensado, el cual, por gravedad, se deposita nuevamente en el recipiente extractivo. Como ventajas de este método se pueden mencionar mayores rendimientos extractivos, ya que se aplica calor a la mezcla; también la reutilización de los vapores que se escapan de la mezcla, previniendo de esta forma la pérdida de la calidad del aceite. Su desventaja es que se requiere de equipo más especializado, ya que es necesario utilizar una plancha de calentamiento y un condensador.⁸

2.6.4. Maceración dinámica con reflujo

El método extractivo es igual que el anterior, a diferencia que en este es necesario aplicar agitación a la mezcla de material vegetal con el solvente.

⁷ DE LEÓN BARRIENTOS, Iván Eduardo. *Caracterización fisicoquímica y evaluación del rendimiento de aceite fijo de cacao criollo (Theobroma cacao L.) a escala laboratorio utilizando los métodos de maceración estática y maceración dinámica con reflujo.* p. 12.

⁸ *Ibíd.* p. 13.

Entre sus ventajas se puede mencionar la obtención de rendimientos más altos, ya que es necesario aplicar calor a la mezcla. La aplicación de agitación propicia también mayores rendimientos extractivos o bien reducir el tiempo extractivo. Al igual que en el método anterior, la reutilización de la mezcla gaseosa, gracias al condensador superior, ayuda a prevenir la pérdida de sustancias volátiles propias del aceite⁹.

2.6.5. Técnica Soxhlet

Método extractivo más eficiente y conocido; consiste en agotar el material vegetal utilizado; se coloca la materia prima en un dedal de celulosa, el cual será introducido al equipo especial necesario para la extracción. Es utilizado, principalmente, para determinar el tiempo óptimo de extracción, es decir, el tiempo necesario para obtener el máximo rendimiento posible de la materia prima. En este método, la materia prima al principio no se encuentra en contacto con el solvente, ya que está en un recipiente inferior. Es necesario aplicar calor para que el solvente alcance su temperatura de ebullición, y de esta forma arrije al compartimiento de materia prima. Al pasar los vapores de solvente por la materia prima, estos arrastran el aceite, el cual se mezcla con el solvente en el recipiente inferior¹⁰.

2.7. Caracterización de los aceites y grasas

“Para tener una mejor clasificación de aceites y grasas, es necesario realizar unas pruebas de caracterización a las muestras, entre las cuales se

⁹ DE LEÓN BARRIENTOS, Iván Eduardo. *Caracterización fisicoquímica y evaluación del rendimiento de aceite fijo de cacao criollo (Theobroma cacao L.) a escala laboratorio utilizando los métodos de maceración estática y maceración dinámica con reflujo*. p. 14.

¹⁰ *Ibíd.* p. 8.

pueden mencionar la determinación del índice de yodo y el cálculo del índice de saponificación”.¹¹

2.7.1. Índice de acidez

“Este índice mide la cantidad de ácidos grasos libres presentes en la muestra de aceite. Se define como la cantidad en miligramos de hidróxido de potasio necesario para neutralizar un gramo de aceite”.¹²

2.7.2. Índice de saponificación

“Este índice mide la cantidad necesaria para saponificar un gramo de la muestra de aceite. Hace referencia a los miligramos de hidróxido de potasio necesarios para saponificar el aceite, basándose en la reacción de saponificación”.¹³

2.7.3. Índice de yodo

Este índice mide el grado de insaturación de los ácidos grasos en forma cuantitativa. Hace referencia a los gramos de yodo absorbidos por 100 gramos de la muestra de aceite. El índice de yodo es directamente proporcional al grado de insaturación; es decir, si un ácido cuenta entre sus componentes con una gran cantidad de ácidos grasos insaturados, el índice de yodo será elevado.¹⁴

¹¹ DE LEÓN BARRIENTOS, Iván Eduardo. *Caracterización fisicoquímica y evaluación del rendimiento de aceite fijo de cacao criollo (Theobroma cacao L.) a escala laboratorio utilizando los métodos de maceración estática y maceración dinámica con reflujo*. p. 9.

¹² *Ibíd.* p. 8.

¹³ *Ibíd.* p. 9.

¹⁴ *Ibíd.* p. 9.

2.8. Cromatografía

Es un método físico de separación para la caracterización de mezclas complejas, la cual tiene aplicación en todas las ramas de la ciencia. Es un conjunto de técnicas basadas en el principio de retención selectiva, cuyo objetivo es separar los distintos componentes de una mezcla, permitiendo identificar y determinar las cantidades de dichos componentes.

Diferencias sutiles en el coeficiente de partición de los compuestos dan como resultado una retención diferencial sobre la fase estacionaria y, por tanto, una separación efectiva en función de los tiempos de retención de cada componente de la mezcla. La cromatografía puede cumplir dos funciones básicas que no se excluyen mutuamente:

- Separar los componentes de la mezcla, para obtenerlos más puros y que puedan ser usados posteriormente (etapa final de muchas síntesis).
- Medir la proporción de los componentes de la mezcla (finalidad analítica). En este caso, las cantidades de material empleadas suelen ser muy pequeñas.

2.8.1. Clasificación de los métodos de separación en cromatografía

Las distintas técnicas cromatográficas se pueden dividir según como esté dispuesta la fase estacionaria:

- Cromatografía plana: la fase estacionaria se sitúa sobre una placa plana o sobre un papel. las principales técnicas son:

- Cromatografía en papel
- Cromatografía en capa fina
- Cromatografía en columna: la fase estacionaria se sitúa dentro de una columna. Según el fluido empleado como fase móvil se distinguen:
 - Cromatografía de líquidos
 - Cromatografía de gases
 - Cromatografía de fluidos supercríticos

2.8.2. Cromatografía gaseosa

Un sistema de cromatografía de gas acoplado a espectrometría de masas consta de un gas de arrastre, un puerto de inyección de la muestra, una columna, el horno que contiene a la columna, y un sistema espectrométrico de masas (fuente de ionización, analizador de masas y un detector).

La muestra se volatiliza en el puerto de inyección y se inyecta con exactitud y precisión en la cabeza de la columna cromatográfica. La elusión se produce por el flujo de una fase móvil del gas inerte, el cual no interacciona con las moléculas del analito; su única función es de transportarlo a través de la columna. La columna, por su parte, es el corazón de la cromatografía de gas. Posee una fase estacionaria en la cual se produce la retención de los analitos a diferentes proporciones como consecuencia de la adsorción física, produciendo luego la separación.

La elección de la fase estacionaria de la columna depende de la naturaleza de los componentes de la muestra al ser separados.

2.8.3. Cromatografía gas-líquido (GLC)

En la cromatografía gas-líquido se prepara una columna que contiene un soporte inerte (tubo largo) recubierto con una fase líquida estacionaria. La fase en movimiento es un gas inerte, normalmente helio, aunque a veces se usa el argón y el nitrógeno. La mezcla de la muestra se introduce en la corriente de gas y, por lo tanto, dentro de la columna. El inyector, la columna y los detectores normalmente se calientan.

El proceso de migración diferencial está gobernado por la partición del soluto entre la fase gaseosa en movimiento y la fase líquida estacionaria. Por lo tanto, la velocidad de transporte para un soluto a través de una columna depende de la velocidad del flujo del gas transportador, de la temperatura y de la fase líquida estacionaria. Hay un gran número de choques entre la fase en movimiento y la fase estacionaria para cada molécula de soluto, con el resultado de que aún los compuestos que son casi idénticos pueden ser separados.

La fase móvil debe tener bajo costo, ser compatible con el detector y tener alta pureza. Para dar mayor reproducibilidad al análisis, la saturación del gas debe ser constante y controlada a través de válvulas de gas. La inyección se realiza generalmente con microjeringas que contienen la muestra.

2.8.4. Cromatografía gaseosa con acoplamiento a espectrometría de masas (CG-EM)

La cromatografía de gases (GC) se emplea cuando los componentes de la mezcla problema son volátiles o semivolátiles y térmicamente estables a temperaturas de hasta 350-400 °C. A menudo, la cromatografía de gases se

emplea para confirmar la presencia o ausencia de un compuesto en una muestra determinada. Por otra parte, la espectrometría de masas (MS) puede identificar de manera casi inequívoca cualquier sustancia pura, pero normalmente no es capaz de identificar los componentes individuales de una mezcla sin separar previamente sus componentes.

2.8.5. Cromatografía gaseosa con detector de ionización de llama (FID)

La cromatografía de gases con detector de ionización de llama o GC-FID es una técnica analítica muy común, cuyo uso está muy extendido en los mercados petroquímicos, farmacéuticos y de gas natural. Un detector de ionización de llama suele utilizar una llama de aire o hidrógeno por la cual se pasa la muestra para oxidar las moléculas orgánicas y producir partículas con carga eléctrica.

Como es habitual también en otras técnicas de cromatografía de gases se necesita un gas portador con pocas impurezas de agua y oxígeno, ya que el agua y el oxígeno pueden interactuar con la fase estacionaria y provocar problemas significativos, como un elevado ruido de línea base y purga de la columna en el cromatograma de gases de salida, lo que reduciría la sensibilidad del analizador y la vida útil de la columna. El detector de ionización de llama es además extremadamente sensible a las impurezas de hidrocarburo del suministro de hidrógeno y aire de la llama. Estas impurezas pueden aumentar el ruido de línea base y reducir la sensibilidad del detector.

3. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Variables

Previo a realizar el estudio se definieron las variables independientes y dependientes. Las variables que tienen efecto sobre los resultados finales del tema de estudio fueron las siguientes:

3.1.1. Variables independientes

Son aquellas variables que pueden cambiar libremente su valor y se conocen al inicio del experimento.

Tabla V. Variables independientes

Núm.	Variables	Unidad de medida	Descripción
1	Ingenios de los que procede la materia prima	No aplica	Cuatro ingenios
2	Método de extracción	No aplica	Lixiviación sólido-líquido con maceración dinámica en relación 1:5 y técnica Soxhlet.

Fuente: elaboración propia.

3.1.2. Variables dependientes

Son aquellas variables cuyo valor depende del valor numérico que adopta la variable independiente durante el experimento.

Tabla VI. Variables dependientes

No	Variables	Unidad de medida
1	Índice de acidez	Adimensional
2	Índice de saponificación	Adimensional
3	Índice de yodo	Adimensional
4	Porcentaje de rendimiento	%
5	Punto de ebullición	°C
6	Perfil de ácidos grasos	Adimensional

Fuente: elaboración propia.

3.2. Delimitación de campo de estudio

El trabajo de investigación se limitó a realizar el estudio a escala laboratorio. Se aplicó el método de extracción Soxhlet para la obtención de cera de la cachaza de azúcar de cuatro ingenios azucareros; se realizó la caracterización fisicoquímica índice de acidez, índice de saponificación e índice de yodo y el perfil de ácidos grasos mediante cromatografía gaseosa y detector de llama de ionización (FID).

3.2.1. Obtención de la materia prima

La materia prima fue obtenida de cuatro ingenios azucareros: Madre Tierra, La Unión, Pantaleón y Magdalena; el medio de recolección fue a través del Centro Guatemalteco y Capacitación de la Caña de Azúcar de Guatemala (*CENGICANÑA*) durante la zafra de mayo de 2019.

3.2.2. Obtención de la fracción acuosa extractable de la cera a partir de la cachaza

La extracción de cera a partir de la cachaza se realizó por los métodos de lixiviación sólido-líquido con maceración dinámica en relación 1:5 y técnica Soxhlet; el tiempo óptimo extractivo se evaluó por medio del equipo Soxhlet, utilizando etanol como extractor solvente.

Dicho procedimiento se ha realizado en el Laboratorio de Extractos Vegetales, sección de Química Industrial, Centro de Investigaciones de Ingeniería, de la Universidad de San Carlos, Ciudad Universitaria zona 12.

3.2.3. Análisis fisicoquímico de la extracción de la cera a partir de la cachaza

Los análisis de índice de acidez, índice de saponificación e índice de yodo, se realizaron en la Unidad de Análisis Instrumental, Escuela de Química, Universidad de San Carlos de Guatemala, Edificio T-13, Ciudad Universitaria, zona 12.

3.2.4. Análisis cuantitativo de los perfiles de ácidos grasos

La cromatografía gaseosa con detector de ionización de llama (FID) fue realizado en el laboratorio INLASA, Guatemala, zona 12. Dicho análisis de la extracción de cera de caña de azúcar se ha realizado por el método más eficiente seleccionado: la técnica Soxhlet.

3.3. Recursos humanos disponibles

El recurso humano necesario para llevar a cabo este proyecto de investigación estuvo integrado por:

- Investigadora: Br. Yohana López Rosales
 - Profesión: estudiante de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala.
 - Asesora: Inga. Qca. Telma Maricela Cano Morales.
 - Colegiado: 433.
 - Profesión: Ingeniera Química. Profesora titular X, Escuela de Ingeniería Química, USAC. Directora del Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería, USAC.
 - Asesor: Ing. Qco. Mario José Mérida Meré
 - Colegiado: 1411.
 - Profesión: Ingeniero Químico. Profesor titular I, Escuela de Ingeniería Química, USAC. Jefe del Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales LIEXVE, Sección

Química Industrial, Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería, USAC.

3.4. Recursos materiales disponibles

A continuación, se describen todos los materiales utilizados para la elaboración de la fase experimental.

3.4.1. Materia prima y reactivos

En la tabla siguiente se describen los reactivos y materia prima utilizados en cada procedimiento.

Tabla VII. **Materia prima y reactivos**

Materia prima	Reactivos
Cachaza	Agua desmineralizada
	Etanol

Fuente: elaboración propia.

3.4.2. Cristalería

A continuación, se describe la cristalería utilizada en cada procedimiento.

Tabla VIII. **Cristalería**

Descripción	Volumen
Balón de aforo	1 000 ml
Balón de aforo	1 000 ml
<i>Beackers</i>	250 mL, 1 000 mL
Probeta de	100 mL
<i>Earlenmeyers</i>	100 mL
Embudo de vidrio	
Vidrio reloj	
Agitador	
Dedales Soxhlet	
Pipetas	

Fuente: elaboración propia.

3.4.3. **Accesorios**

Los accesorios que se utilizaron para el proceso de extracción de cera fueron:

Tabla IX. **Accesorios**

Agitadores magnéticos
Mangueras de plástico
Viales color ámbar
Dedales de celulosa
Algodón

Fuente: elaboración propia.

3.4.4. **Equipo**

A continuación, se enumera y describe el equipo que se utilizó para cada procedimiento.

Tabla X. **Equipo**

Centrifugador al vacío
Plancha de calentamiento
Molino
Horno de desecación
Balanza analítica
Campana de extracción
Rotaevaporador

Fuente: elaboración propia.

3.4.5. Complementos

Los complementos que se utilizaron para el proceso de extracción de cera fueron:

Tabla XI. **Complementos**

Papel mayordomo
<i>Masking tape</i>
Papel filtro Whatmann
Cuaderno de apuntes

Fuente: elaboración propia.

3.4.6. Recursos adicionales

Los recursos adicionales que se utilizaron para el proceso de extracción de cera se describen a continuación:

Tabla XII. **Recursos adicionales**

Jabón para manos y cristalería
Electricidad
Agua potable
Computadora
Calculadora
Cargador
Lápices, lapiceros, borrador

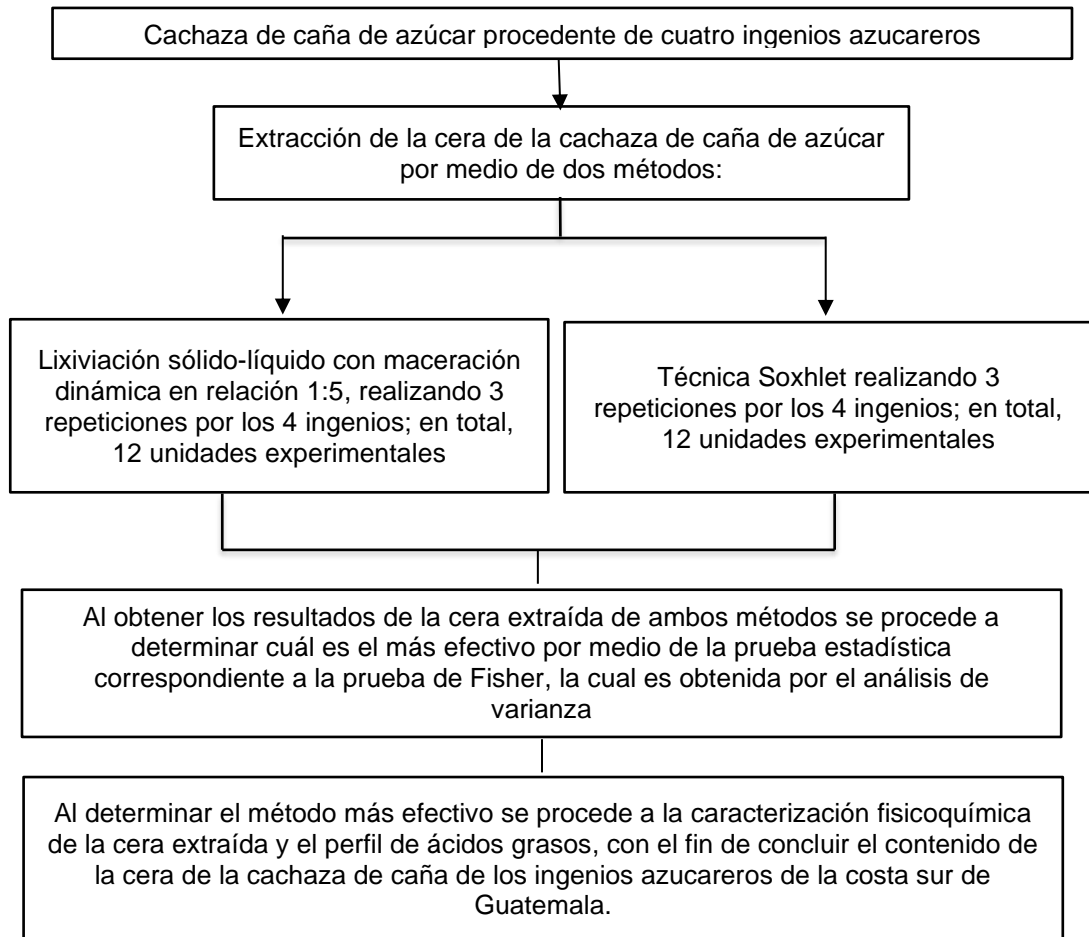
Fuente: elaboración propia.

3.5. Técnica cualitativa o cuantitativa

La técnica del estudio de investigación es cuantitativa y analítica, la misma permite examinar los datos de forma numérica y establecer relaciones entre las variables para probar o negar la hipótesis planteada.

El estudio de investigación consiste en aplicar técnicas cuantitativas para realizar la caracterización fisicoquímica de la cera a partir de la cachaza, determinar sus propiedades, el porcentaje de rendimiento por métodos distintos y perfil de ácido graso.

Figura 6. **Diseño experimental**



Fuente: elaboración propia.

3.5.1. **Extracción de la cera a partir de la cachaza de caña de azúcar, utilizando la técnica extracción Soxhlet**

- Llevar la materia prima a una humedad por debajo del 10 %
- Armar la unidad Soxhlet
- Colocar 50 g de materia prima dentro del dedal de celulosa
- Adicionar 500 mL de etanol como solvente extractor al balón

- Encender la plancha de calentamiento, hasta ebullición del solvente
- Dejar el proceso extractivo en el tiempo óptimo de rendimiento
- Rotaevaporar el extracto
- Depositar el extracto en un vial debidamente identificado y tarado

Determinación del rendimiento de la extracción a escala laboratorio.

- Anotar el peso inicial de la materia prima.
- Pesar el vial la extracción.
- Determinar el rendimiento dividiendo la masa del extracto obtenido entre la masa de la materia prima inicial.

Ecuación para determinar el rendimiento:

$$\%R = \left(\frac{m_f}{m_{mp}} \right) * 100 \%$$

- %R = porcentaje de rendimiento (adimensional)
- m_f = masa de absoluto. (g)
- m_{mp} = masa de la materia prima (g)

3.5.2. Extracción de la cera a partir de la cachaza de caña de azúcar, utilizando la técnica de lixiviación sólido-líquido con maceración dinámica a escala laboratorio

- Reducir el tamaño de la materia prima.
- Llevar la materia prima a una humedad por debajo del 10 % mediante el secado del producto.

- Colocar 50 g de materia prima en el sistema en los métodos de extracción y agregar etanol en el balón en una relación 1:5 m/v en un *beacker* de 500 ml y activar el sistema de extracción.
- Dejar por el tiempo observado de la técnica Soxhlet la materia prima con el solvente extractor etanol, utilizando agitación para homogeneizar la mezcla.
- Rotaevaporar la mezcla de solvente-fracción lipídica para concentrar.
- Utilizar filtrado al vacío para separar la mezcla de solvente y la fracción de la materia prima.
- Depositar el extracto en un vial debidamente identificado y tarado.

Determinación del rendimiento de la extracción a escala laboratorio:

- Anotar el peso inicial de la materia prima
- Tarar un vial ámbar
- Pesar el vial la extracción
- Determinar el rendimiento dividiendo la masa del extracto obtenido con la masa de la materia prima inicial.

Ecuación para determinar el rendimiento:

$$\%R = \left(\frac{m_f}{m_{mp}} \right) * 100 \% \quad \text{Ecuación 1}$$

- %R = porcentaje de rendimiento (adimensional)
- m_f = masa de absoluto (g)
- m_{mp} = masa de la materia prima (g)

3.5.3. Índice de acidez basado en el método oficial AOCS Ca 5a – 40

- El número ácido caracteriza la presencia de ácidos grasos libres en la grasa.
- El número ácido se expresa en cantidad de miligramos de hidróxido potásico necesarios para neutralizar los ácidos grasos libres en 1 g de grasa.
- Este índice es uno de los indicadores más importantes de la calidad de la grasa.

$$\% \text{ ácidos grasos} = \frac{\text{mL base} * N * 25,6}{pm} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

mL base = mL de NaOH gastados en la titulación

N = normalidad del NaOH

pm = peso de la muestra

3.5.4. Índice de yodo basado en el método oficial AOCS Cd 1-25

Se denomina índice de yodo a la cantidad de gramos de yodo que pueden combinarse con 100 g de grasa. Este número permitió evaluar el grado de no saturación de la grasa provocado por la presencia de glicéridos con ácidos grasos de dobles enlaces, la capacidad de la grasa para la oxidación y reducción, y otras reacciones.

Cuanto mayor es el contenido de ácidos grasos no saturados en la grasa, tanto mayor es su índice de yodo.

$$\text{Índice de yodo} = \frac{(B-S)*N*12,69}{pm} \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

B = gasto de titulación del blanco (mL)

S = gasto de titulación de la muestra

N = normalidad de la solución de tiosulfato de sodio

pm = peso de la muestra

3.5.5. Índice de saponificación basado en el método oficial AOCS Cd3-25

El número de saponificación se refiere al número de miligramos de hidróxido potásico que se necesita para neutralizar todos los ácidos grasos (libres y ligados en forma de glicéridos) contenidos en 1 g de grasa.

$$SAP = \frac{56,1*N(HCL)*(Titulación\ en\ blanco\ mL - Titulación\ muestra\ mL)}{pm} \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde:

SAP = mg de KOH requeridos para saponificar

N(HCl) = normalidad del HCl

pm = peso de la muestra

3.5.6. Cromatografía gaseosa con detector de ionización de llama (FID)

- Inyectar dentro del espectrómetro 0,2 uL de absoluto diluido en 1 mL de etanol.
- Comparar el peso molecular de las especies en el extracto.
- Asignar un área porcentual a cada pico del cromatograma que representa un tiempo de retención.
- Identificar y nombrar cada componente del absoluto, según la librería del programa que contiene el cromatógrafo.

3.6. Recolección y ordenamiento de la información

Una vez definidas las variables del estudio de investigación, tanto dependientes como independientes, se procedió a realizar la parte experimental del proyecto, así como la recolección y ordenamiento de la información.

Para el análisis de la extracción de la cera a partir de la cachaza de caña se utilizaron dos métodos de extracción: maceración dinámica sólido-líquido relación 1:5 y técnica Soxhlet, en los que se determinó su porcentaje de rendimiento, con el objetivo de identificar cuál fue el más eficiente por medio de una comparación de porcentajes de rendimiento, procediendo a determinar las propiedades de la cachaza para posteriormente caracterizar fisicoquímicamente con el extracto de cera del método más adecuado. Se analizaron estos procesos para los cuatro ingenios azucareros, en los que se efectuaron 3 corridas por cada método, para dar un total de 24 unidades experimentales, y así determinar los rendimientos.

Las siguientes tablas incluyen los valores experimentales medidos en el Laboratorio de Extractos Vegetales (LIEXVE) Sección Química Industrial, del Centro de Investigación de Ingeniería, de la Universidad de San Carlos de Guatemala y posibles datos de otros centros de investigaciones.

Tabla XIII. Porcentajes de rendimiento obtenidos de la extracción de cera de cachaza de caña de azúcar por medio del método lixiviación sólido-líquido con maceración dinámica en relación 1:5 a escala laboratorio, utilizando etanol como solvente extractor

Tara pera %	Método	Ingenios azucareros	Peso inicial	Peso final	Rendimiento %	Promedio rendimiento
68,03	Maceración dinámica	Madre Tierra	50	2,5213	5,04	5,01
68,03		Madre Tierra	50	2,5912	5,18	
68,03		Madre Tierra	50	2,4004	4,8	
68,03	Maceración dinámica	La Unión	50	1,6763	3,35	3,40
68,03		La Unión	50	1,6793	3,36	
68,03		La Unión	50	1,7516	3,50	
68,03	Maceración dinámica	Pantaleón	50	0,7768	1,55	1,52
68,03		Pantaleón	50	0,7814	1,56	
68,03		Pantaleón	50	0,7165	1,43	
68,03	Maceración dinámica	Magdalena	50	0,4469	0,89	0,90
68,03		Magdalena	50	0,4526	0,91	
68,03		Magdalena	50	0,4503	0,90	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIV. **Porcentajes de rendimiento obtenidos de la extracción de cera de cachaza de caña de azúcar por medio del método técnica Soxhlet a escala laboratorio, utilizando etanol como solvente extractor**

Tara pera %	Método	Ingenios azucareros	Peso inicial	Peso final	Rendimiento %	Promedio de rendimiento
68,0309	Soxhlet	Madre Tierra	16,2014	3,1237	19,28	14,80
68,0309		Madre Tierra	15,1	1,9745	13,08	
68,0309		Madre Tierra	17,831	2,1456	12,03	
68,0309	Soxhlet	La Unión	11,6263	1,6956	14,58	12,00
68,0309		La Unión	11,6288	1,6581	14,26	
68,0309		La Unión	11,627	0,8315	7,15	
68,0309	Soxhlet	Pantaleón	24,4717	3,4011	13,90	9,60
68,0309		Pantaleón	20,087	1,8871	9,39	
68,0309		Pantaleón	20,8607	1,1481	5,50	
68,0309	Soxhlet	Magdalena	19,9495	0,957	4,80	5,29
68,0309		Magdalena	20,0591	1,3188	6,57	
68,0309		Magdalena	20,6187	0,9299	4,51	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XV. **Índices de acidez, de saponificación e índices de yodo de la cera obtenida de la cachaza de caña de azúcar para el método de extracción Soxhlet**

Muestra de la cera extraída de la cachaza de caña de los ingenios azucareros	Índice de acidez (adimensional)	Índice de saponificación (adimensional)	Índice de yodo (adimensional)
Madre Tierra	36 mg de KOH/g de muestra	98 mg de KOH/g de muestra	28 mg de I/100 g de muestra
Ingenio la Unión	34 mg de KOH/g de muestra	90 mg de KOH/g de muestra	26 mg de I/100 g de muestra
Ingenio Pantaleón	32 mg de KOH/g de muestra	97 mg de KOH/g de muestra	29 mg de I/100 g de muestra
Ingenio Magdalena	32,7 mg de KOH/g de muestra	95 mg de KOH/g de muestra	28 mg de I/100 g de muestra

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVI. **Porcentaje de resinas para el método Soxhlet**

Muestras de cera extraídas de la cachaza de caña de los siguientes ingenios azucareros	% de resinas
Madre Tierra	14,80
Ingenio La Unión	12,00
Ingenio Pantaleón	9,60
Ingenio Magdalena	5,29

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVII. **Valores de perfil de ácidos grasos por FID de la cera obtenida de la cachaza por el método Soxhlet del ingenio azucarero Madre Tierra**

Perfil de ácido graso	Resultado	U/medida	LD	Metodología
C04:0 (Ac. butírico)	ND	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C06:0 (Ac. caproico)	ND	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C08:0 (Ac. caprílico)	0,22	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C10:0 (Ac. cáprico)	0,51	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C11:0 (Ac. undecanoico)	ND	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C12:0 (Ac. láurico)	1,16	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C13:0 (Ac. tridecanoico)	ND	%	0,01	AOAC 969,33 996
C14:0 (Ac. mirístico)	1,98	%	0,01	< AOAC 969,33 996,06
C14:1 cis (Ac. miristoleico)	ND	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C15:0 (Ac. pentadecanoico)	0,85	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C15:1 (Ac. pentadecanoico)	ND	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C16:0 (Ac. palmítico)	25,9	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C16:1 cis (Ac. palmitoleico)	0,57	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C16:1 trans (Palmitoleidato)	0,52	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C17:0 (Ac. margárico)	0,41	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C17:1 (Ac. heptadecanoico)	0,45	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C18:0 (Ac. esteárico)	3,1	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C18:1 cis (Ac. oleico)	10,65	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C18:1 trans (Elaidato)	0,14	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C18:1n7 (Ac. vaccénico)	0,76	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C18:2 trans (Linoleidato)	0,62	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C18:2W6 cis (Ac. linoleico)	34,73	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C18:3W3 (Ac. linolénico)	6,94	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C18:3W6 (Ac. gamma linolénico)	ND	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C20:0 (Ac. araquídico)	1,11	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C20:1 cis (Ac. eicosanoico)	0,52	%	0,01	AOAC 969,33 996,06

Continuación de la tabla XVI.

C20:2W6 (Ac. eicosadienoico)	ND	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C20:3W3 8,14,17 (Ac. eicosatrienoico)	ND	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C20:3W6 11,14,17 (Ac. eicosatrienoico)	ND	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C20:4n6 (Ac. araquidónico)	ND	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C20:5n3 Eicosapentanoico (EPA)	ND	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C21:0 (Ac. heneicosanoico)	ND	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C22:0 (Ac. behénico)	0,41	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C22:1 (Ac. erúcico)	ND	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C22:5n3 Ácido docosapentaenoico	ND	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C22:5n6 (Ácido docosapentanoico)	ND	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C22:6n3 Docosahexanoico (DHA)	ND	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C23:0 (Ac.tricosanoico)	0,53	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C24:0 (Ac. lignocérico)	0,63	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C24:1 (Ac. tetracosanoico)	ND	%	0,01	AOAC 969,33 996,06

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVIII. **Valores de perfil de ácidos grasos por FID de la cera obtenida de la cachaza por el método Soxhlet del Ingenio azucarero La Unión**

Perfil de ácido graso	Resultado	Unidad de medida	LD	Metodología
C04:0 (Ac. butírico)	ND	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C06:0 (Ac. caproico)	ND	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C08:0 (Ac. caprílico)	0,37	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C10:0 (Ac. cáprico)	0,48	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C11:0 (Ac. undecanoico)	ND	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C12:0 (Ac. láurico)	2,41	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C13:0 (Ac. tridecanoico)	ND	%	0,01	AOAC 969,33 996
C14:0 (Ac. mirístico)	2,01	%	0,01	< AOAC 969,33 996,06
C14:1 cis (Ac. miristoleico)	ND	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C15:0 (Ac. pentadecanoico)	0,84	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C15:1 (Ac. pentadecanoico)	ND	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C16:0 (Ac. palmítico)	31,02	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C16:1 cis (Ac. palmitoleico)	0,92	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C16:1 trans (Palmitoleidato)	ND	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C17:0 (Ac. margárico)	0,88	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C17:1 (Ac. heptadecanoico)	0,97	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C18:0 (Ac. esteárico)	4,36	%	0,01	AOAC 969,33 996,06

Continuación de la tabla XVIII.

C18:1 cis (Ac. oleico)	9,31	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C18:1 trans (Elaidato)	ND	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C18:1n7 (Ac. vaccénico)	0,72	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C18:2 trans (Linoleidato)	0,83	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C18:2W6 cis (Ac. linoleico)	22,66	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C18:3W3 (Ac. linolénico)	3,22	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C18:3W6 (Ac. gamma linolénico)	ND	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C20:0 (Ac. araquídico)	1,54	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C20:1 cis (Ac. eicosanoico)	ND	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C20:2W6 (Ac. eicosadienoico)	ND	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C20:3W3 8,14,17 (Ac. eicosatrienoico)	ND	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C20:3W6 11,14,17 (Ac. eicosatrienoico)	ND	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C20:4n6 (Ac. araquidónico)	ND	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C20:5n3 Eicosapentanoico (EPA)	ND	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C21:0 (Ac. heneicosanoico)	ND	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C22:0 (Ac. behenico)	0,61	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C22:1 (Ac. erúcico)	ND	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C22:5n3 Acido docosapentaenoico	ND	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C22:5n6 (Ácido docosapentanoico)	ND	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C22:6n3 Docosahexanoico (DHA)	ND	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C23:0 (Ac.tricosanoico)	0,53	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C24:0 (Ac. lignocérico)	1,3	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C24:1 (Ac. tetracosanoico)	ND	%	0,01	AOAC 969,33 996,06

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIX. **Valores de perfil de ácidos grasos por FID de la cera obtenida de la cachaza por el método Soxhlet del Ingenio azucarero Pantaleón**

Perfil de ácido graso	Resultado	U/medida	LD	Metodología
C04:0 (Ac. butírico)	ND	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C06:0 (Ac. caproico)	ND	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C08:0 (Ac. caprílico)	ND	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C10:0 (Ac. cáprico)	ND	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C11:0 (Ac. undecanoico)	ND	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C12:0 (Ac. láurico)	0,97	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C13:0 (Ac. tridecanoico)	ND	%	0,01	AOAC 969,33 996
C14:0 (Ac. mirístico)	1,48	%	0,01	< AOAC 969,33 996,06
C14:1 cis (Ac. miristoleico)	ND	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C15:0 (Ac. pentadecanoico)	0,7	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C15:1 (Ac. pentadecanoico)	ND	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C16:0 (Ac. palmítico)	32,81	%	0,01	AOAC 969,33 996,06

Continuación de la tabla XIX.

C16:1 cis (Ac. palmitoleico)	4,11	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C16:1 trans (Palmitoleidato)	ND	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C17:0 (Ac. margárico)	2,7	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C17:1 (Ac. heptadecanoico)	ND	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C18:0 (Ac. esteárico)	6,36	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C18:1 cis (Ac. oleico)	7,84	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C18:1 trans (Elaidato)	ND	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C18:1n7 (Ac. vaccénico)	ND	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C18:2 trans (Linoleidato)	2,16	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C18:2W6 cis (Ac. linoleico)	19,85	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C18:3W3 (Ac. linolénico)	1,85	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C18:3W6 (Ac. gamma linolénico)	ND	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C20:0 (Ac. araquídico)	2,8	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C20:1 cis (Ac. eicosanoico)	1,27	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C20:2W6 (Ac. eicosadienoico)	ND	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C20:3W3 8,14,17 (Ac. eicosatrienoico)	ND	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C20:3W6 11,14,17 (Ac. eicosatrienoico)	ND	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C20:4n6 (Ac. araquidónico)	ND	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C20:5n3 Eicosapentanoico (EPA)	ND	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C21:0 (Ac. heneicosanoico)	2,53	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C22:0 (Ac. behénico)	1,47	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C22:1 (Ac. erúcico)	ND	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C22:5n3 Ácido docosapentaenoico	ND	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C22:5n6 (Ácido docosapentanoico)	ND	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C22:6n3 Docosahexanoico (DHA)	ND	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C23:0 (Ac.tricosanoico)	ND	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C24:0 (Ac. lignocérico)	ND	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C24:1 (Ac. tetracosanoico)	ND	%	0,01	AOAC 969,33 996,06

Fuente: elaboración propia.

Tabla XX. **Valores de perfil de ácidos grasos por FID de la cera obtenida de la cachaza por el método Soxhlet del ingenio azucarero Magdalena**

Perfil de ácido graso	Resultado	U/medida	Ld	Metodología
C04:0 (Ac. butírico)	ND	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C06:0 (Ac. caproico)	ND	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C08:0 (Ac. caprílico)	ND	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C10:0 (Ac. cáprico)	0,45	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C11:0 (Ac. undecanoico)	ND	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C12:0 (Ac. láurico)	1,5	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C13:0 (Ac. tridecanoico)	ND	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C14:0 (Ac. mirístico)	1,51	%	0,01	< AOAC 969,33 996,06
C14:1 cis (Ac. miristoleico)	0,69	%	0,01	AOAC 969,33 996,06

Continuación de la tabla XX.

C15:0 (Ac. pentadecanoico)	0,96	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C15:1 (Ac. pentadecanoico)	0,64	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C16:0 (Ac. palmítico)	19,71	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C16:1 cis (Ac. palmitoleico)	1,67	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C16:1 trans (Palmitoleidato)	0,89	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C17:0 (Ac. margárico)	0,91	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C17:1 (Ac. heptadecanoico)	ND	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C18:0 (Ac. esteárico)	4,99	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C18:1 cis (Ac. oleico)	8,29	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C18:1 trans (Elaidato)	2,22	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C18:1n7 (Ac. vaccénico)	ND	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C18:2 trans (Linoleidato)	4,01	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C18:2W6 cis (Ac. linoleico)	13,73	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C18:3W3 (Ac. linolénico)	1,7	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C18:3W6 (Ac. gamma linolénico)	ND	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C20:0 (Ac. araquídico)	3,75	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C20:1 cis (Ac. eicosanoico)	ND	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C20:2W6 (Ac. eicosadienoico)	ND	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C20:3W3 8,14,17 (Ac. eicosatrienoico)	ND	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C20:3W6 11,14,17 (Ac. eicosatrienoico)	ND	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C20:4n6 (Ac. araquidónico)	ND	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C20:5n3 Eicosapentanoico (EPA)	ND	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C21:0 (Ac. heneicosanoico)	ND	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C22:0 (Ac. behenico)	1,6	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C22:1 (Ac. erúxico)	ND	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C22:5n3 Ácido docosapentaenoico	ND	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C22:5n6 (Ácido docosapentanoico)	ND	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C22:6n3 Docosahexanoico (DHA)	ND	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C23:0 (Ac.tricosanoico)	ND	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C24:0 (Ac. lignocérico)	4,23	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
C24:1 (Ac. tetracosanoico)	ND	%	0,01	AOAC 969,33 996,06

Fuente: elaboración propia.

3.7. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

En función de la recolección y ordenamiento de los resultados obtenidos en la parte experimental, se procedió a tabular y procesar la información, con el fin de ordenar los datos e interpretar los valores.

Tabla XXI. **Porcentajes de rendimiento obtenidos de la extracción de cera de cachaza de caña de azúcar por medio del método lixiviación sólido-líquido con maceración dinámica en relación 1:5 a escala laboratorio, utilizando etanol como solvente extractor**

Método	Ingenios azucareros	Rendimiento %	Media	Desviación estándar %
Maceración dinámica	Madre Tierra	5,04	5,01	0,19
	Madre Tierra	5,18		
	Madre Tierra	4,80		
Maceración dinámica	La Unión	3,35	3,40	0,09
	La Unión	3,36		
	La Unión	3,50		
Maceración dinámica	Pantaleón	1,55	1,52	0,07
	Pantaleón	1,56		
	Pantaleón	1,43		
Maceración dinámica	Magdalena	0,89	0,90	0,01
	Magdalena	0,91		
	Magdalena	0,90		

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXII. **Porcentajes de rendimiento obtenidos de la extracción de cera de cachaza de caña de azúcar por medio del método técnica Soxhlet a escala laboratorio, utilizando etanol como solvente extractor**

Método	Ingenios azucareros	Rendimiento %	Media	Desviación estándar %
Soxhlet	Madre Tierra	15,55	15,10	0,43
	Madre Tierra	14,68		
	Madre Tierra	15,06		
Soxhlet	La Unión	12,86	13,14	0,26
	La Unión	13,38		

Continuación de la tabla XXII.

	La Unión	13,17		
Soxhlet	Pantaleón	7,67	7,76	0,13
	Pantaleón	7,70		
	Pantaleón	7,90		
	Pantaleón	7,90		
Soxhlet	Magdalena	4,77	4,66	0,10
	Magdalena	4,58		
	Magdalena	4,64		

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIII. **Índices de acidez, índices de saponificación e índices de yodo de la cera obtenida de la cachaza de caña de azúcar para el método de extracción Soxhlet**

Muestra de la cera extraída de la cachaza de caña de los ingenios azucareros	Índice de acidez (adimensional)	Índice de saponificación (adimensional)	Índice de yodo (adimensional)
Madre Tierra	36 mg de KOH/g de muestra	98 mg de KOH/g de muestra	28 mg de I/ 100 g de muestra
Ingenio La Unión	34 mg de KOH/g de muestra	90 mg de KOH/g de muestra	26 mg de I/ 100 g de muestra
Ingenio Pantaleón	32 mg de KOH/g de muestra	97 mg de KOH/g de muestra	29 mg de I/ 100 g de muestra
Ingenio Magdalena	32,7 mg de KOH/g de muestra	95 mg de KOH/g de muestra	28 mg de I/ 100 g de muestra

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIV. **Valores de perfil de ácidos grasos por FID de la cera obtenida de la cachaza por el método Soxhlet del ingenio azucarero Madre Tierra**

Núm.	Perfil de ácido graso	Resultado	U/medida	LD	Metodología
1	C18:2W6 cis (Ac. linoleico)	34,73	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
2	C16:0 (Ac. palmítico)	25,9	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
3	C18:1 cis (Ac. oleico)	10,65	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
4	C18:3W3 (Ac. linolénico)	6,94	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
5	C18:0 (Ac. esteárico)	3,1	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
6	C14:0 (Ac. mirístico)	1,98	%	0,01	< AOAC 969,33 996,06
7	C12:0 (Ac. láurico)	1,16	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
8	C20:0 (Ac. araquídico)	1,11	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
9	C15:0 (Ac. pentadecanoico)	0,85	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
10	C18:1n7 (Ac. vaccénico)	0,76	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
11	C24:0 (Ac. lignocérico)	0,63	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
12	C18:2 trans (Linoleidato)	0,62	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
13	C16:1 cis (Ac. palmitoleico)	0,57	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
14	C23:0 (Ac. tricosanoico)	0,53	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
15	C16:1 trans (Palmitoleidato)	0,52	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
16	C20:1 cis (Ac. eicosanoico)	0,52	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
17	C10:0 (Ac. cáprico)	0,51	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
18	C17:1 (Ac. heptadecanoico)	0,45	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
19	C17:0 (Ac. margárico)	0,41	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
20	C22:0 (Ac. behénico)	0,41	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
21	C08:0 (Ac. caprílico)	0,22	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
22	C18:1 trans (Elaidato)	0,14	%	0,01	AOAC 969,33 996,06

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXV. **Valores de perfil de ácidos grasos por FID de la cera obtenida de la cachaza por el método Soxhlet del ingenio azucarero La Unión**

Núm.	Perfil de ácido graso	Resultado	U/medida	LD	Metodología
1	C16:0 (Ac. palmítico)	31,02	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
2	C18:2W6 cis (Ac. linoleico)	22,66	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
3	C18:1 cis (Ac. oleico)	9,31	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
4	C18:0 (Ac. esteárico)	4,36	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
5	C18:3W3 (Ac. linolénico)	3,22	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
6	C12:0 (Ac. láurico)	2,41	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
7	C14:0 (Ac. mirístico)	2,01	%	0,01	< AOAC 969,33 996,06
8	C20:0 (Ac. araquídico)	1,54	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
9	C24:0 (Ac. lignocérico)	1,3	%	0,01	AOAC 969,33 996,06

Continuación de la tabla XXV.

10	C17:1 (Ac. heptadecanoico)	0,97	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
11	C16:1 cis (Ac. palmitoleico)	0,92	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
12	C17:0 (Ac. margárico)	0,88	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
13	C15:0 (Ac. pentadecanoico)	0,84	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
14	C18:2 trans (Linoleidato)	0,83	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
15	C18:1n7 (Ac. vaccénico)	0,72	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
16	C22:0 (Ac. behenico)	0,61	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
17	C23:0 (Ac.tricosanoico)	0,53	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
18	C10:0 (Ac. cáprico)	0,48	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
19	C08:0 (Ac. caprílico)	0,37	%	0,01	AOAC 969,33 996,06

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVI. Valores de perfil de ácidos grasos por FID de la cera obtenida de la cachaza por el método Soxhlet del ingenio azucarero Pantaleón

Núm.	Perfil de ácido graso	Resultado	U/medida	LD	Metodología
1	C16:0 (Ac. palmítico)	32,81	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
2	C18:2W6 cis (Ac. linoleico)	19,85	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
3	C18:1 cis (Ac. oleico)	7,84	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
4	C18:0 (Ac. esteárico)	6,36	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
5	C16:1 cis (Ac. palmitoleico)	4,11	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
6	C20:0 (Ac. araquídico)	2,8	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
7	C17:0 (Ac. margárico)	2,7	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
8	C21:0 (Ac. heneicosanoico)	2,53	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
9	C18:2 trans (Linoleidato)	2,16	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
10	C18:3W3 (Ac. linolénico)	1,85	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
11	C14:0 (Ac. mirístico)	1,48	%	0,01	< AOAC 969,33 996,06
12	C22:0 (Ac. behenico)	1,47	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
13	C20:1 cis (Ac. eicosanoico)	1,27	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
14	C12:0 (Ac. láurico)	0,97	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
15	C15:0 (Ac. pentadecanoico)	0,7	%	0,01	AOAC 969,33 996,06

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVII. **Valores de perfil de ácidos grasos por FID de la cera obtenida de la cachaza por el método Soxhlet del ingenio azucarero Magdalena**

Núm.	Perfil de ácido graso	Resultado	U/medida	LD	Metodología
1	C16:0 (Ac. palmítico)	19,71	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
2	C18:2W6 cis (Ac. linoleico)	13,73	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
3	C18:1 cis (Ac. oleico)	8,29	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
4	C18:0 (Ac. esteárico)	4,99	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
5	C24:0 (Ac. lignocérico)	4,23	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
6	C18:2 trans (Linoleidato)	4,01	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
7	C20:0 (Ac. araquídico)	3,75	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
8	C18:1 trans (Elaidato)	2,22	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
9	C18:3W3 (Ac. linolénico)	1,7	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
10	C16:1 cis (Ac. palmitoleico)	1,67	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
11	C22:0 (Ac. behenico)	1,6	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
12	C14:0 (Ac. mirístico)	1,51	%	0,01	< AOAC 969,33 996,06
13	C12:0 (Ac. láurico)	1,5	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
14	C15:0 (Ac. pentadecanoico)	0,96	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
15	C17:0 (Ac. margárico)	0,91	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
16	C16:1 trans (Palmitoleidato)	0,89	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
17	C14:1 cis (Ac. miristoleico)	0,69	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
18	C15:1 (Ac. pentadecanoico)	0,64	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
19	C10:0 (Ac. cáprico)	0,45	%	0,01	AOAC 969,33 996,06

Fuente: elaboración propia.

3.8. Análisis estadístico

El análisis estadístico se utiliza como una herramienta para evaluar la relación entre variables o factores que son objetos de estudio, utilizando instrumentos para organizar y analizar los datos. Para realizar un estudio, cuando se ha recolectado, registrado y organizado la información del trabajo de campo, se procede a realizar el análisis de los resultados; en él se suele detallar de manera flexible cómo se va a proceder al enfrentarse a los datos, cuáles serán las principales líneas de análisis, qué orden se va a seguir, y qué tipo de pruebas o técnicas de análisis se aplicarán sobre los datos.

3.8.1. Media

Indica el centro de gravedad del conjunto de valores en una muestra:

$$\bar{x} = \frac{\sum xi}{N} \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde:

- \bar{x} = media
- $\sum xi$ = sumatoria de valores
- N = número de datos

3.8.2. Desviación estándar

Representa el grado de dispersión que tiene un conjunto de valores de la media en una muestra.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{N}} \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde:

σ = desviación estándar

\bar{x} = media

x_i = valor de la muestra

N = número de datos

3.8.3. Coeficiente de variación de Pearson

Representa la relación que existe entre la desviación de una muestra y su media, e indica la precisión que tuvo el experimentador al momento de tomar los datos.

$$CV = \frac{\sigma}{\bar{x}} \quad \text{Ecuación 7}$$

Donde:

CV = coeficiente de variación

σ = desviación estándar

\bar{x} = media

3.8.4. Análisis de varianza

$$S_2^2 = \sum_i \sum_j \frac{(x_{ij} - \bar{x}_i)^2}{h(n-1)} \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde:

S_2^2 = media cuadrática dentro de la muestra

x_{ij} = repetición j de la muestra i

\bar{x}_i = media de la muestra i

n = número de repeticiones

h = número de muestras

$h(n - 1)$ = grados de libertad

La variación entre muestras se define mediante la siguiente ecuación:

$$S_1^2 = \frac{n \sum_i (\bar{x}_i - \bar{x})^2}{h-1} \quad \text{Ecuación 9}$$

Donde:

S_1^2 = media cuadrática entre muestras

n = número de repeticiones

\bar{x}_i = media de la muestra i

\bar{x} = media global

h = número de muestras

$(h - 1)$ = grados de libertad

Para que la hipótesis nula sea correcta, la variación entre S_1^2 y S_2^2 no debe ser significativa. Lo antes mencionado se comprueba mediante una prueba F de una cola.

$$F = \frac{S_1^2}{S_2^2} \quad \text{Ecuación 10}$$

Donde:

S_2^2 = media cuadrática dentro de la muestra

S_1^2 = media cuadrática entre muestras

Si la F está por arriba de la F crítica, esto indica que hay diferencia significativa entre los resultados.

3.9. Métodos y modelos de los datos según tipo variables

Para el análisis de datos estadísticos se utilizó la clasificación del diseño experimental, el cual consiste en comparar grupos, métodos o tratamientos, pero tomando en cuenta un segundo factor, el cual podría afectar la comparación.

La prueba estadística correspondiente es la prueba de Fisher, la cual es obtenida al completar la tabla del análisis de varianza.

3.9.1. Análisis de varianza

La siguiente tabla del análisis de varianza es para un diseño con k grupos, b bloques y c observaciones en cada celda.

Tabla XXVIII. Análisis de varianza para clasificación doble

Fuentes de variación	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F
Grupos	$k-1$	SSG	$MSG=SSG/k-1$	MSG/MSE MSB/MSE
Bloques	$b-1$	SSB	$MSB=SSB/b-1$	
Error	$kb-c-k-b+1$	SSE	$MSE=SSE/kb-c-k-b+1$	
Total	$kb-c-1$	SST		

Fuente: CENGICAÑA. *El cultivo de la caña de azúcar en Guatemala*. p. 216.

Donde:

Grupos = métodos = k

Observaciones = repeticiones = c

MSG = es el cuadrado medio de grupos

MSB = es el cuadrado medio de bloques

MSE = es el cuadrado medio del error

Bloques = ingenios = b

Si la F calculada es mayor que una F con $k-1$ y $kbc-k-b+1$ al nivel de significación α , entonces se rechaza la hipótesis nula de igualdad de medias de grupos y si la F calculada es mayor que una F con $b-1$ y $kbc-k-b+1$ al nivel de significación α , entonces se rechaza la hipótesis nula de igualdad de medias de bloques.

Para el presente trabajo de investigación, los factores son los métodos de obtención de la cera y la variable respuesta es el rendimiento de la cera. Para aceptar o rechazar una hipótesis estadística, se tomó como base la distribución de Fisher. Se utilizó una confiabilidad del 95 % y se comparó la F crítica con la F calculada, a partir de los siguientes criterios para el análisis de varianza:

Si $F > F_{crítica}$, se rechaza la hipótesis nula

Si $F < F_{crítica}$, se acepta la hipótesis nula

3.9.2. Conclusión análisis ANOVA

Dado que F experimental es mayor que F crítica, ($F > F_c$), se rechaza la hipótesis nula; esto infiere en que existe diferencia significativa en el rendimiento extractivo entre los métodos: lixiviación sólido-líquido con maceración dinámica en relación 1:5 y técnica Soxhlet para la extracción de la cera a partir de la cachaza de caña de azúcar de la procedencia de cuatro ingenios azucareros; el método de extracción sí afecta significativamente el rendimiento de cera de cachaza de caña de azúcar.

Tabla XXIX. **Resultado análisis ANOVA**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	111,21	1	111,21	8,37	0,03	5,99
Dentro de los grupos	79,70	6	13,28			
Total	190,92	7				

Fuente: elaboración propia.

3.10. Programas a utilizar para análisis de datos

Un ANOVA para el presente trabajo de investigación se realizó en el programa, Microsoft Excel.

- Prueba de Fisher por medio del análisis de varianza, utilizando ANOVA Excel.

4. RESULTADOS

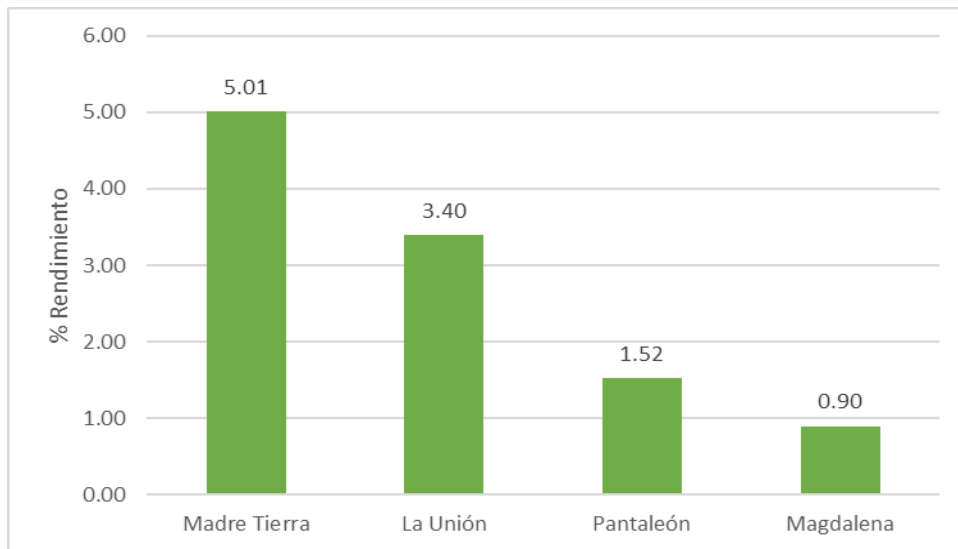
En las siguientes tablas y figuras se presenta el porcentaje de rendimiento obtenido de la extracción de cera de cachaza de caña de azúcar por medio de dos métodos: lixiviación sólido-líquido con maceración dinámica en relación 1:5, y técnica Soxhlet a escala laboratorio, utilizando etanol como solvente extractor, para los ingenios azucareros Madre Tierra, La Unión, Pantaleón y Magdalena, de la costa sur de Guatemala.

Tabla XXX. **Porcentajes de rendimiento obtenidos de la extracción de cera de cachaza de caña de azúcar por medio del método lixiviación sólido-líquido con maceración dinámica en relación 1:5 a escala laboratorio, utilizando etanol como solvente extractor**

Método	Ingenios azucareros	Rendimiento %	Desviación estándar %
Maceración dinámica	Madre Tierra	5,01	0,19
Maceración dinámica	La Unión	3,40	0,09
Maceración dinámica	Pantaleón	1,52	0,07
Maceración dinámica	Magdalena	0,90	0,01

Fuente: elaboración propia.

Figura 7. **Porcentajes de rendimiento del método lixiviación sólido-líquido con maceración dinámica en relación 1:5 a escala laboratorio, utilizando etanol como solvente extractor**



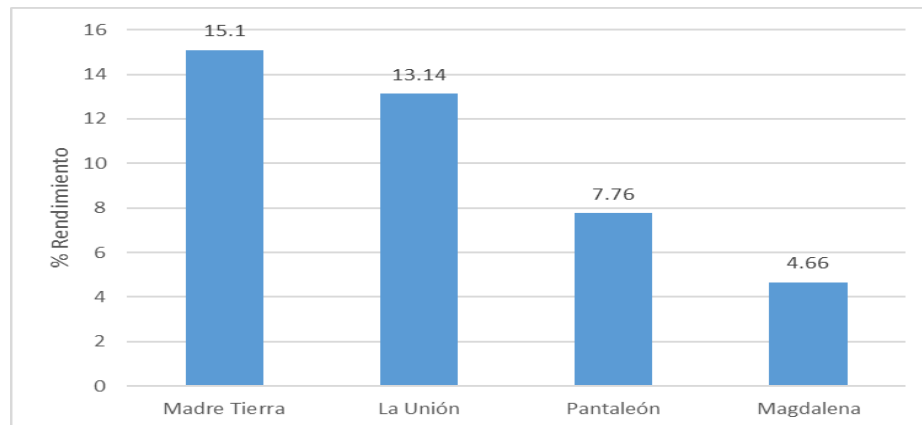
Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

Tabla XXXI. **Porcentajes de rendimiento obtenidos de la extracción de cera de cachaza de caña de azúcar por medio del método técnica Soxhlet a escala laboratorio, utilizando etanol como solvente extractor**

Método	Ingenios azucareros	Rendimiento %	Desviación estándar %
Soxhlet	Madre Tierra	15,10	0,43
Soxhlet	La Unión	13,14	0,26
Soxhlet	Pantaleón	7,76	0,13
Soxhlet	Magdalena	4,66	0,10

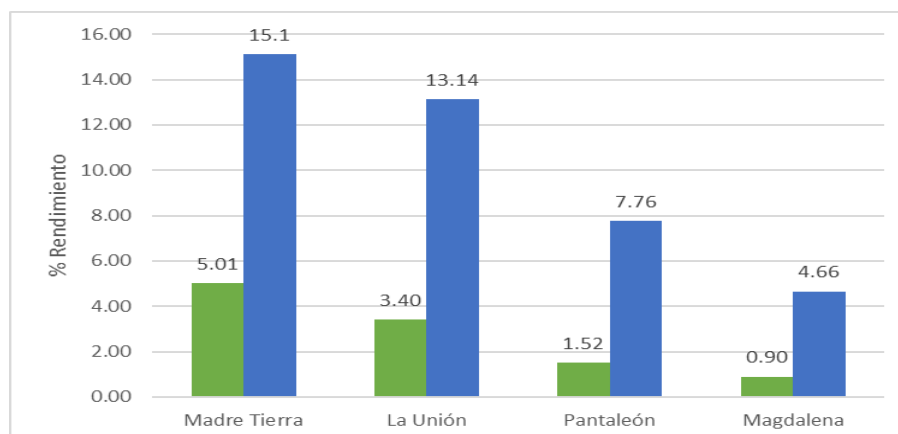
Fuente: elaboración propia.

Figura 8. **Porcentajes de rendimiento del método técnica Soxhlet a escala laboratorio, utilizando etanol como solvente extractor**



Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

Figura 9. **Comparación de porcentajes de rendimiento del método lixiviación sólido-líquido con maceración dinámica en relación 1:5 a escala laboratorio, utilizando etanol como solvente extractor con el método técnica Soxhlet a escala laboratorio**



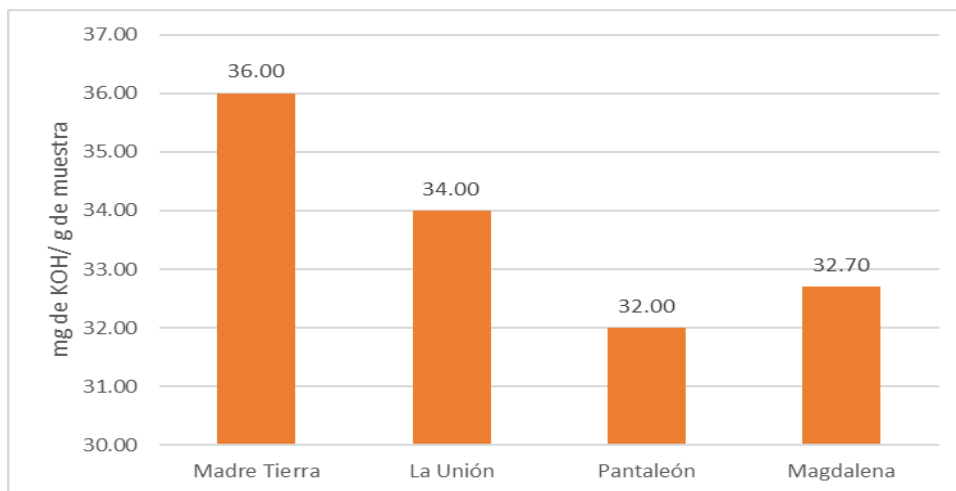
Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

Tabla XXXII. **Índices de acidez, de saponificación e índices de yodo de la cera obtenidos de la cachaza de caña de azúcar para el método de extracción Soxhlet**

Muestra de la cera extraída de la cachaza de caña de los ingenios	Índice de acidez	Índice de saponificación	Índice de yodo
Ingenio Madre Tierra	36 mg de KOH/g de muestra	98 mg de KOH/g de muestra	28 mg de I/100 g de muestra
Ingenio La Unión	34 mg de KOH/g de muestra	90 mg de KOH/g de muestra	26 mg de I/100 g de muestra
Ingenio Pantaleón	32 mg de KOH/g de muestra	97 mg de KOH/g de muestra	29 mg de I/100 g de muestra
Ingenio Magdalena	32,7 mg de KOH/g de muestra	95 mg de KOH/g de muestra	28 mg de I/100 g de muestra

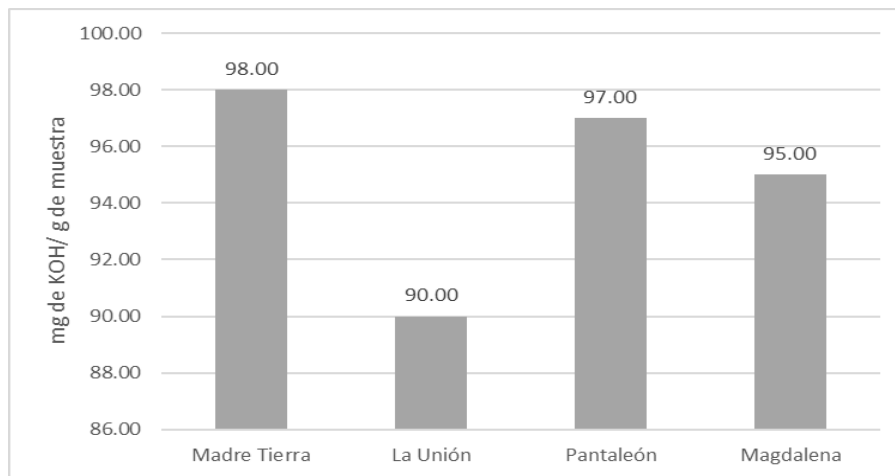
Fuente: elaboración propia.

Figura 10. **Comparación de ingenios azucareros para el índice de acidez obtenido de la cachaza de caña de azúcar por el método de extracción Soxhlet**



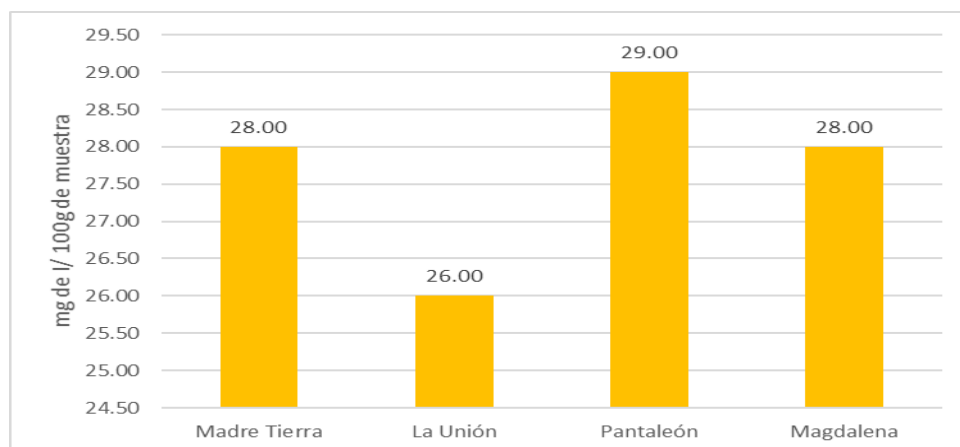
Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

Figura 11. **Comparación de ingenios azucareros para el índice de saponificación obtenido de la cachaza de caña de azúcar para el método de extracción Soxhlet**



Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

Figura 12. **Comparación de ingenios azucareros para el índice de yodo obtenido de la cachaza de caña de azúcar para el método de extracción Soxhlet**



Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

Tabla XXXIII. **Valores de perfil de ácidos grasos por FID de la cera obtenida de la cachaza por el método Soxhlet del ingenio azucarero Madre Tierra**

Núm.	Perfil de ácido graso	Resultado	U/medida	LD	Metodología
1	C18:2W6 cis (Ac. linoleico)	34,73	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
2	C16:0 (Ac. palmítico)	25,9	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
3	C18:1 cis (Ac. oleico)	10,65	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
4	C18:3W3 (Ac. linolénico)	6,94	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
5	C18:0 (Ac. esteárico)	3,1	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
6	C14:0 (Ac. mirístico)	1,98	%	0,01	< AOAC 969,33 996,06
7	C12:0 (Ac. láurico)	1,16	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
8	C20:0 (Ac. araquídico)	1,11	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
9	C15:0 (Ac. pentadecanoico)	0,85	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
10	C18:1n7 (Ac. vaccénico)	0,76	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
11	C24:0 (Ac. lignocérico)	0,63	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
12	C18:2 trans (Linoleidato)	0,62	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
13	C16:1 cis (Ac. palmitoleico)	0,57	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
14	C23:0 (Ac.tricosanoico)	0,53	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
15	C16:1 trans (palmitoleidato)	0,52	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
16	C20:1 cis (Ac. eicosanoico)	0,52	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
17	C10:0 (Ac. cáprico)	0,51	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
18	C17:1 (Ac. heptadecanoico)	0,45	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
19	C17:0 (Ac. margárico)	0,41	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
20	C22:0 (Ac. behénico)	0,41	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
21	C08:0 (Ac. caprílico)	0,22	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
22	C18:1 trans (Elaidato)	0,14	%	0,01	AOAC 969,33 996,06

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXIV. **Valores de perfil de ácidos grasos por FID de la cera obtenida de la cachaza por el método Soxhlet del ingenio azucarero La Unión**

Núm.	Perfil de ácido graso	Resultado	U/Medida	LD	Metodología
1	C16:0 (Ac. palmítico)	31,02	%	0,01	AOAC 969.33 996.06
2	C18:2W6 cis (Ac. linoleico)	22,66	%	0,01	AOAC 969.33 996.06
3	C18:1 cis (Ac. oleico)	9,31	%	0,01	AOAC 969.33 996.06
4	C18:0 (Ac. esteárico)	4,36	%	0,01	AOAC 969.33 996.06
5	C18:3W3 (Ac. linolénico)	3,22	%	0,01	AOAC 969.33 996.06
6	C12:0 (Ac. láurico)	2,41	%	0,01	AOAC 969.33 996.06
7	C14:0 (Ac. mirístico)	2,01	%	0,01	< AOAC 969.33 996.06
8	C20:0 (Ac. araquídico)	1,54	%	0,01	AOAC 969.33 996.06
9	C24:0 (Ac. lignocérico)	1,3	%	0,01	AOAC 969.33 996.06

Continuación de la tabla XXXIV.

10	C17:1 (Ac. heptadecanoico)	0,97	%	0,01	AOAC 969.33 996.06
11	C16:1 cis (Ac. palmitoleico)	0,92	%	0,01	AOAC 969.33 996.06
12	C17:0 (Ac. margárico)	0,88	%	0,01	AOAC 969.33 996.06
13	C15:0 (Ac. pentadecanoico)	0,84	%	0,01	AOAC 969.33 996.06
14	C18:2 trans (Linoleidato)	0,83	%	0,01	AOAC 969.33 996.06
15	C18:1n7 (Ac. vaccénico)	0,72	%	0,01	AOAC 969.33 996.06
16	C22:0 (Ac. behenico)	0,61	%	0,01	AOAC 969.33 996.06
17	C23:0 (Ac.tricosanoico)	0,53	%	0,01	AOAC 969.33 996.06
18	C10:0 (Ac. cáprico)	0,48	%	0,01	AOAC 969.33 996.06
19	C08:0 (Ac. caprílico)	0,37	%	0,01	AOAC 969.33 996.06

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXV. **Valores de perfil de ácidos grasos por FID de la cera obtenida de la cachaza por el método Soxhlet del ingenio azucarero Pantaleón**

Núm.	Perfil de ácido graso	Resultado	U/medida	LD	Metodología
1	C16:0 (Ac. palmítico)	32,81	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
2	C18:2W6 cis (Ac. linoleico)	19,85	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
3	C18:1 cis (Ac. oleico)	7,84	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
4	C18:0 (Ac. esteárico)	6,36	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
5	C16:1 cis (Ac. palmitoleico)	4,11	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
6	C20:0 (Ac. araquídico)	2,8	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
7	C17:0 (Ac. margárico)	2,7	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
8	C21:0 (Ac. heneicosanoico)	2,53	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
9	C18:2 trans (Linoleidato)	2,16	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
10	C18:3W3 (Ac. linolénico)	1,85	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
11	C14:0 (Ac. mirístico)	1,48	%	0,01	< AOAC 969,33 996,06
12	C22:0 (Ac. behenico)	1,47	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
13	C20:1 cis (Ac. eicosanoico)	1,27	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
14	C12:0 (Ac. láurico)	0,97	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
15	C15:0 (Ac. pentadecanoico)	0,7	%	0,01	AOAC 969,33 996,06

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVI. **Valores de perfil de ácidos grasos por FID de la cera obtenida de la cachaza por el método Soxhlet del ingenio azucarero Magdalena**

Núm.	Perfil de ácido graso	Resultado	U/medida	LD	Metodología
1	C16:0 (Ac. palmítico)	19,71	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
2	C18:2W6 cis (Ac. linoleico)	13,73	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
3	C18:1 cis (Ac. oleico)	8,29	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
4	C18:0 (Ac. esteárico)	4,99	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
5	C24:0 (Ac. lignocérico)	4,23	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
6	C18:2 trans (Linoleidato)	4,01	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
7	C20:0 (Ac. araquídico)	3,75	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
8	C18:1 trans (Elaidato)	2,22	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
9	C18:3W3 (Ac. linolénico)	1,7	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
10	C16:1 cis (Ac. palmitoleico)	1,67	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
11	C22:0 (Ac. behénico)	1,6	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
12	C14:0 (Ac. mirístico)	1,51	%	0,01	< AOAC 969,33 996,06
13	C12:0 (Ac. láurico)	1,5	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
14	C15:0 (Ac. pentadecanoico)	0,96	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
15	C17:0 (Ac. margárico)	0,91	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
16	C16:1 trans (Palmitoleidato)	0,89	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
17	C14:1 cis (Ac. miristoleico)	0,69	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
18	C15:1 (Ac. pentadecanoico)	0,64	%	0,01	AOAC 969,33 996,06
19	C10:0 (Ac. cáprico)	0,45	%	0,01	AOAC 969,33 996,06

Fuente: elaboración propia.

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En las tablas XXX y XXXI se muestran los rendimientos obtenidos de la extracción de cera a partir de la cachaza de caña de azúcar por medio de los métodos de extracción lixiviación sólido-líquido con maceración dinámica relación 1:5 y técnica Soxhlet correspondiente a los cuatro ingenios azucareros de la costa sur de Guatemala: Madre Tierra, La Unión, Pantaleón y Magdalena, con su respectiva desviación estándar.

En la figura 9 se ilustra la tendencia del porcentaje de rendimiento en función de la procedencia y el método, mostrando que el más adecuado es la técnica Soxhlet y la procedencia de mayor obtención es del ingenio azucarero Madre Tierra, con un valor de 15,10 %; se muestra que, en el análisis de varianza de un factor, existe diferencia significativa entre los métodos de obtención a escala laboratorio.

En la tabla XXXII se muestra la caracterización fisicoquímica: índices de acidez, índices de saponificación e índices de yodo de la cera extraída de la cachaza de caña de azúcar por el método técnica Soxhlet, de las cuatro procedencias.

En la figura 10 se ilustra la tendencia del índice de acidez en función de la procedencia, siendo este para el ingenio azucarero Madre Tierra con un valor de 36 mg de KOH/g de muestra; de igual forma se observa el mismo comportamiento en la figura 11 para el índice de saponificación en función de la procedencia, siendo esta el ingenio Madre Tierra con un valor de 98 mg de KOH/g de muestra; esto se debe a que en las muestras de la cera extraídas de

la cachaza de caña de azúcar del ingenio Madre Tierra se obtuvo una mayor cantidad de ácidos grasos debido a los compuestos de los nutrientes, ya sea químicos o naturales, que se utilizaron como maduradores con propiedades herbicidas en los que se establece que el potasio es un factor determinante para el rendimiento de la cera, debido a su función fisiológica nutricional que tiene un efecto aditivo en la acumulación de sacarosa.

Como catalizador dentro del metabolismo de las plantas, el potasio también participa en la formación y neutralización de ácidos orgánicos; además, juega un papel muy importante en la acumulación y consumo de azúcares dentro de la planta, durante el desarrollo vegetativo.

El papel del potasio en el transporte de azúcares es esencial, ya que la eficiencia de este nutriente mejora dicha acción, desde las hojas (punto de fabricación) a los lugares de almacenamiento; finalmente se observa el comportamiento de la figura 12 para el índice de yodo en función de la procedencia, siendo la de mayor obtención el ingenio azucarero Pantaleón, con un valor de 29 mg de I/100 g de muestra, revelando ser el mayor proveedor de ácidos grasos.

Se determinó el perfil de ácidos grasos a través de la cromatografía de gases con detector de llama (FID) del extracto de cera extraída de la cachaza de caña de azúcar por medio de la técnica Soxhlet procedente de los cuatro ingenios azucareros; la tabla XXXIII describe los 22 ácidos grasos detectados de la cera del ingenio azucarero Madre Tierra, de los cuales el mayor porcentaje de obtención fue para el ácido linoleico con un valor de 34,73.

En la tabla XXXIV se describen los 19 ácidos grasos detectados en el ingenio azucarero La Unión, de los cuales el mayor porcentaje de obtención fue

para el ácido palmítico, con un valor de 31,02; consecuentemente en la tabla XXXV se describen los 15 ácidos grasos detectados de la cera del ingenio azucarero Pantaleón donde de igual forma, el mayor porcentaje de obtención fue para el ácido palmítico, con un valor de 32,81. Finalmente, en la tabla XXXVI se describen los 19 ácidos grasos detectados de la cera del ingenio azucarero Magdalena, siendo también el ácido palmítico el de mayor porcentaje de obtención, con un valor de 19.71.

La investigación se llevó a cabo 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. La caracterización fisicoquímica se llevó a cabo en la unidad de Análisis Instrumental Escuela de Química, Universidad de San Carlos de Guatemala. El perfil de ácidos grasos se realizó en el laboratorio INLASA.

CONCLUSIONES

1. Existe diferencia significativa en el rendimiento extractivo entre los métodos: lixiviación sólido-líquido con maceración dinámica en relación 1:5 y técnica Soxhlet para la extracción de la cera a partir de la cachaza de caña de azúcar de la procedencia de cuatro ingenios azucareros.
2. Se obtuvo el rendimiento de extracción de cera de la cachaza de caña de azúcar proveniente de cuatro ingenios azucareros de la costa sur de Guatemala: Madre Tierra, La Unión, Pantaleón y Magdalena, por medio del método lixiviación sólido-líquido con maceración dinámica en relación 1:5 con un porcentaje de obtención mayor para el ingenio Madre Tierra: 5,01 y menor para el ingenio Magdalena: 0,90; se utilizó etanol como solvente extractor a escala laboratorio.
3. Se obtuvo el rendimiento de extracción de cera de la cachaza de caña de azúcar proveniente de cuatro ingenios azucareros de la costa sur de Guatemala: Madre Tierra, La Unión, Pantaleón y Magdalena por el método técnica Soxhlet a escala laboratorio con un porcentaje de obtención mayor para el ingenio Madre Tierra: 14,80 y menor para el ingenio Magdalena: 5,29; se utilizó etanol como solvente extractor a escala laboratorio.
4. Se determinó que la técnica Soxhlet a escala laboratorio es la más conveniente a utilizar, ya que es donde se obtienen los valores más altos de la extracción de cera.

5. Se realizó la caracterización fisicoquímica de la cera extraída de la cachaza de caña de azúcar aplicando la técnica Soxhlet de los cuatro ingenios azucareros, en los que se presenta el mayor índice de obtención de la caracterización realizada: índice de acidez para el ingenio Madre Tierra con un valor de 36 mg de KOH/g de muestra; índice de saponificación de igual forma para el ingenio Madre Tierra, con un valor de 98 mg de KOH/g de muestra e índice de yodo para ingenio Pantaleón, con un valor de 29 mg de I/100 g de muestra
6. A través del cromatógrafo de gases con detector de llama (FID) se detectaron por medio del perfil de ácidos grasos de la cera extraída de la cachaza de caña de azúcar por la técnica Soxhlet, 22 ácidos grasos de la cera de la cachaza de caña de azúcar para el ingenio azucarero Madre Tierra; 19 para el ingenio azucarero La Unión, 15 para el ingenio Pantaleón y finalmente 19 ácidos grasos detectados de la cera del ingenio Magdalena.
7. Se detectó el ácido con mayor porcentaje de obtención por ingenio azucarero, iniciando con Madre Tierra con un valor de 34,73 % para el ácido linoleico; en el ingenio azucarero La Unión su mayor porcentaje de obtención fue para el ácido palmítico, con un valor de 31,02 %; para el ingenio azucarero Pantaleón el mayor porcentaje de obtención fue asimismo para el ácido palmítico con un valor de 32,81 % y finalmente, en el ingenio azucarero Magdalena, en donde el ácido palmítico fue de igual forma el de mayor porcentaje de obtención con un valor de 19,71 %.

RECOMENDACIONES

1. Realizar estudios para la obtención de otras procedencias de rendimiento de cera de cachaza de caña de azúcar de otras regiones.
2. Efectuar un estudio para determinar qué función tienen en la industria los ácidos grasos de mayor rendimiento de obtención y darles una mejor utilidad a estos.
3. Realizar estudios para la evaluación de ácidos grasos de otras procedencias de ingenios azucareros de la costa sur.
4. Efectuar estudios para la aplicación de los ácidos grasos en cosméticos contra manchas y arrugas a partir de esta cera, considerando el perfil de ácidos grasos, debido a que la misma es rica en ácido linoleico, que disminuye la cantidad de enzima tirosinasa, es decir tiene un efecto despigmentante sobre la piel; además es rica en ácido esteárico, que podría apoyar como emulgente que proporciona dureza en cremas y jabones; ajustar el pH si es muy alcalino.

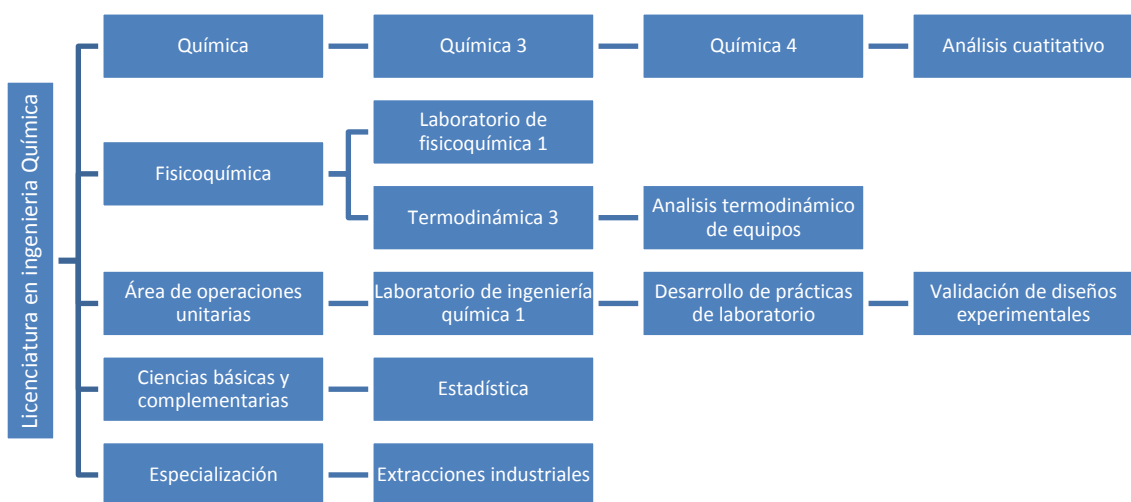
BIBLIOGRAFÍA

1. ARTEAGA PÉREZ, Luis. *Análisis de alternativas para la obtención de materia insaponificable a partir de residuales de la industria azucarera*. Camagüey, Cuba: Revista Centro Azúcar, 2014. 15 p.
2. CABRERA, Eldaí. *Revalorización de los subproductos de la caña de azúcar*. México: Universidad Autónoma Metropolitana. 2007. 135 p.
3. CENGICAÑA. *El cultivo de la caña de azúcar en Guatemala*. Guatemala: Artemis Edinter, S. A., 2014. 526 p.
4. DE LEÓN BARRIENTOS, Iván Eduardo. *Caracterización fisicoquímica y evaluación del rendimiento de aceite fijo de cacao criollo (*Theobroma cacao* L.) a escala laboratorio utilizando los métodos de maceración estática y maceración dinámica con reflujo*. Trabajo de graduación de Ing. Química, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2016. 125 p.
5. LÓPEZ GONZALES, Álvaro. *Extracción de cera de la cachaza*. [en línea]. <http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852017000100013>. [Consulta: 11 de mayo de 2019].
6. MADRICAL PEÑA, Carlos Sebastián. *Extracción de la cera de caña con etanol a partir de lodos residuales de la industria azucarera*. México: Instituto Politécnico Nacional, 2007. 85 p.

7. LAZCANO, Ignacio. *El potasio. Esencial para un buen rendimiento en caña de azúcar*. [en línea]. <[http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/BD77D68F8FFC16AB852579A3007A3346/\\$FILE/EI%20potasio.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/BD77D68F8FFC16AB852579A3007A3346/$FILE/EI%20potasio.pdf)>. [Consulta: 25 de mayo de 2019].
8. MELGAR MENESES, Mario; OROZCO, Héctor; PÉREZ Ovidio y ESPINOSA, Rodolfo. *El cultivo de la caña de azúcar en Guatemala*. Guatemala: Artemis Edinter, 2014. 526 p.
9. NUFIO MARTÍNEZ, Kevin Waldemar. *Efecto de la incorporación de tres residuos agroindustriales generados a partir de la industrialización de azúcar en el crecimiento de la caña de azúcar (Saccharum spp.), en suelos molisoles, diagnóstico y servicios en el ingenio La Unión, Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla, Guatemala, C. A.* Trabajo de graduación de Ingeniero Agrónomo, Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2011. 119 p.
10. RAMÍREZ OVALLE, Lourdes María. *Evaluación del rendimiento de extracción y caracterización del aceite fijo de café tostado genuino Antigua, obtenido por el proceso de prensado*. Trabajo de graduación de Ing. Química, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2008. 163 p.
11. REVELO VARGAS, Danilo Andrés. *Extracción de la cera del bagazo de caña de azúcar (Saccharum officinarum) mediante tratamiento de explosión de vapor y tratamiento de combinación de solventes heptano/hexano/agua*. [en línea]. <<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/9132/daniloandresrevelovargas.2011.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. [Consulta: 19 de mayo de 2019].

APÉNDICES

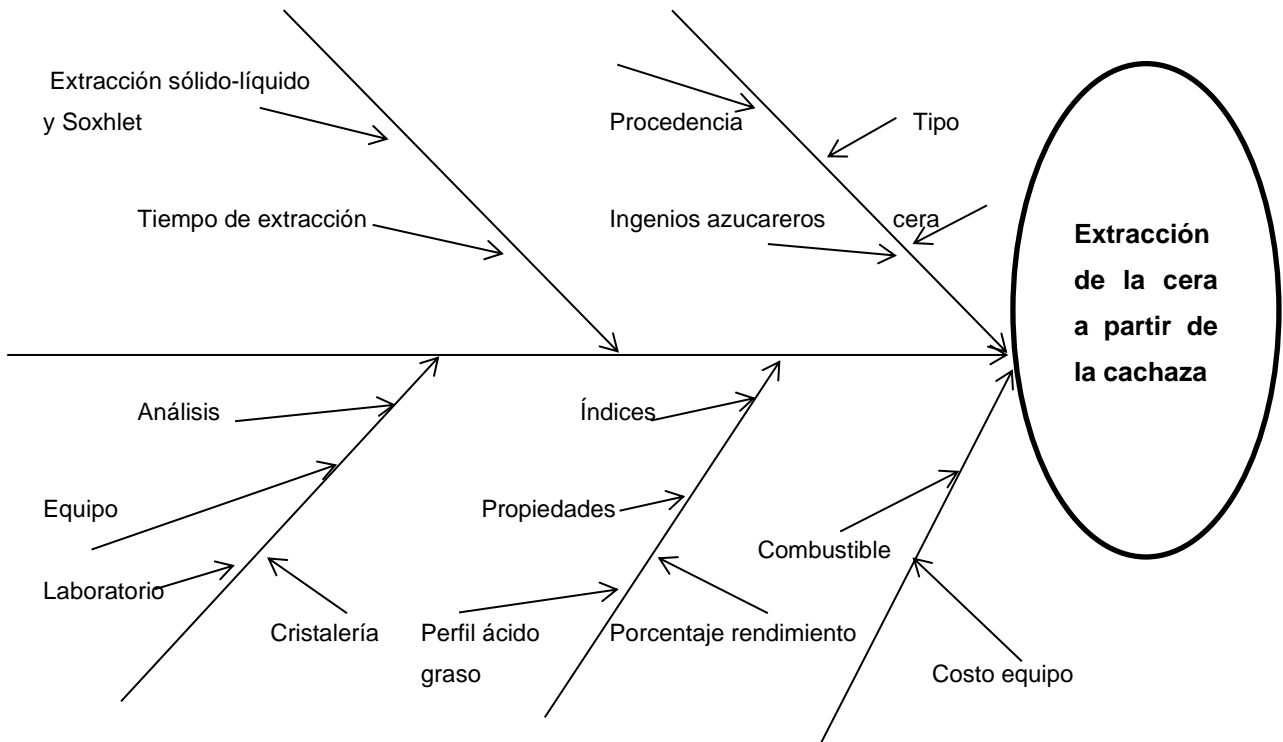
Apéndice 1. Tabla de requisitos académicos



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. Diagrama de Ishikawa y árbol de problemas

Métodos materia prima



Recursos

Variables

Factores económicos

Fuente: elaboración propia.

ANEXOS

Anexo 1. Perfil de ácidos grasos



ESCUELA DE QUIMICA UNIDAD DE ANALISIS INSTRUMENTAL EDIFICIO T-13, CIUDAD UNIVERSITARIA, ZONA 12 TELEFONO: 24189412		INFORME DE ANÁLISIS DE LABORATORIO QUÍMICO	
Nombre comun o comercial de la muestra:		No de código / Marca del remitente:	
Ceras vegetales		Ingenio La Union	
No de registro:	1907226	Empresa / Institución:	Particular
		Remitente / Solicitante:	Yohana Lopez Rosales
Fecha de recepción:	Muestra recibida por:	Tipo de recipiente:	peso neto:
29/07/2019	Levis Donado		
DETERMINACIONES SOLICITADAS:			
Indice de yodo, Indice de saponificación e Indice de Acidez			
Parametros evaluados	Unidades	Valor	
Indice de Acidez	mg de KOH / g de muestra	34.00	
Indice de Saponificación	mg de KOH / g de muestra	90.00	
Indice de yodo	mg de I / 100 g de muestra	26.00	
Fecha:	Analista(s):	Ref. Registro Análisis:	Costo total facturado:
24/10/2019	LD		Q0.00
Firma jefe UAI:	Recibido nombre:	Firma:	Fecha:


Continuación de anexo 1.





ESCUELA DE QUIMICA UNIDAD DE ANALISIS INSTRUMENTAL EDIFICIO T-13, CIUDAD UNIVERSITARIA, ZONA 12 TELEFONO: 24189412		INFORME DE ANÁLISIS DE LABORATORIO QUÍMICO	
Nombre comun o comercial de la muestra:		No de código / Marca del remitente:	
Ceras vegetales		Ingenio Pantaleon	
No de registro:	1907227	Empresa / Institución:	Particular
		Remitente / Solicitante:	Yohana Lopez Rosales
Fecha de recepción:	Muestra recibida por:	Tipo de recipiente:	peso neto:
29/07/2019	Levis Donado		
DETERMINACIONES SOLICITADAS:			
Indice de yodo, Índice de saponificación e Índice de Acidez			
Parametros evaluados	Unidades	Valor	
Indice de Acidez	mg de KOH / g de muestra	32.00	
Indice de Saponificación	mg de KOH / g de muestra	97.00	
Indice de yodo	mg de I / 100 g de muestra	29.00	
Fecha:	Analista(s):	Ref. Registro Análisis:	Costo total facturado:
24/10/2019	LD		Q0.00
Firma Jefe UAI:	Recibido nombre:	Firma:	Fecha:

Continuación de anexo 1.



ESCUELA DE QUIMICA UNIDAD DE ANALISIS INSTRUMENTAL EDIFICIO T-13, CIUDAD UNIVERSITARIA, ZONA 12 TELEFONO: 24189412		INFORME DE ANÁLISIS DE LABORATORIO QUÍMICO	
Nombre comun o comercial de la muestra:		No de código / Marca del remitente:	
Ceras vegetales		Ingenio Magdalena	
No de registro:	1907228	Empresa / Institución:	Particular
		Remitente / Solicitante:	Yohana Lopez Rosales
Fecha de recepción:	Muestra recibida por:	Tipo de recipiente:	peso neto:
29/07/2019	Levis Donado		
DETERMINACIONES SOLICITADAS:			
Indice de yodo, Indice de saponificación e Indice de Acidez			
Parametros evaluados	Unidades	Valor	
Indice de Acidez	mg de KOH / g de muestra	32.70	
Indice de Saponificación	mg de KOH / g de muestra	95.00	
Indice de yodo	mg de I / 100 g de muestra	28.00	
Fecha:	Analista(s):	Ref. Registro Análisis:	Costo total facturado:
24/10/2019	LD		Q0.00
Firma Jefe QA:	Recibido nombre:	Firma:	Fecha:
			

Continuación de anexo 1.

 USAC TRICENTENARIA <small>Universidad de San Carlos de Guatemala</small>			
ESCUELA DE QUIMICA UNIDAD DE ANALISIS INSTRUMENTAL EDIFICIO T-13, CIUDAD UNIVERSITARIA, ZONA 12 TELEFONO: 24189412		INFORME DE ANÁLISIS DE LABORATORIO QUÍMICO	
Nombre comun o comercial de la muestra:		No de código / Marca del remitente:	
Ceras vegetales		Ingenio Madre Tierra	
No de registro:	1907229	Empresa / Institución:	Particular
		Remitente / Solicitante:	Yohana Lopez Rosales
Fecha de recepción:	Muestra recibida por:	Tipo de recipiente:	peso neto:
29/07/2019	Levis Donado		
DETERMINACIONES SOLICITADAS:			
Indice de yodo, Indice de saponificación e Indice de Acidez			
Parametros evaluados	Unidades	Valor	
Indice de Acidez	mg de KOH / g de muestra	36.00	
Indice de Saponificación	mg de KOH / g de muestra	98.00	
Indice de yodo	mg de I / 100 g de muestra	28.00	
Fecha:	Analista(s):	Ref. Registro Análisis:	Costo total facturado:
24/10/2019	LD		Q0.00
Firma jefe DAI:	Recibido nombre:	Firma:	Fecha:
			

Fuente: Centro de Investigaciones de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería, Usac.

Anexo 2. Resultados de laboratorio



INLASA, S.A.
29 Calle 19-11 Zona 12
Teléfonos: 24761795, 24760337
Fax: 24769349
E-mail: serviciocliente@inlasa.com
www.inlasa.com

Página 1 de 4

INFORME DE RESULTADOS

Cliente **YOHANA LOPEZ**
Dirección **CIUDAD**
Fecha Ingreso **25/11/2019**
Hora Ingreso **09:09:00**

Numero Informe **1**

Fecha Emisión **10/12/2019**
Hora Emisión **13:41:00**
Res. Muestreo **Cliente**
Numero Orden **2019004573**

Muestra **(170324) Union Suxieth.**

Observaciones

ANÁLISIS

	RESULTADO	U/MEDIDA	ID	METODOLOGIA	FECHA ANALISIS
Perfil Acidos Grasos					
C04:0 (Ac. Butírico)	ND	%	0.01	AOAC 969.33 996.06	25/11/2019
C06:0 (Ac. Caprílico)	ND	%	0.01	AOAC 969.33 996.06	25/11/2019
C08:0 (Ac. Caprílico)	0.37	%	0.01	AOAC 969.33 996.06	25/11/2019
C10:0 (Ac. Caprílico)	0.48	%	0.01	AOAC 969.33 996.06	25/11/2019
C11:0 (Ac. Undecanoico)	ND	%	0.01	AOAC 969.33 996.06	25/11/2019
C12:0 (Ac. Láurico)	2.41	%	0.01	AOAC 969.33 996.06	25/11/2019
C13:0 (Ac. Tridecanoico)	ND	%	0.01	AOAC 969.33 996.06	25/11/2019
C14:0 (Ac. Mirístico)	2.01	%	0.01	AOAC 969.33 996.06	25/11/2019
C14:1 cis (Ac. Mirístico)	ND	%	0.01	AOAC 969.33 996.06	25/11/2019
C15:0 (Ac. Pentadecanoico)	0.84	%	0.01	AOAC 969.33 996.06	25/11/2019
C15:1 (Ac. Pentadecanoico)	ND	%	0.01	AOAC 969.33 996.06	25/11/2019
C16:0 (Ac. Palmítico)	31.82	%	0.01	AOAC 969.33 996.06	25/11/2019
C16:1 cis (Ac. Palmítico)	0.92	%	0.01	AOAC 969.33 996.06	25/11/2019
C16:1 trans (Ac. Palmítico)	ND	%	0.01	AOAC 969.33 996.06	25/11/2019
C17:0 (Ac. Margarico)	0.88	%	0.01	AOAC 969.33 996.06	25/11/2019
C17:1 (Ac. Heptadecanoico)	0.97	%	0.01	AOAC 969.33 996.06	25/11/2019
C18:0 (Ac. Estéarico)	4.36	%	0.01	AOAC 969.33 996.06	25/11/2019
C18:1 cis (Ac. Oleico)	9.31	%	0.01	AOAC 969.33 996.06	25/11/2019
C18:1 trans (Ac. Oleico)	ND	%	0.01	AOAC 969.33 996.06	25/11/2019
C18:1n7 (Ac. Vaccénico)	0.72	%	0.01	AOAC 969.33 996.06	25/11/2019
C18:2 trans (Ac. Linoléico)	0.83	%	0.01	AOAC 969.33 996.06	25/11/2019
C18:2W6 cis (Ac. Linoléico)	22.66	%	0.01	AOAC 969.33 996.06	25/11/2019
C18:2W3 (Ac. Linoléico)	3.22	%	0.01	AOAC 969.33 996.06	25/11/2019
C18:3W6 (Ac. gamma Linoléico)	ND	%	0.01	AOAC 969.33 996.06	25/11/2019
C20:0 (Ac. Araquídico)	1.54	%	0.01	AOAC 969.33 996.06	25/11/2019
C20:1 cis (Ac. Eicosanoico)	ND	%	0.01	AOAC 969.33 996.06	25/11/2019
C20:2W6 (Ac. Eicosadienoico)	ND	%	0.01	AOAC 969.33 996.06	25/11/2019
C20:3W3,14,17 (Ac. Eicosatrienoico)	ND	%	0.01	AOAC 969.33 996.06	25/11/2019
C20:3W6,11,14,17 (Ac. Eicosatrienoico)	ND	%	0.01	AOAC 969.33 996.06	25/11/2019
C20:4n6 (Ac. Araquídico)	ND	%	0.01	AOAC 969.33 996.06	25/11/2019
C20:5n3 Eicosapentanoico (EPA)	ND	%	0.01	AOAC 969.33 996.06	25/11/2019
C21:0 (Ac. Heneicosanoico)	ND	%	0.01	AOAC 969.33 996.06	25/11/2019
C22:0 (Ac. Behénico)	0.61	%	0.01	AOAC 969.33 996.06	25/11/2019
C22:1 (Ac. Erúcico)	ND	%	0.01	AOAC 969.33 996.06	25/11/2019
C22:5n3 Acido docosapentaenoico (DPA)	ND	%	0.01	AOAC 969.33 996.06	25/11/2019
C22:6n6 (Acido Docosahexanoico)	ND	%	0.01	AOAC 969.33 996.06	25/11/2019
C22:6n3 Docosahexanoico (DHA)	ND	%	0.01	AOAC 969.33 996.06	25/11/2019
C23:0 (Ac. Tricosanoico)	0.53	%	0.01	AOAC 969.33 996.06	25/11/2019
C24:0 (Ac. Lignocérico)	1.30	%	0.01	AOAC 969.33 996.06	25/11/2019
C24:1 (Ac. Tetracosanoico)	ND	%	0.01	AOAC 969.33 996.06	25/11/2019

Muestra **(170325) Lodie Tierra Suxieth 1.213.**

Observaciones

ANÁLISIS

	RESULTADO	U/MEDIDA	ID	METODOLOGIA	FECHA ANALISIS
--	-----------	----------	----	-------------	----------------

Estos resultados corresponden únicamente a las muestras recibidas por el personal del Laboratorio. Se prohíbe la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización del Director Técnico

Lic. Raúl Paniagua Piloña
Químico Biólogo, Colegiado 1347
Director Técnico INLASA, S.A.

Supervisado por:

[Firma]

Continuación de anexo 2.



INLASA, S.A.
29 Calle 19-1 Zona 12
Teléfonos: 24761795, 24760337
Fax: 24769349
E-mail: serviciocliente@inlasa.com
www.inlasa.com

Página 2 de 4

INFORME DE RESULTADOS

Cliente: **YOHANA LOPEZ**
Dirección: **CIUDAD**
Fecha Ingreso: **25/11/2019**
Hora Ingreso: **09:09:00**

Numero Informe: **1**

Fecha Emisión: **10/12/2019**
Hora Emisión: **13:41:00**
Res. Muestreo: **Cliente**
Numero Orden: **2019004573**

Perfil Acidos Grasos						
C04:0 (Ac. Butírico)	ND	%	0.01	AOAC 969.33.996.06	25/11/2019	
C06:0 (Ac. Caprílico)	ND	%	0.01	AOAC 969.33.996.06	25/11/2019	
C08:0 (Ac. Caprílico)	0.22	%	0.01	AOAC 969.33.996.06	25/11/2019	
C10:0 (Ac. Cáprico)	0.51	%	0.01	AOAC 969.33.996.06	25/11/2019	
C11:0 (Ac. Undecanoico)	ND	%	0.01	AOAC 969.33.996.06	25/11/2019	
C12:0 (Ac. Láurico)	1.14	%	0.01	AOAC 969.33.996.06	25/11/2019	
C13:0 (Ac. Tridecanoico)	ND	%	0.01	AOAC 969.33.996.06	25/11/2019	
C14:0 (Ac. Mirístico)	1.78	%	0.01	AOAC 969.33.996.06	25/11/2019	
C14:1 cis (Ac. Mirístico)	ND	%	0.01	AOAC 969.33.996.06	25/11/2019	
C15:0 (Ac. Pentadecanoico)	0.85	%	0.01	AOAC 969.33.996.06	25/11/2019	
C15:1 (Ac. Pentadecanoico)	ND	%	0.01	AOAC 969.33.996.06	25/11/2019	
C16:0 (Ac. Palmítico)	25.90	%	0.01	AOAC 969.33.996.06	25/11/2019	
C16:1 cis (Ac. Palmítico)	0.57	%	0.01	AOAC 969.33.996.06	25/11/2019	
C16:1 trans (Palmítico)	0.52	%	0.01	AOAC 969.33.996.06	25/11/2019	
C17:0 (Ac. Margarico)	0.41	%	0.01	AOAC 969.33.996.06	25/11/2019	
C17:1 (Ac. Heptadecanoico)	0.45	%	0.01	AOAC 969.33.996.06	25/11/2019	
C18:0 (Ac. Estearico)	3.10	%	0.01	AOAC 969.33.996.06	25/11/2019	
C18:1 cis (Ac. Oleico)	10.65	%	0.01	AOAC 969.33.996.06	25/11/2019	
C18:1 trans (Elaídico)	0.14	%	0.01	AOAC 969.33.996.06	25/11/2019	
C18:1n7 (Ac. Vaccínico)	0.76	%	0.01	AOAC 969.33.996.06	25/11/2019	
C18:2 trans (Linoleico)	0.42	%	0.01	AOAC 969.33.996.06	25/11/2019	
C18:2n6 cis (Ac. Linoleico)	34.73	%	0.01	AOAC 969.33.996.06	25/11/2019	
C18:3n3 (Ac. Linoléico)	6.94	%	0.01	AOAC 969.33.996.06	25/11/2019	
C18:3n6 (Ac. gamma Linoléico)	ND	%	0.01	AOAC 969.33.996.06	25/11/2019	
C20:0 (Ac. Araquídico)	1.11	%	0.01	AOAC 969.33.996.06	25/11/2019	
C20:1 cis (Ac. Eicosanoico)	0.52	%	0.01	AOAC 969.33.996.06	25/11/2019	
C20:2n6 (Ac. Eicosadienoico)	ND	%	0.01	AOAC 969.33.996.06	25/11/2019	
C20:3n3 8,14,17 (Ac. Eicosatrienoico)	ND	%	0.01	AOAC 969.33.996.06	25/11/2019	
C20:3n6 11,14,17 (Ac. Eicosatrienoico)	ND	%	0.01	AOAC 969.33.996.06	25/11/2019	
C20:4n6 (Ac. Araquidónico)	ND	%	0.01	AOAC 969.33.996.06	25/11/2019	
C20:5n3 Eicosapentanoico (EPA)	ND	%	0.01	AOAC 969.33.996.06	25/11/2019	
C21:0 (Ac. Heneicosanoico)	ND	%	0.01	AOAC 969.33.996.06	25/11/2019	
C22:0 (Ac. Behénico)	0.41	%	0.01	AOAC 969.33.996.06	25/11/2019	
C22:1 (Ac. Erúico)	ND	%	0.01	AOAC 969.33.996.06	25/11/2019	
C22:5n3 Acido docosapentanoico (DPA)	ND	%	0.01	AOAC 969.33.996.06	25/11/2019	
C22:6n6 (Acido Docosahexanoico)	ND	%	0.01	AOAC 969.33.996.06	25/11/2019	
C22:6n3 Docosahexanoico (DHA)	ND	%	0.01	AOAC 969.33.996.06	25/11/2019	
C23:0 (Ac. Tricosanoico)	ND	%	0.01	AOAC 969.33.996.06	25/11/2019	
C24:0 (Ac. lignocárico)	0.43	%	0.01	AOAC 969.33.996.06	25/11/2019	
C24:1 (Ac. Tetracosanoico)	ND	%	0.01	AOAC 969.33.996.06	25/11/2019	

Muestra: **(170326) Soxhlet Pantaleon 2.**

Observaciones:

ANÁLISIS	RESULTADO	U/MEDIDA	LD	METODOLOGIA	FECHA ANALISIS
Perfil Acidos Grasos					
C04:0 (Ac. Butírico)	ND	%	0.01	AOAC 969.33.996.06	25/11/2019
C06:0 (Ac. Caprílico)	ND	%	0.01	AOAC 969.33.996.06	25/11/2019

Estos resultados corresponden únicamente a las muestras recibidas por el personal del Laboratorio. Se prohíbe la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización del Director Técnico.

Uc. Raúl Pantaleón Bello
Químico Biólogo Colegiado 1347
Director Técnico INLASA, S.A.

Supervisado por:

Continuación de anexo 2.



INLASA, S.A.
29 Calle 19-1 Zona 12
Teléfono: 24761795, 24760337
Fax: 24759349
E-mail: servicioalcliente@inlasa.com
www.inlasa.com

Página 3 de 4

INFORME DE RESULTADOS

Cliente: YOHANA LOPEZ
Dirección: CIDAD
Fecha Ingreso: 25/11/2019
Hora Ingreso: 09:09:00

Fecha Emisión: 30/12/2019
Hora Emisión: 13:41:00
Res. Muestra: Cliente
Numero Orden: 2019004573

Numero Informe: 1

Identificador	Resultado	U	Medida	ID	Metodología	Fecha Análisis
C080 (Ac. Caproico)	ND	%	0.01	ADAC 969.33 996.06	25/11/2019	
C100 (Ac. Cápico)	ND	%	0.01	ADAC 969.33 996.06	25/11/2019	
C110 (Ac. Undecanoico)	ND	%	0.01	ADAC 969.33 996.06	25/11/2019	
C120 (Ac. Dodecanoico)	0.97	%	0.01	ADAC 969.33 996.06	25/11/2019	
C130 (Ac. Tridecanoico)	ND	%	0.01	ADAC 969.33 996.06	25/11/2019	
C140 (Ac. Tetradecanoico)	1.48	%	0.01	ADAC 969.33 996.06	25/11/2019	
C141 cis (Ac. Tetradecanoico)	ND	%	0.01	ADAC 969.33 996.06	25/11/2019	
C150 (Ac. Pentadecanoico)	8.70	%	0.01	ADAC 969.33 996.06	25/11/2019	
C161 (Ac. Hexadecanoico)	ND	%	0.01	ADAC 969.33 996.06	25/11/2019	
C160 (Ac. Palmítico)	20.81	%	0.01	ADAC 969.33 996.06	25/11/2019	
C161 cis (Ac. Palmítico)	4.71	%	0.01	ADAC 969.33 996.06	25/11/2019	
C161 trans (Ac. Palmítico)	ND	%	0.01	ADAC 969.33 996.06	25/11/2019	
C170 (Ac. Heptadecanoico)	2.70	%	0.01	ADAC 969.33 996.06	25/11/2019	
C171 (Ac. Heptadecanoico)	ND	%	0.01	ADAC 969.33 996.06	25/11/2019	
C180 (Ac. Octadecanoico)	6.34	%	0.01	ADAC 969.33 996.06	25/11/2019	
C181 cis (Ac. Octadecanoico)	7.84	%	0.01	ADAC 969.33 996.06	25/11/2019	
C181 trans (Ac. Octadecanoico)	ND	%	0.01	ADAC 969.33 996.06	25/11/2019	
C181T (Ac. Octadecanoico)	ND	%	0.01	ADAC 969.33 996.06	25/11/2019	
C182 (Ac. Eicosenoico)	2.18	%	0.01	ADAC 969.33 996.06	25/11/2019	
C182W cis (Ac. Eicosenoico)	19.85	%	0.01	ADAC 969.33 996.06	25/11/2019	
C182W trans (Ac. Eicosenoico)	1.85	%	0.01	ADAC 969.33 996.06	25/11/2019	
C182W cis (Ac. gámmo Eicosenoico)	ND	%	0.01	ADAC 969.33 996.06	25/11/2019	
C200 (Ac. Araquidónico)	2.80	%	0.01	ADAC 969.33 996.06	25/11/2019	
C201 cis (Ac. Eicosanoico)	1.37	%	0.01	ADAC 969.33 996.06	25/11/2019	
C22-2W cis (Ac. Docosanoico)	ND	%	0.01	ADAC 969.33 996.06	25/11/2019	
C22-2W trans (Ac. Docosanoico)	ND	%	0.01	ADAC 969.33 996.06	25/11/2019	
C22-3W 5,14,17 (Ac. Docosanoico)	ND	%	0.01	ADAC 969.33 996.06	25/11/2019	
C22-3W 1,14,17 (Ac. Docosanoico)	ND	%	0.01	ADAC 969.33 996.06	25/11/2019	
C22-4W (Ac. Araquidónico)	ND	%	0.01	ADAC 969.33 996.06	25/11/2019	
C22-5W Ácido docosapentaenoico (DPA)	ND	%	0.01	ADAC 969.33 996.06	25/11/2019	
C210 (Ac. Heneicosanoico)	2.53	%	0.01	ADAC 969.33 996.06	25/11/2019	
C220 (Ac. Behénico)	1.47	%	0.01	ADAC 969.33 996.06	25/11/2019	
C221 (Ac. Bécico)	ND	%	0.01	ADAC 969.33 996.06	25/11/2019	
C22-5W Ácido docosapentaenoico (DPA)	ND	%	0.01	ADAC 969.33 996.06	25/11/2019	
C22-5W Ácido Docosapentaenoico	ND	%	0.01	ADAC 969.33 996.06	25/11/2019	
C22-6W Ácido docosahexaenoico (DHA)	ND	%	0.01	ADAC 969.33 996.06	25/11/2019	
C230 (Ac. Tricosanoico)	ND	%	0.01	ADAC 969.33 996.06	25/11/2019	
C240 (Ac. Ignotónico)	ND	%	0.01	ADAC 969.33 996.06	25/11/2019	
C241 (Ac. Tetracosanoico)	ND	%	0.01	ADAC 969.33 996.06	25/11/2019	

Muestra: [170327] Magdalena Complemento.

Observaciones:

ANÁLISIS	RESULTADO	U/MEDIDA	ID	METODOLOGIA	FECHA ANÁLISIS
Ferti Ácidos Grasos					
C040 (Ac. Butírico)	ND	%	0.01	ADAC 969.33 996.06	25/11/2019
C060 (Ac. Caproico)	ND	%	0.01	ADAC 969.33 996.06	25/11/2019
C080 (Ac. Caproico)	ND	%	0.01	ADAC 969.33 996.06	25/11/2019
C100 (Ac. Caproico)	0.45	%	0.01	ADAC 969.33 996.06	25/11/2019
C110 (Ac. Undecanoico)	ND	%	0.01	ADAC 969.33 996.06	25/11/2019

Estos resultados corresponden únicamente a los muestras recibidas por el personal del Laboratorio. Se prohíbe la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización del Director Técnico.

Lic. Raúl Fontana
Química Bióloga, C-101347
Director Técnico INLASA, S.A.

[Firma manuscrita]

Continuación de anexo 2.



INLASA, S.A.
 29 Calle 19-1 Zona 12
 Telefonos: 24761795, 24760337
 Fax: 24768549
 E-mail: serviciocliente@inlasa.com
 www.inlasa.com

Página 4 de 4

INFORME DE RESULTADOS

Cliente: **YOHANA LOPEZ**
 Dirección: **CIUDAD**
 Fecha Ingreso: **26/11/2019**
 Hora Ingreso: **09:09:00**

Fecha Emisión: **10/12/2019**
 Hora Emisión: **13:41:00**
 Ets. Muestra: **Cliente**
 Numero Orden: **2019004573**

Numero Informe: 1

C120 (Ac. Láctica)	1.50	%	0.01	ADAC 989.33 996.06	25/11/2019
C130 (Ac. Indoleacético)	ND	%	0.01	ADAC 989.33 996.06	25/11/2019
C140 (Ac. Anilino)	1.61	%	0.01	ADAC 989.33 996.06	25/11/2019
C141-cs (Ac. Metabólico)	0.68	%	0.01	ADAC 989.33 996.06	25/11/2019
C150 (Ac. Pentadecanoico)	0.94	%	0.01	ADAC 989.33 996.06	25/11/2019
C161 (Ac. Pentadecanoico)	0.44	%	0.01	ADAC 989.33 996.06	25/11/2019
C160 (Ac. Palmítico)	18.71	%	0.01	ADAC 989.33 996.06	25/11/2019
C161-cs (Ac. Palmítico)	1.67	%	0.01	ADAC 989.33 996.06	25/11/2019
C161-rama (Pentadecanoato)	0.88	%	0.01	ADAC 989.33 996.06	25/11/2019
C170 (Ac. Margarico)	0.91	%	0.01	ADAC 989.33 996.06	25/11/2019
C171 (Ac. Heptadecanoico)	ND	%	0.01	ADAC 989.33 996.06	25/11/2019
C180 (Ac. Estéarico)	4.19	%	0.01	ADAC 989.33 996.06	25/11/2019
C181-cs (Ac. Oleico)	0.29	%	0.01	ADAC 989.33 996.06	25/11/2019
C181-rama (Elaeico)	2.32	%	0.01	ADAC 989.33 996.06	25/11/2019
C182 (Ac. Vaccínico)	ND	%	0.01	ADAC 989.33 996.06	25/11/2019
C182-rama (Unoleico)	4.05	%	0.01	ADAC 989.33 996.06	25/11/2019
C182W3-cs (Ac. Linoléico)	13.73	%	0.01	ADAC 989.33 996.06	25/11/2019
C182W3 (Ac. Linoléico)	1.79	%	0.01	ADAC 989.33 996.06	25/11/2019
C182W4 (Ac. gásmico Unsaturado)	ND	%	0.01	ADAC 989.33 996.06	25/11/2019
C200 (Ac. Araquídico)	3.78	%	0.01	ADAC 989.33 996.06	25/11/2019
C201-cs (Ac. Bicosadecanoico)	ND	%	0.01	ADAC 989.33 996.06	25/11/2019
C202W4 (Ac. Bicosadecanoico)	ND	%	0.01	ADAC 989.33 996.06	25/11/2019
C202W3 6,14,17 (Ac. Bicosadecanoico)	ND	%	0.01	ADAC 989.33 996.06	25/11/2019
C202W4 11,14,17 (Ac. Bicosadecanoico)	ND	%	0.01	ADAC 989.33 996.06	25/11/2019
C202W4 (Ac. Araquídico)	ND	%	0.01	ADAC 989.33 996.06	25/11/2019
C202W3 Bicosadecanoico (BPA)	ND	%	0.01	ADAC 989.33 996.06	25/11/2019
C210 (Ac. Heneicosadecanoico)	ND	%	0.01	ADAC 989.33 996.06	25/11/2019
C220 (Ac. Behénico)	1.60	%	0.01	ADAC 989.33 996.06	25/11/2019
C221 (Ac. Erúico)	ND	%	0.01	ADAC 989.33 996.06	25/11/2019
C222W4 Ácido docosapentanoico (BPA)	ND	%	0.01	ADAC 989.33 996.06	25/11/2019
C222W4 (Ácido Docosapentanoico)	ND	%	0.01	ADAC 989.33 996.06	25/11/2019
C222W4 Docosahexanoico (BPA)	ND	%	0.01	ADAC 989.33 996.06	25/11/2019
C230 (Ac. Tricosáico)	ND	%	0.01	ADAC 989.33 996.06	25/11/2019
C240 (Ac. Ignoicáico)	4.35	%	0.01	ADAC 989.33 996.06	25/11/2019
C241 (Ac. Felicosadecanoico)	ND	%	0.01	ADAC 989.33 996.06	25/11/2019

Última línea **

LD: Límite Detección LMP: Límite Máximo Permitido LMA: Límite Máximo Aceptable

Estos resultados corresponden únicamente a las muestras recibidas por el personal del Laboratorio.
 Se prohíbe la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización del Director Técnico.

Lic. Raúl Pantoja Piñón
 Químico Biólogo, Colegiado 1347
 Director Técnico INLASA, S.A.

Supervisado por:

Fuente: resultado del laboratorio INLASA.