



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

**EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO EXTRACTIVO DE LA FRACCIÓN LIPÍDICA DE LA SEMILLA DEL ZAPOTE (*Pouteria sapota*) UTILIZANDO LA TÉCNICA DE EXTRACCIÓN SOXHLET Y SU CARACTERIZACIÓN FISCOQUÍMICA PARA SU UTILIZACIÓN INDUSTRIAL**

**Elder Estuardo Villatoro Hernández**  
Asesorado por el Ing. Gerardo Ordoñez

Guatemala, noviembre de 2020

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO EXTRACTIVO DE LA FRACCIÓN LIPÍDICA DE LA SEMILLA DEL ZAPOTE (*Pouteria sapota*) UTILIZANDO LA TÉCNICA DE EXTRACCIÓN SOXHLET Y SU CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA PARA SU UTILIZACIÓN INDUSTRIAL**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**ELDER ESTUARDO VILLATORO HERNÁNDEZ**  
ASESORADO POR EL ING. GERARDO ORDOÑEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO QUÍMICO**

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2020

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 |
| EXAMINADORA | Inga. Mercedes Esther Roquel Chávez   |
| EXAMINADOR  | Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez      |
| EXAMINADOR  | Ing. Estuardo Edmundo Monroy Benítez  |
| 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:

**EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO EXTRACTIVO DE LA FRACCIÓN LIPÍDICA DE LA SEMILLA DEL ZAPOTE (*Pouteria sapota*) UTILIZANDO LA TÉCNICA DE EXTRACCIÓN SOXHLET Y SU CARACTERIZACIÓN FISCOQUÍMICA PARA SU UTILIZACIÓN INDUSTRIAL**

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

**Elder Estuardo Villatoro Hernández**

Guatemala 28 de febrero de 2020

Ingeniero  
Williams Guillermo Álvarez Mejía  
DIRECTOR  
Escuela Ingeniería Química  
Presente.

Estimado Ingeniero Álvarez:

Le saludo cordialmente, deseándole éxitos en sus actividades. Por medio de la presente hago constar que he revisado y aprobado el Informe Final del trabajo de graduación titulado: "Evaluación del rendimiento extractivo de la fracción lipídica de la semilla del zapote (*Pouteria Sapota*) utilizando la técnica de extracción Soxhlet y su caracterización fisicoquímica para su utilización industrial", elaborado por el estudiante de la carrera de Ingeniería Química, Elder Estuardo Villatoro Hernández, quien se identifica con el registro académico 2012-12600 y con el CUI 2116 45141 1301

Agradeciendo la atención a la presente, me suscribo de usted,

Atentamente,



Gerardo Ordoñez  
ASESOR

Ingeniero Químico  
Colegiado activo no. 1296

**Gerardo Ordoñez  
Ingeniero Químico  
Colegiado No. 1296**



Guatemala, 13 de agosto de 2020.  
Ref. EIQ.TG-IF.028.2020.

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

Estimado Ingeniero Álvarez:

Como consta en el registro de evaluación, correlativo **056-2017**, 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: **Elder Estuardo Villatoro Hernández**.

Identificado con número de carné: **2116451411301**.

Identificado con registro académico: **201212600**.

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:

### **EVALUACION DEL RENDIMIENTO EXTRACTIVO DE LA FRACCIÓN LIPÍDICA DE LA SEMILLA DEL ZAPOTE (*Pouteria sapota*) UTILIZANDO LA TÉCNICA DE EXTRACCIÓN SOXHLET Y SU CARACTERIZACIÓN FISCOQUÍMICA PARA SU UTILIZACIÓN INDUSTRIAL**

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por:

**Gerardo Ordoñez, 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 ENSEÑADA A TODOS"

Cesar Alfonso García Guerra  
profesional de la Ingeniería Química  
COORDINADOR DE TERNA  
Tribunal de Revisión  
Trabajo de Graduación

C.c.: archivo



Guatemala, 27 de octubre de 2020.

Ref. EIQ.275.2020

**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 **EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO EXTRACTIVO DE LA FRACCIÓN LIPÍDICA DE LA SEMILLA DEL ZAPOTE (Pouteria Sapota) UTILIZANDO LA TÉCNICA DE EXTRACCIÓN SOXHLET Y SU CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA PARA SU UTILIZACIÓN INDUSTRIAL** del(la) estudiante Elder Estuardo Villatoro Hernández, 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"**

*[Firma]*  
Ing. Williams G. Gómez Mejía, M.Sc.  
DIRECTOR  
Escuela de Ingeniería Química



Cc. Archivo  
WGAM/mpea



**Formando Ingenieros Químicos en Guatemala desde 1939**



**NO SALGAS  
QUÉDATE EN  
CASA**

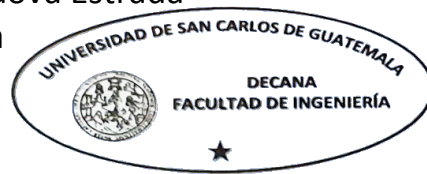


DTG. 348.2020.

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: **EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO EXTRACTIVO DE LA FRACCIÓN LIPÍDICA DE LA SEMILLA DEL ZAPOTE (*Pouteria sapota*) UTILIZANDO LA TÉCNICA DE EXTRACCIÓN SOXHLET Y SU CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA PARA SU UTILIZACIÓN INDUSTRIAL**, presentado por el estudiante universitario: **Elder Estuardo Villatoro Hernández**, 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, noviembre de 2020

AACE/asga



## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Por ser el guía para conseguir este gran logro.
- Mis padres** Rolando Villatoro y Marina Hernández, por ser padres ejemplares y apoyarme incondicionalmente para culminar mis estudios.
- Mis hermanos** Walter, Rosario, Donis, Selvyn y Jairon Villatoro, por su apoyo y motivación para completar mi carrera.
- Mis sobrinos** Lourdes, Sebastián, Pablo Villatoro Rodríguez, Belén, Diego y Gabriel López Villatoro, por la alegría e ilusión que me trasladan.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

**Universidad de San  
Carlos de Guatemala**

Por ser la institución académica que me permitió formarme como profesional.

**Facultad de Ingeniería**

Por permitirme estudiar la carrera de ingeniería Química.

**Mis amigos de la Facultad**

Henio López, Frida Navichoque, Franklin Ajcholon, Susy Carranza, Francisco Catalán, Rodrigo Arévalo, Romildo Dardon, Katherine Morales, Luis Cruz y a todos los que me ayudaron a conseguir este gran logro.

## ÍNDICE GENERAL

|   |      |
|---|------|
| ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....                                  | V    |
| LISTA DE SÍMBOLOS .....                                       | VII  |
| GLOSARIO .....  | IX   |
| RESUMEN.....  | XI   |
| OBJETIVOS.....  | XIII |
| HIPÒTESIS.....  | XV   |
| INTRODUCCIÓN .....  | XVII |
| <br>  |      |
| 1. ANTECEDENTES .....   | 1    |
| <br>  |      |
| 2. MARCO TEÓRICO.....   | 5    |
| 2.1. Zapote .....   | 5    |
| 2.2. Reseña histórica de cultivo del zapote .....             | 5    |
| 2.3. Zona óptima de cultivo.....                              | 6    |
| 2.4. Producción de zapote .....                               | 6    |
| 2.5. Usos medicinales .....                                   | 6    |
| 2.6. Propiedades .....  | 7    |
| 2.7. Los lípidos .....  | 8    |
| 2.8. Ácidos grasos .....                                      | 8    |
| 2.8.1. Lípidos relacionados con ácidos grasos .....           | 9    |
| 2.9. Calidad de los aceites.....                              | 10   |
| 2.10. Uso de los aceites .....                                | 11   |
| 2.10.1. Industriales .....                                    | 11   |
| 2.10.2. Como fluido térmico en la industria alimentaria ..... | 11   |
| 2.10.3. Fines diversos.....                                   | 12   |

|         |   |    |
|---------|---|----|
| 2.11.   | Procesos de extracción de aceite .....  | 12 |
| 2.11.1. | Por expresión .....   | 12 |
| 2.11.2. | Por solubilidad en solventes no polares .....                                     | 12 |
| 2.11.3. | Sistema combinado .....   | 13 |
| 2.12.   | Métodos de extracción .....   | 13 |
| 2.13.   | Lixiviación.....  | 13 |
| 2.14.   | Proceso de lixiviación.....   | 14 |
| 2.15.   | Cromatografía .....   | 14 |
| 2.16.   | Clasificación de los métodos de separación en<br>cromatografía .....              | 15 |
| 2.17.   | Cromatografía gaseosa.....  | 16 |
| 2.18.   | Cromatografía gas-líquido (GLC) .....   | 16 |
| 2.19.   | Cromatografía gaseosa con acoplamiento a espectrometría<br>de masas (CG-EM) ..... | 17 |
| 3.      | DISEÑO METODOLOGICO.....  | 19 |
| 3.1.    | Descripción de variables .....  | 19 |
| 3.1.1.  | Variables dependientes .....  | 19 |
| 3.1.2.  | Variables independientes .....  | 20 |
| 3.2.    | Delimitación de campo de estudio .....  | 20 |
| 3.2.1.  | Solventes utilizados.....   | 20 |
| 3.2.2.  | Laboratorios utilizados .....   | 21 |
| 3.3.    | Recursos humanos disponibles .....  | 21 |
| 3.4.    | Recursos materiales disponibles.....  | 21 |
| 3.4.1.  | Materia prima .....   | 21 |
| 3.4.2.  | Reactivos.....  | 21 |
| 3.4.3.  | Materiales auxiliares.....  | 22 |
| 3.4.4.  | Cristalería .....   | 22 |
| 3.4.5.  | Equipo .....  | 22 |

|          |   |    |
|----------|---|----|
| 3.4.6.   | Instrumento de medición .....   | 24 |
| 3.5.     | Técnica cuantitativa.....   | 25 |
| 3.6.     | Recolección y ordenamiento de la información .....                                  | 25 |
| 3.7.     | Tabulación, ordenamiento y procesamiento de información....                         | 27 |
| 3.7.1.   | metodología experimental .....  | 27 |
| 3.7.1.1. | Método de extracción de la fracción<br>lipídica del zapote .....                    | 27 |
| 3.7.1.2. | Determinación del rendimiento de la<br>fracción lipídica a escala laboratorio....   | 28 |
| 3.7.1.3. | Determinación de la densidad del<br>extracto a escala laboratorio.....              | 28 |
| 3.7.1.4. | Medición de índice de refracción .....  | 29 |
| 3.7.1.5. | Cromatografía gaseosa con<br>acoplamiento de espectrometría de<br>masas GC-MS ..... | 29 |
| 4.       | RESULTADOS .....  | 31 |
| 5.       | INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....   | 43 |
|          | CONCLUSIONES .....  | 47 |
|          | RECOMENDACIONES.....  | 49 |
|          | BIBLIOGRAFÍA.....   | 51 |
|          | APÉNDICES .....   | 53 |



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

|    |  |    |
|----|--|----|
| 1. | Recolección y ordenamiento de la información.....  | 26 |
| 2. | Rendimiento promedio de la fracción lipídica extraída de la semilla del zapote ( <i>Pouteria Sapota</i> ) en función del solvente utilizado.....                   | 33 |
| 3. | Monitoreo de la densidad del extracto de la semilla del zapote ( <i>Pouteria Sapota</i> ) utilizando hexano como solvente .....                                    | 34 |
| 4. | Monitoreo de la densidad del extracto de la semilla del zapote ( <i>Pouteria Sapota</i> ) utilizando etanol como solvente .....                                    | 35 |
| 5. | Comparativo de las repeticiones de la densidad del extracto de la semilla del zapote ( <i>Pouteria Sapota</i> ) utilizando hexano como solvente.....               | 36 |
| 6. | Comparativo de las repeticiones de la densidad del extracto de la semilla del zapote ( <i>Pouteria Sapota</i> ) utilizando etanol como solvente.....               | 37 |
| 7. | Diagrama ternario correspondiente a la extracción de la fracción lipídica de la semilla del zapote ( <i>Pouteria Sapota</i> ), utilizando la técnica soxhlet ..... | 38 |

### TABLAS

|     |  |    |
|-----|--|----|
| I.  | Composición de la grasa de la semilla de zapote .....                            | 7  |
| II. | Variables dependientes en la extracción de la fracción lipídica del zapote ..... | 19 |

|       |  |    |
|-------|--|----|
| III.  | Variables independientes en la extracción de la fracción lipídica de la semilla del zapote ( <i>Pouteria Sapota</i> ) .....                                | 20 |
| IV.   | Rendimiento porcentual de la fracción lipídica extraída con hexano de la semilla de zapote ( <i>Pouteria Sapota</i> ) con 25 ciclos extractivos ....       | 31 |
| V.    | Rendimiento porcentual de la fracción lipídica extraída con etanol de la semilla de zapote ( <i>Pouteria Sapota</i> ) con 25 ciclos extractivos .....      | 31 |
| VI.   | Densidad de la fracción lipídica obtenida, con etanol y hexano de la semilla de zapote ( <i>Pouteria Sapota</i> ) .....                                    | 32 |
| VII.  | Índice de refracción de la fracción lipídica obtenida, con etanol y hexano de la semilla de zapote ( <i>Pouteria Sapota</i> ).....                         | 32 |
| VIII. | Número de ciclos realizados 1 .....  | 34 |
| IX.   | Número de ciclos realizados 2 .....  | 35 |
| X.    | Metabolitos secundarios detectados con etanol en la fracción lipídica utilizando cromatografía gaseosa acoplada a espectrometría de masas (GC/MS/DS) ..... | 39 |
| XI.   | Metabolitos secundarios detectados con hexano en la fracción lipídica utilizando cromatografía gaseosa acoplada a espectrometría de masas (GC/MS/DS) ..... | 40 |
| XII.  | Aplicaciones industriales potenciales de ácidos grasos encontrados en la fracción lipídica de la semilla del zapote ( <i>Pouteria Sapota</i> ) .....       | 41 |



## LISTA DE SÍMBOLOS

| <b>Símbolo</b>               | <b>Significado</b>    |
|------------------------------|-----------------------|
| <b>Atm</b>                   | Atmosfera             |
| <b>Cm</b>                    | Centímetro            |
| <b><math>\epsilon</math></b> | Constante dieléctrica |
| <b><math>\rho</math></b>     | Densidad              |
| <b>°C</b>                    | Grados Celsius        |
| <b>g</b>                     | Gramo                 |
| <b>h</b>                     | Hora                  |
| <b>Hi</b>                    | Hipótesis estadística |
| <b>Ho</b>                    | Hipótesis nula        |
| <b>Kg</b>                    | Kilogramo             |
| <b>m</b>                     | Metro                 |
| <b>mL</b>                    | Mililitro             |
| <b>mm</b>                    | Milímetro             |
| <b>No.</b>                   | Número                |
| <b>%</b>                     | Porcentaje            |
| <b>S</b>                     | Segundo               |



## GLOSARIO

|                               |  |
|-------------------------------|--|
| <b>Aceite esencial</b>        | Fracción líquida volátil que contiene las sustancias responsables del aroma de las plantas.  |
| <b>Ácido graso</b>            | Molécula orgánica formada por una larga cadena hidrocarbonada, en cuyo extremo hay un grupo carboxilo.   |
| <b>Alcohol</b>                | Derivado hidroxilado de un hidrocarburo parafínico o cicloparafínico, en donde el grupo OH está ligado a un átomo de carbono saturado.                                       |
| <b>Cromatografía</b>          | Método de análisis químico para la separación de los componentes de una mezcla por distribución entre dos fases, una estacionaria y otra móvil.                              |
| <b>Cromatografía de gases</b> | Método físico de separación en el cual los componentes a separar se distribuyen entre dos fases, una fase estacionaria y un gas que pasa a lo largo de la fase estacionaria. |
| <b>Constante dieléctrica</b>  | Es la capacidad de una mezcla de solventes de inducir un momento dipolar.  |

|                                |  |
|--------------------------------|--|
| <b>Densidad</b>                | Es una magnitud escalar referida a la cantidad de masa en un determinado volumen de una sustancia o un objeto sólido.  |
| <b>Extracto</b>                | Producto sólido o espeso obtenido por evaporación de un zumo o de una disolución de sustancias vegetales o animales.   |
| <b>Extracción</b>              | Separación de los componentes de cualquier sustancia por el contacto con una fase líquida.   |
| <b>Metabolitos secundarios</b> | Compuestos químicos sintetizados por las plantas que cumplen funciones no esenciales en ellas, de forma que su ausencia no es fatal para la planta, no tienen un rol directo en el crecimiento o reproducción. |
| <b>Rendimiento</b>             | Relación de masa de oleorresina extraída en comparación con la masa de materia prima inicial.  |
| <b>Tamiz</b>                   | Cedazo de malla utilizado para clasificar las partes gruesas de las finas.   |
| <b>Técnica Soxhlet</b>         | Consiste en el lavado sucesivo de una mezcla sólida con un determinado solvente, que va extrayendo de la mezcla de los componentes más solubles de él.   |

## RESUMEN

El trabajo de graduación presenta la evaluación del rendimiento extractivo de la fracción lipídica de la semilla del zapote (*Pouteria sapota*) utilizando la técnica de extracción Soxhlet y su caracterización fisicoquímica para su utilización industrial a nivel laboratorio.

Para la realización del estudio de la extracción lipídica del zapote se inició con la recolección de la semilla limpia, se trituro la muestra hasta alcanzar el tamaño de partícula deseable; luego, se secó en un secador de bandejas hasta obtener una humedad menor al 10 % w/w. Por medio de la técnica de extracción Soxhlet y utilizando como solvente etanol y hexano se obtuvo la fracción lipídica de la semilla del zapote. Durante el proceso de extracción se monitoreó la densidad del extracto a cada dos ciclos para observar la variación de esta propiedad fisicoquímica. Al terminar el tiempo de agotamiento, se concentró la solución por destilación al vacío para comparar los rendimientos obtenidos de cada solvente utilizado, etanol y hexano.

Se determinó que el rendimiento de extracción del hexano utilizado como solvente fue mayor, con un 40,13 % y con etanol, de 13,51 %. También se determinaron las propiedades fisicoquímicas. Se obtuvo una densidad de 1,236 g/mL utilizando hexano como solvente y de 1,118 g/mL con etanol. Para el índice de refracción la variación es insignificante, de acuerdo con los siguientes datos: 1,476 trabajando con hexano y 1,474 con etanol. Se determinó la presencia de metabolitos secundarios, a través de la técnica de cromatografía gaseosa acoplada a espectrometría de masas (CGC/MS/DS), donde se evidenció

presencia de esteres ftálicos y de ácidos como linoleico, oleico, palmítico, esteárico entre otros.

## OBJETIVOS

### General

Evaluación del rendimiento extractivo de la fracción lipídica de la semilla del zapote (*Pouteria sapota*) utilizando la técnica de extracción Soxhlet y su caracterización fisicoquímica a nivel laboratorio.

### Específicos

1. Evaluar el rendimiento de la fracción lipídica en la semilla del zapote (*Pouteria sapota*) en función del solvente a utilizar etanol y hexano
2. Determinar las propiedades fisicoquímicas de la fracción lipídica obtenida de la semilla del zapote (*Pouteria sapota*), a través de la cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas.
3. Realizar un gráfico del sistema ternario de extracción sólido líquido con la técnica Soxhlet en función del solvente por utilizar.
4. Identificar algún compuesto que pueda ser útil en el uso industrial.





## HIPÒTESIS

El rendimiento, la densidad y el índice de refracción de la fracción lipídica que se obtiene de la semilla del zapote (*Pouteria sapota*), extraída por la técnica Soxhlet es afectada en función del tipo de solvente a utilizar etanol y hexano.

- Hipótesis estadística

**Hi1:** El rendimiento, la densidad y el índice de refracción de la fracción lipídica que se obtiene de la semilla del zapote (*Pouteria sapota*), extraída por la técnica Soxhlet si se ve afectada en función del tipo de solvente a utilizar etanol y hexano.

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

**Hi2:** El rendimiento, la densidad y el índice de refracción de la fracción lipídica que se obtiene de la semilla del zapote (*Pouteria sapota*), extraída por la técnica Soxhlet no se ve afectada en función del tipo de solvente a utilizar etanol y hexano.

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



## INTRODUCCIÓN

La familia Sapotáceas comprende un gran grupo de especies arbóreas que producen frutos de una gran variedad con valor comercial. El zapote (*Pouteria sapota*) es una variedad de especie con alto potencial desde el punto de vista frutícola. La importancia de la especie (*Pouteria Sapota*) radica principalmente en el valor comercial de sus frutos, los cuales son utilizados en alimentación humana en regiones donde crecen de forma silvestre o cultivada.

El zapote es una especie nativa de Mesoamérica, son pocos los estudios sobre la especie que se han realizado en Guatemala. Los datos disponibles para las Sapotáceas son relativamente escasos. De acuerdo con la AGEXPORT los frutales tropicales constituyen el 13 % del valor de las exportaciones totales del sector tradicional. Entre los frutales de importancia económica para Guatemala está el mango, el aguacate, los cítricos y las Sapotáceas que han aumentado tanto en producción como en exportación; sin embargo, dentro de estos últimos, el zapote es el que tiene mayores limitantes de fomento en comparación con otras especies. Una de estas es su propagación asexual recomendada para producir en menor tiempo comparado con la reproducción a través de la semilla. En Guatemala se ha practicado el injerto de zapote, pero los resultados no han sido satisfactorios.

Este trabajo de investigación es la evaluación del rendimiento extractivo de la fracción lipídica de la semilla del zapote (*Pouteria Sapota*) utilizando la técnica de extracción Soxhlet y su caracterización fisicoquímica a nivel laboratorio, utilizando para ello solventes de alta polaridad como: etanol y hexano.



## 1. ANTECEDENTES

En el 2011 Liliana Merino Sánchez, de la Universidad Veracruzana de México, presenta el trabajo de graduación titulado *Evaluación de propiedades fisicoquímicas y actividad antioxidante de zapote negro (Diospytos digyna Jacq)*. El estudio se realizó empleando los diferentes estados de maduración del zapote, se evaluó el efecto de la temperatura de almacenamiento sobre las propiedades físico-químicas y antioxidantes del zapote negro.

En el 2008, Lourdes Ramírez de la Escuela de Ingeniería Química, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, realizó su 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 extrajo el aceite por prensado mediante tratamiento térmico por extrusión y compara 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 2002, Telma cano, Blanca Chávez, Jorge Godínez y David Monzón desarrollaron el proyecto (06-25), PUIDI-DIGI, denominado *Obtención y caracterización del aceite esencial y fracción lipídica de la pimienta negra (Piper nigrum L.) Cultivada en Guatemala*. Evaluaron tres distintos tamaños de lote para la extracción de aceite esencial. La extracción de aceite esencial y fijo se realizó en triplicado con un tiempo de extracción de 4 horas, un tamaño de partícula entre 1 190 y 841 micrones y 15 % de humedad. Para la extracción de oleorresina en lo cual se evaluaron dos factores: 3 tamaños de lote (15, 10, 9 libras) y dos concentraciones de solvente (etanol (CH<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>OH) al 95 % y 70 %).

El estudio también evaluó las propiedades fisicoquímicas del aceite esencial y fracción lipídica. Al finalizar la ejecución del procedimiento se concluyó que el valor más alto de porcentaje de rendimiento de aceite esencial de la pimienta negra cultivada en Guatemala fue de 0,96 % para un lote de 14 libras, valor cercano al límite inferior que reporta la literatura que están en el rango entre 1-2,3 %.

En el 2011 Romy Carlota Godínez Morales presenta el proyecto de investigación titulado *Evaluación del rendimiento de extracción de la fracción lipídica en la semilla del melón variedad Honeydew (Cucumis melo L.) Mediante la técnica de extracción Soxhlet y la caracterización fisicoquímica y fitoquímica.*

El estudio se realizó empleando tres solventes: etanol, metanol e isopropanol comparando el rendimiento de la fracción lipídica en la semilla del melón variedad Honeydew (*Cucumis melo L.*) en función de los tres tipos de solvente. Por medio de un análisis estadístico se determinó que existe diferencia significativa en el rendimiento porcentual en función de los solventes alcohólicos utilizados y quien presenta mayor rendimiento extractivo es el 2- propanol. Además, se determinó que la cromatografía gaseosa acoplada a espectrometría de masas (CGC/MS/DS) se detectaron esteres ftálicos diverso, ácido linoléico y ionol (C<sub>15</sub>H<sub>24</sub>O)

En el 2009 Adrián Antonio Soberanis Ibáñez presenta el proyecto de investigación titulado *Evaluación de propiedades fisicoquímicas de la oleorresina de cardamomo (Elletteria cardamomum, L. Matton)* obtenida a nivel laboratorio utilizando dos métodos de lixiviación a tres diferentes temperaturas. El estudio se realizó empleado los métodos de maceración dinámica y maceración estática evaluando la extracción a temperaturas de 25 °C 50 °C y 78 °C y por medio de análisis estadístico se determinó que si existe diferencia significativa entre cada

uno de los métodos. También se determinó que el método con mayor rendimiento fue la maceración dinámica a 25 °C con un rendimiento de  $20\,968 \pm 1\,073$  %.





## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Zapote**

El cultivo del zapote (*Pouteria Sapota*), en los últimos años, ha cobrado importancia debido a la apertura comercial del mundo, el aumento de productos de exportación no tradicionales que ha experimentado Guatemala y el interés de diversificar la producción agrícola.

### **2.2. Reseña histórica de cultivo del zapote**

El zapote es originario de las tierras bajas de América Central. Su cultivo se extiende desde el sur de Florida (Estados Unidos) hasta Ecuador y Brasil y, desde el nivel del mar hasta los 600 metros de altitud. El fruto del zapote (*Pouteria Sapota*) es delicioso.

Su denominación científica es el nombre latinizado de dos vocablos indígenas con los que se designaban algunas especies de la familia de las Sapotáceas, al cual pertenece. Es un árbol de 12 a 30 metros de alto con tronco recto de corteza interna intensamente rosada, con olor a almendras y sabor amargo que produce una abundante cantidad de látex blanco y con flores blancuzcas. Se propaga mediante semillas, pero debido a las variaciones en los frutos de las nuevas plantas, actualmente, se utiliza la multiplicación por injerto de los árboles que produzcan los frutos más exquisitos.

### **2.3. Zona óptima de cultivo**

En Guatemala, el zapote se produce en localidades por debajo de los 1 200 msnm. Con frecuencia se cultiva en la mayoría de las localidades de la costa sur y costa norte, así como en áreas de bosque seco, pero con auxilio de irrigación. Como resultado del inventario realizado en la mayor parte del país. El dato aproximado de la producción nacional de zapote es de 50 000 toneladas, con un porcentaje de pérdida del 25 %.

### **2.4. Producción de zapote**

El zapote se produce más ampliamente en la costa sur occidental del país. En esa área hay alrededor de 2 000 productores que cultivan zapote como sombra de café y que alcanzan a producir alrededor de 7 000 toneladas de zapote, del cual el 25 % se destina a la industria, 25 % se exporta a México y El Salvador y 50 % para consumo fresco en el país. Actualmente, el zapote es una especie importante en la fruticultura de Guatemala, por lo cual se está incrementando su cultivo en la modalidad de monocultivo.

### **2.5. Usos medicinales**

La semilla tiene varios usos tradicionales medicinales, cosméticos y alimenticios. Su empleo y obtención se aplica en tratamientos rudimentarios, rústicos, como materia vegetal de desecho o como productos extractivos con disolventes muy costosos. A partir de una extracción se obtiene 45 y 60 % de una sustancia blanquecina parecida a la vaselina semisólida. Recién extraída es comestible. Algunas veces se usa en jabones y se considera que tiene gran potencial en la industria jabonera, en la de cosméticos y en productos farmacéuticos. La semilla se administra vía oral para contrarrestar enfermedades

renales y como antirreumático. Aplicada localmente sirve para enfermedades pectorales y como sedativo en malestares de los ojos y oídos. El aceite de la semilla sirve para dar brillo y contrarrestar la caída del cabello (alopecia).

## 2.6. Propiedades

Las semillas contienen un promedio de 50,6 % de grasa blanca con consistencia de vaselina, no secante, comestibles recién extraída y refinada, de cualidades excepcionales para la industria jabonera, lubricación, industria de cremas y cosméticos, y otros variados usos farmacéuticos. La composición de la grasa se muestra en la tabla I.

Tabla I. **Composición de la grasa de la semilla de zapote**

|                               |             |
|-------------------------------|-------------|
| Gravedad específica a 25 °C   | 0.9         |
| Indice de refracción a 40 °C  | 1.5         |
| Indice de saponificación      | 188.9       |
| Materia no saponificable (%)  | 1.4         |
| Indice de yodo                | 70.1        |
| Indice de acidez              | 2.1         |
| Punto de solidificación       | 15°C a 16°C |
| Punto de fusión               | 38°C a 39°C |
| Acidos grasos saturados (%)   | 30.2        |
| Acidos grasos insaturados (%) | 63.8        |
| Indice de Polenske            | 0.4         |
| Indice de Reichert-Meisse     | 0.2         |

Fuente: AZURDIA, César. *Composición de la grasa de la semilla de zapote.*

[https://books.google.com.gt/books?id=2SHDWrt0NPKC&pg=PA45&lpg=PA45&dq=Aguilar,++\(1966\).+Composici%C3%B3n+de+la+grasa+de+la+semilla+de+zapote&source=bl&ots=TApKpZ\\_zuj&sig=ACfU3U1ARgVXD1MbAT9Wgl2amaArnEKUwg&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwj3hsnzlvHrAhVlj1kKHQMaCSgQ6AEwAnoECAgQAQ#v=onepage&q=Aguilar%20\(1966\).%20Composici%C3%B3n%20de%20la%20grasa%20de%20la%20semilla%20de%20zapote&f=false](https://books.google.com.gt/books?id=2SHDWrt0NPKC&pg=PA45&lpg=PA45&dq=Aguilar,++(1966).+Composici%C3%B3n+de+la+grasa+de+la+semilla+de+zapote&source=bl&ots=TApKpZ_zuj&sig=ACfU3U1ARgVXD1MbAT9Wgl2amaArnEKUwg&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwj3hsnzlvHrAhVlj1kKHQMaCSgQ6AEwAnoECAgQAQ#v=onepage&q=Aguilar%20(1966).%20Composici%C3%B3n%20de%20la%20grasa%20de%20la%20semilla%20de%20zapote&f=false)

Consulta: 21 de septiembre de 2019.

## **2.7. Los lípidos**

Constituyen un grupo de biomoléculas estructuralmente muy heterogéneo, pero con características comunes de solubilidad; es decir, son poco o nada solubles en agua, pero solubles en disolventes orgánicos (éter, benceno cloroformo). La mayor parte de los lípidos constituyen los aceites y grasas, como suelen ser productos de reserva y protección en el ser vivo, aunque no se debe olvidar que algunos lípidos complejos forman parte de las membranas biológicas, y de este modo participan activamente en muchos aspectos de la fisiología celular.

La mencionada heterogeneidad estructural de los lípidos dificulta cualquier clasificación sistemática. Aunque rara vez se hallan en estado libre, los llamados ácidos grasos, ácidos carboxílicos de cadena larga, forman parte de la inmensa mayoría de los lípidos, por ello se procederá a dividirlos en dos grupos:

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

## **2.8. Ácidos grasos**

Los ácidos grasos son ácidos carboxílicos de cadena larga, que se encuentran normalmente formando parte de otros lípidos, casi siempre por medio de enlaces éster y rara vez amida. Según la naturaleza de la cadena carbonatada, los ácidos grasos pueden ser saturados o insaturados, lineales, ramificados o alicíclicos y pueden contener como sustituyentes grupos hidroxilo u oxo.

### **2.8.1. Lípidos relacionados con ácidos grasos**

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

- Alcoholes superiores y ceras: por reducción de los ácidos grasos se obtienen alcoholes monohidroxílicos de cadena larga, los alcoholes superiores se encuentran en la naturaleza formando éteres con glicerol o ésteres con ácidos grasos.
- Glicéridos simples: son lípidos que constan de ácidos, aldehídos o alcoholes y glicerol. Los más abundantes contienen ácidos grasos unidos al glicerol por enlaces éster. Se distinguen como monoacilgliceroles, diacilgliceroles y triacilgliceroles.
- Fosfoglicéridos: son lípidos más polares que los glicéridos simples porque contienen algunos componentes hidrofílicos. La estructura de la molécula es tal que se distinguen una parte hidrofílica y otra hidrofóbica, bien diferenciadas.
- Esfingenina, cerámidos y esfingofosfolípidos: en algunos lípidos que contienen estructuras análogas a los diacilgliceroles, una de las cadenas apolares no procede de un ácido graso o derivado suyo por reducción, sino que forma parte de la llamada esfingenina, la cual se presenta en la naturaleza unida a un ácido graso mediante un enlace amida.
- Esfingoglicolípidos: son lípidos complejos formados por un cerámico y un mono u oligosacárido, unidos por un enlace glicosídico.

- Prostaglandinas: una clase de lípidos, emparentada metabólicamente con los ácidos grasos, químicamente se consideran derivados de un hipotético ácido protanoico. De 20 átomos de carbono, con un anillo pentagonal entre C8 y C12.

Se trata de un grupo heterogéneo de biomoléculas que se encuentran en mayor o menos cantidad en todos los seres vivos y, a veces, poseen gran actividad biológica como es el caso de las hormonas esteroideas.

Existen los aceites volátiles o esenciales que se extraen del grupo de las especies aromáticas. El grupo de las oleaginosas comprenden solo las que se utilizan para extraer aceites fijos.

Los ácidos grasos más comunes son el palmítico, esteárico, butírico, entre otros. Entre los insaturados se destacan como monoinsaturados el oleico y como poliinsaturados el linolénico, linoleico, entre otros. De todos los ácidos grasos el más difundido en los vegetales es el oleico.

En el reino vegetal las grasas se encuentran en mayor o menos proporción en todas las partes de la planta. En las semillas, generalmente, los lípidos se encuentran en cantidades menores a los glúcidos. Si existen en proporción superior se les llama semillas oleaginosas (soja, girasol, maní, algodón, entre otros).

## **2.9. Calidad de los aceites**

Es importante la calidad de los aceites fijos para justificar el cultivo de la especie que lo provee en forma rentable. Existen múltiples propiedades e índices que en su conjunto revelan el grado de calidad y conservación del aceite.

Las propiedades que definen la calidad de un aceite son el punto de fusión y de solidificación, densidad, índice de refracción, índice de acidez, índice de yodo, índice de peróxidos, índice de saponificación, entre otros.

## **2.10. Uso de los aceites**

Hay que tomar en cuenta que existen plantas cuyo aceite no tiene un único uso, por lo cual hay que considerar esta división:

- Industriales
- Como fluido térmico en la industria alimenticia
- Fines diversos

### **2.10.1. Industriales**

En este grupo el aceite de lino es el representante mundial y nacional. Este aceite, por su poder secante, posee valor industrial para producir capas protectoras, debido a la posibilidad de secarse después de su aplicación como películas bien adheridas y resistentes.

### **2.10.2. Como fluido térmico en la industria alimentaria**

Los aceites vegetales tienen una importancia cada vez mayor en la alimentación. Juegan un papel importante en la fijación del calcio, caroteno, tiamina, lactosa y con sus vitaminas A, D y K y contribuyen a proveer parcialmente a las necesidades de la alimentación humana. Entre las especies que proporcionan aceite comestible están el girasol, soja, maní, colza, algodón, cártamo.

### **2.10.3. Fines diversos**

El aceite de coco, jojoba, palma, etc. se utilizan en cosméticos, jabones, detergentes, entre otros. En este caso, existe un alto grado de sustitución con la grasa de origen animal.

## **2.11. Procesos de extracción de aceite**

A continuación, se describen los procesos de extracción de aceite.

### **2.11.1. Por expresión**

Una vez que las semillas han sido molidas, se le somete al prensado. Las prensas pueden ser hidráulicas, discontinuas y continuas. En la actualidad la extracción por presión se lleva a cabo casi exclusivamente por prensas continuas, por la economía de sus instalaciones, pero no realiza una profunda extracción de las materias grasas contenidas en sus semillas.

### **2.11.2. Por solubilidad en solventes no polares**

Este sistema se caracteriza por su gran rendimiento, poco empleo de mano de obra y fuerza motriz. Facilitan la recuperación del solvente no polar utilizado. Para el cumplimiento eficaz de los fenómenos de ósmosis, difusión y extracción, la materia prima debe recibir una adecuada preparación. Consiste en el laminado en el cual, el material, sin sufrir extracción ni molienda, toma forma de láminas delgadas que favorecen la difusión.



### **2.11.3. Sistema combinado**

Se hace una primera extracción utilizando el método por presión continúa y luego una segunda extracción con solvente. Cuando se usa solvente, se hace en forma combinada, es poco común el uso exclusivo del método por solvente.

### **2.12. Métodos de extracción**

De esta forma se obtienen los productos en formas farmacéuticas adecuadas para su administración oral o externa, de acuerdo con el lugar de acción que se recomiende.

### **2.13. Lixiviación**

La lixiviación, o extracción sólido-líquido, es un proceso en el que un disolvente líquido pasa a través de un sólido pulverizado para que se produzca la disolución de uno o más de los componentes solubles del sólido.

La extracción también puede ser líquido-líquido, en el que dos o más solventes entran en contacto parcial o totalmente, intercambiando masa debido a la polaridad de dichos solventes.

En la extracción del absoluto, este pasa a través de una extracción líquido-líquido y, por medio de la polaridad de los solventes utilizados se logra la remoción de fracciones lipídicas insolubles. De esta manera se logra un resultado de calidad. Este procedimiento es la forma más simple en la que se realiza una extracción sólido-líquido entre el material vegetal y hexano, después de extraído el hexánico se elimina el hexano y se realiza una extracción al residuo hexánico con etanol absoluto; se separa por filtración y decantación el solubilizado de

etanol absoluto, se destila para obtener el insoluble y se obtiene una oleoresina que es denominada absoluto.

#### **2.14. Proceso de lixiviación**

Lixiviación es la eliminación de una fracción soluble, en forma de solución, a partir de una fase sólida permeable e insoluble a la cual está asociada. La separación implica, normalmente, la disolución selectiva, con difusión o sin ella, pero en el caso extremo del lavado simple, consiste sólo en el desplazamiento (con alguna mezcla) de un líquido intersticial por otro, con el que es miscible. El constituyente soluble puede ser sólido o líquido y estar incorporado, combinado químicamente o adsorbido, o bien mantenido mecánicamente, en la estructura porosa del material insoluble.

#### **2.15. 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.

## **2.16. Clasificación de los métodos de separación en cromatografía**

Las distintas técnicas cromatográficas se pueden dividir según cómo 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

La cromatografía de gases se aplica a numerosos compuestos orgánicos. En el caso de compuestos no volátiles, se recurre a procesos denominados de derivatización, a fin de convertirlos en otros compuestos que se volatilicen en las condiciones de análisis.

## **2.17. Cromatografía gaseosa**

Técnica cromatográfica en la que la muestra se volatiliza y se inyecta en la cabeza de una columna cromatográfica. La elución se produce por el flujo de una fase móvil de gas inerte. A diferencia de los otros tipos de cromatografía, la fase móvil no interactúa con las moléculas del analito; su única función es la de transportar el analito a través de la columna.

## **2.18. 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 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 debe ser controlada a través de válvulas de gas. La inyección se realiza generalmente con microjeringas que contienen la muestra.

## **2.19. 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 a 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.



### 3. DISEÑO METODOLOGICO

#### 3.1. Descripción de variables

Las principales variables involucradas en la investigación se describen a continuación como dependientes o independientes.

##### 3.1.1. Variables dependientes

A continuación, se describen las variables dependientes en la extracción de la fracción lipídica del zapote.

Tabla II. **Variables dependientes en la extracción de la fracción lipídica del zapote**

| No | Variables                 | Unidad de medida |
|----|---------------------------|------------------|
| 1  | Porcentaje de rendimiento | %                |
| 2  | índice de refracción      | Adimensional     |
| 3  | Densidad                  | g/mL             |
| 4  | Componentes químicos      | %                |

Fuente: elaboración propia.

### 3.1.2. Variables independientes

A continuación, se describen las variables independientes en la extracción de la fracción lipídica de la semilla del zapote.

Tabla III. **Variables independientes en la extracción de la fracción lipídica de la semilla del zapote (*Pouteria Sapota*)**

| No | Variables                       | Unidad de medida |
|----|---------------------------------|------------------|
| 1  | Procedencia de la materia prima | No aplica        |
| 2  | Tipo de materia prima           | No aplica        |

Fuente: elaboración propia.

### 3.2. Delimitación de campo de estudio

La investigación esta enfocada a la extracción de la fracción lipídica de la semilla del zapote, la cual fue obtenida en San Agustín Acasagustlán, el Progreso. Las semillas fueron lavadas, secadas a temperatura ambiente y trasladadas en bolsas Ziploc para evitar que se perdieran fracciones volátiles.

#### 3.2.1. Solventes utilizados

En la investigación se utilizaron dos distintos solventes, los cuales tienen diferente constante dieléctrica, con el objetivo de evaluar la polaridad de cada uno de ellos en la extracción de la fracción lipídica de la semilla del zapote. Los solventes utilizados son hexano que tiene una constante dieléctrica de 1,89 y del etanol de 24.



### **3.2.2. Laboratorios utilizados**

La parte experimental del estudio se realizó en los laboratorios de Investigación de Extractos Vegetales (LIEXVE) Sección Química Industrial del Centro de Investigación de Ingeniería, Laboratorio de Unidad de Análisis Industrial, en la facultad de Ciencias Químicas de la Universidad de San Carlos de Guatemala y el laboratorio de Instrumentación Química Avanzada Instituto de investigaciones de la Universidad del Valle de Guatemala.

### **3.3. Recursos humanos disponibles**

- Investigador: Br. Elder Estuardo Villatoro Hernández
- Asesor: Ing. Qco. Gerardo Ordoñez

### **3.4. Recursos materiales disponibles**

A continuación, se describen de todos los materiales disponibles para el desarrollo de la investigación.

#### **3.4.1. Materia prima**

- Semilla del Zapote (*Pouteria Sapota*)

#### **3.4.2. Reactivos**

- Etanol (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH) Concentración 99,9 %
- Hexano (C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>) concentración 99,9 %
- Agua desmineralizada (H<sub>2</sub>O) Salvavidas

### **3.4.3. Materiales auxiliares**

- Mangueras de plástico
- Papel filtro Whatmann núm. 1
- Agitadores magnéticos
- Viales color ámbar
- Dedales de celulosa
- Algodón

### **3.4.4. Cristalería**

- Balón de fondo plano 500 mL
- Condensador de bolas
- Beakers de 200 mL, 100 mL
- Embudo Buchner 500 mL
- Unidades Soxhlet
- Vidrios de reloj
- Probetas
- Picnómetro

### **3.4.5. Equipo**

- Molino de Cuchillas
  - Marca: Zenith
  - Voltaje: 120 V
  - Frecuencia: 60 Hz

- Plancha de calentamiento con agitación
  - Marca: CORNING
  - Modelo: PC-620
  - Voltaje: 120 – 100 V
  - Frecuencia: 60 Hz
  - Potencia: 1 113 W
  - Revoluciones: 0- 1 100 rpm
  
- Bomba de vacío
  - Marca: Gast
  - Modelo: 0523-VAFG588DX
  - Voltaje: 100- 115 V
  - Frecuencia: 50 Hz
  - Potencia: ¼ Hp
  
- Rotavapor
  - Marca: Bùchi
  - Modelo: R-200
  - Voltaje: 120 V
  - Frecuencia: 50/60 Hz
  - Potencia: 120 W
  
- Campana de extracción
  - Marca: Serproma
  - Voltaje: 110 V
  - Potencia: 900 W
  - Capacidad de motor: ¾ Hp

### 3.4.6. Instrumento de medición

- Picnómetro
  - Marca: Brand
  - Volumen: 1 mL
  
- Balanza analítica
  - Marca: Adventurer
  - Serie: G1231202040133
  - Voltaje: 8- 14,5 V
  - Frecuencia: 50/60 Hz
  - Máxima capacidad: 150 g
  - Lectura Mínima: 0,001 g
  
- Balanza de humedad
  - Marca: PCE-MA 110
  - Voltaje: 9- 19 V
  - Frecuencia: 45/65 Hz
  - Máxima capacidad 110 cg
  - Capacidad mínima 0,001 cg
  
- Refractómetro
  - Marca: Fischer Scientific
  - Modelo: 334620
  - Voltaje: 110 V
  - Frecuencia: 60 cHz
  - Corriente: 0,08 cA

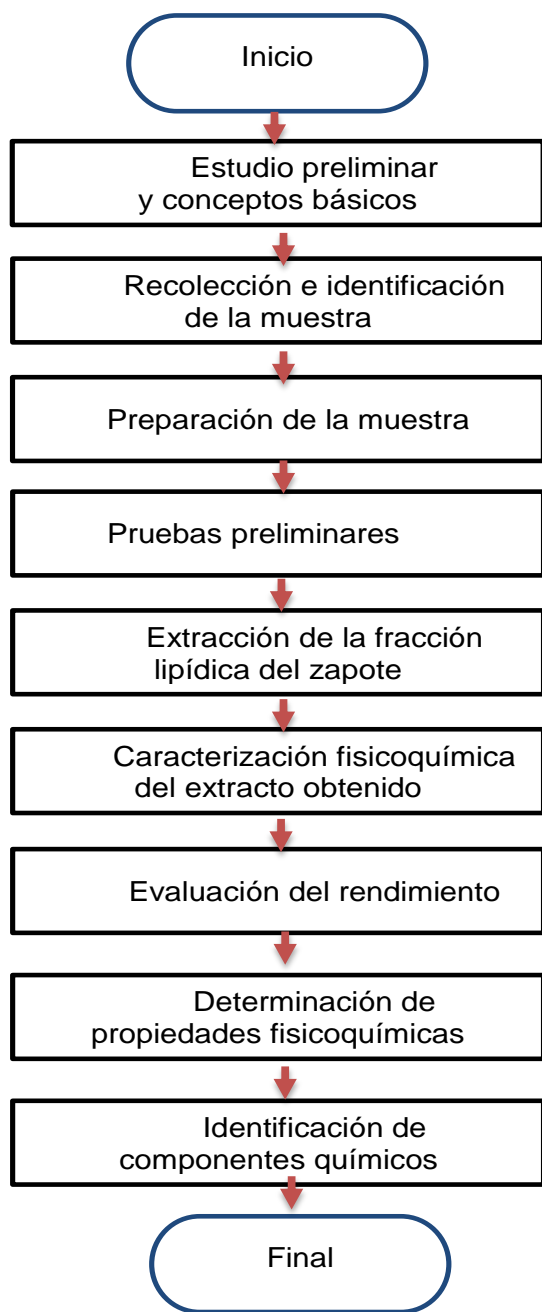
### **3.5. Técnica cuantitativa**

En la investigación se utilizó la técnica de gravimetría, con la cual se determinó la cantidad presente de fracción lipídica en la semilla del zapote, eliminando todas las sustancias que interfieren y convirtiendo el constituyente o componente deseado en un compuesto de composición definida que sea susceptible de pesarse.

### **3.6. Recolección y ordenamiento de la información**

Una vez se ha cumplido con la fase de recolección y ordenamiento de la información con la certeza de que es de calidad y de procedencia confiable, se procede a presentar la información en la figura 1.

Figura 1. **Recolección y ordenamiento de la información**



Fuente: elaboración propia.

### **3.7. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de información**

Para la tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información, se acudió a manuales y software que permiten cumplir el objetivo de cuantificar y agrupar las respuestas que surjan en la aplicación de resultados.

#### **3.7.1. metodología experimental**

A continuación, se describen las causas de los métodos de extracción de la fracción lipídica del zapote.

##### **3.7.1.1. Método de extracción de la fracción lipídica del zapote**

- Se limpio la materia prima separándolo de todo material extraño como tierra, hojas.
- Se redujo el tamaño de la materia prima mediante molienda de esta.
- Se llevó la materia prima a una humedad por debajo del 10 % mediante el secado del producto, a través de un secador de bandejas.
- Se colocó 30 g de materia prima en el sistema de Soxhlet, se agregó etanol en un balón en una relación 1:8 m/v en un beacker de 240 ml y se activó el sistema de extracción Soxhlet.
- Se empezó a monitorear el sistema de extracción hasta que se viera reflejado un número óptimo de ciclos extractivos del solvente.

- Se filtró al vacío para separar la mezcla de solvente y la fracción lipídica de la materia prima.
- Se utilizó rota-evaporar la mezcla de solvente-fracción lipídica para concentrar.
- Seguidamente se depositó el extracto en un vial debidamente identificado y tarado.

#### **3.7.1.2. Determinación del rendimiento de la fracción lipídica a escala laboratorio**

- Se anotó el peso inicial de la materia prima.
- Seguidamente se taro un vial ámbar.
- Se pesó el vial con la fracción lipídica del zapote.
- Se determinó el rendimiento dividiendo la masa del extracto obtenido con la masa de la materia prima inicial.

#### **3.7.1.3. Determinación de la densidad del extracto a escala laboratorio**

- Se limpió adecuadamente con etanol al 95 % un picnómetro de 1 ml.
- Se taro el picnómetro de 1 ml.
- Se tomó una alícuota del sistema de extracción a cada dos ciclos.
- Se vertió la muestra del extracto en el picnómetro mediante una micropipeta.



- Se pesó el picnómetro con la muestra.
- Se calculó la densidad mediante la relación de masa y volumen.

#### **3.7.1.4. Medición de índice de refracción**

- Para la medición del índice de refracción se limpió el lente del prisma con agua desmineralizada.
- Se agregó dos gotas del absoluto al prisma.
- Seguidamente se encendió la lámpara y se aseguró el brillo adecuado para la medición.
- Se giró la perilla de compensación de color, hasta que apareció una línea clara y definida.
- Se alineo la línea girando la perilla de medición.
- Por último, se leyó en la escala superior el índice de refracción.

#### **3.7.1.5. Cromatografía gaseosa con acoplamiento de espectrometría de masas GC-MS**

- Se inyectó dentro del espectrómetro 0,2 uL de absoluto obtenido.
- Se comparó el peso molecular de las especies en el extracto.

- Se verifico y se asignó un área porcentual a cada pico del cromatograma que representa un tiempo de retención.
- Se Identificó y nombro cada componente del absoluto según la librería del programa que contiene el cromatógrafo.

## 4. RESULTADOS

Tabla IV. Rendimiento porcentual de la fracción lipídica extraída con hexano de la semilla de zapote (*Pouteria Sapota*) con 25 ciclos extractivos

| Solvente | Rendimiento (%) | Media (%) | Desviación Estándar ( $\pm$ ) |
|----------|-----------------|-----------|-------------------------------|
| Hexano 1 | 40,39           | 40,3      | $\pm 4,75$                    |
| Hexano 2 | 30,77           |           |                               |
| Hexano 3 | 41,99           |           |                               |
| Hexano 4 | 41,83           |           |                               |
| Hexano 5 | 42,03           |           |                               |
| Hexano 6 | 44,04           |           |                               |

Fuente: elaboración propia.

Tabla V. Rendimiento porcentual de la fracción lipídica extraída con etanol de la semilla de zapote (*Pouteria Sapota*) con 25 ciclos extractivos

| Solvente | Rendimiento (%) | Media (%) | Desviación Estándar ( $\pm$ ) |
|----------|-----------------|-----------|-------------------------------|
| Etanol 1 | 10,26           | 13,51     | $\pm 4,74$                    |
| Etanol 2 | 21,72           |           |                               |
| Etanol 3 | 12,90           |           |                               |
| Etanol 4 | 9,91            |           |                               |
| Etanol 5 | 16,34           |           |                               |
| Etanol 6 | 9,91            |           |                               |

Fuente: elaboración propia.

Tabla VI. **Densidad de la fracción lipídica obtenida, con etanol y hexano de la semilla de zapote (*Pouteria Sapota*)**

| <b>Solvente</b> | <b>Densidad (g/mL)</b> | <b>Media</b> | <b>Desviación Estándar</b> |
|-----------------|------------------------|--------------|----------------------------|
| Etanol 1        | 1,123                  | 1,118        | ± 0,0050                   |
| Etanol 2        | 1,111                  |              |                            |
| Etanol 3        | 1,123                  |              |                            |
| Etanol 4        | 1,114                  |              |                            |
| Etanol 5        | 1,121                  |              |                            |
| Etanol 6        | 1,121                  |              |                            |
| Hexano 1        | 1,234                  | 1,236        | ± 0,0051                   |
| Hexano 2        | 1,245                  |              |                            |
| Hexano 3        | 1,236                  |              |                            |
| Hexano 4        | 1,246                  |              |                            |
| Hexano 5        | 1,242                  |              |                            |
| Hexano 6        | 1,245                  |              |                            |

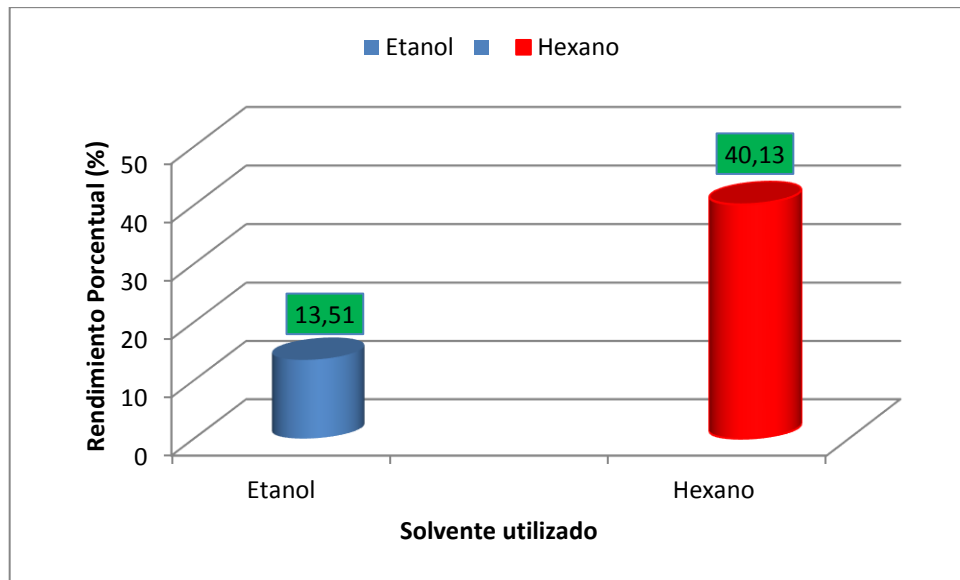
Fuente: elaboración propia.


Tabla VII. **Índice de refracción de la fracción lipídica obtenida, con etanol y hexano de la semilla de zapote (*Pouteria Sapota*)**

| <b>Solvente</b> | <b>Índice de refracción</b> | <b>Media</b> | <b>Desviación Estándar</b> |
|-----------------|-----------------------------|--------------|----------------------------|
| Etanol 1        | 1,474                       | 1,4757       | ±0,001231                  |
| Etanol 2        | 1,476                       |              |                            |
| Etanol 3        | 1,474                       |              |                            |
| Etanol 4        | 1,476                       |              |                            |
| Etanol 5        | 1,476                       |              |                            |
| Etanol 6        | 1,477                       |              |                            |
| Hexano 1        | 1,473                       | 1,4742       | ±0,000793                  |
| Hexano 2        | 1,474                       |              |                            |
| Hexano 3        | 1,473                       |              |                            |
| Hexano 4        | 1,474                       |              |                            |
| Hexano 5        | 1,475                       |              |                            |
| Hexano 6        | 1,475                       |              |                            |

Fuente: elaboración propia.

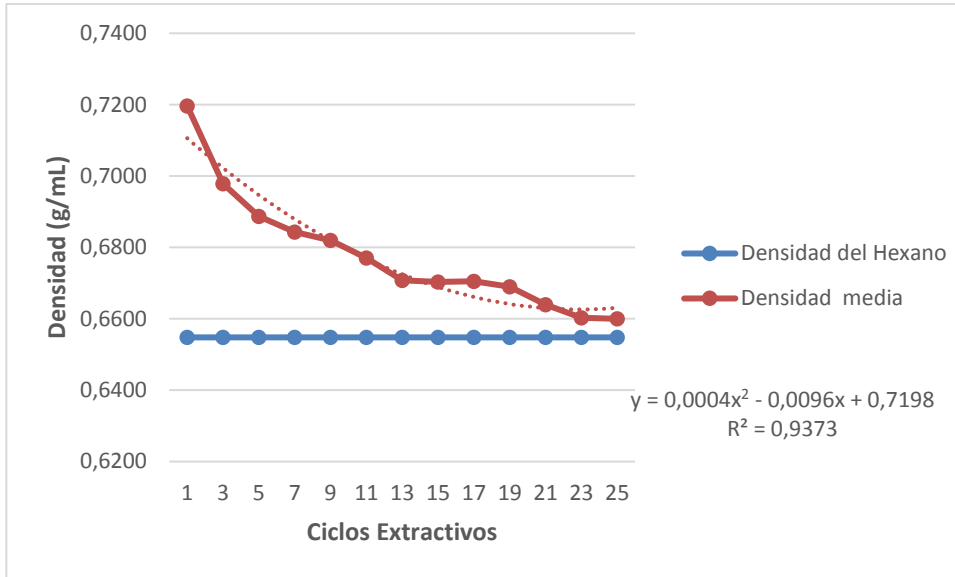
Figura 2. **Rendimiento promedio de la fracción lipídica extraída de la semilla del zapote (*Pouteria Sapota*) en función del solvente utilizado**



 = Rendimiento promedio de cada solvente

Fuente: elaboración propia.

Figura 3. **Monitoreo de la densidad del extracto de la semilla del zapote (*Pouteria Sapota*) utilizando hexano como solvente**



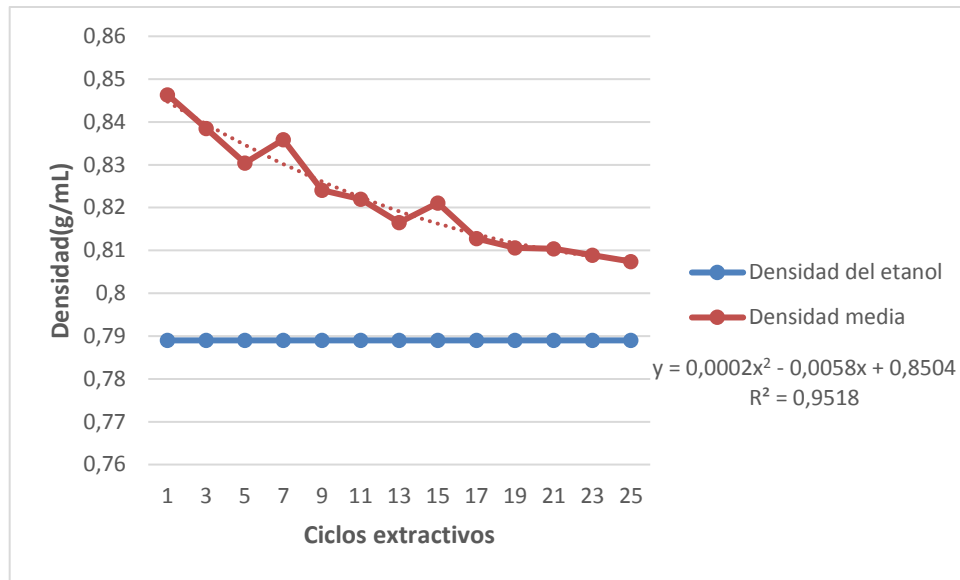
Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. **Número de ciclos realizados**

| <b>Solvente</b>                     | <b>Hexano</b> |
|-------------------------------------|---------------|
| Número de ciclos extractivos        | 25            |
| Densidad luego del número de ciclos | 0,6581 g/mL   |

Fuente: elaboración propia.

Figura 4. **Monitoreo de la densidad del extracto de la semilla del zapote (*Pouteria Sapota*) utilizando etanol como solvente**



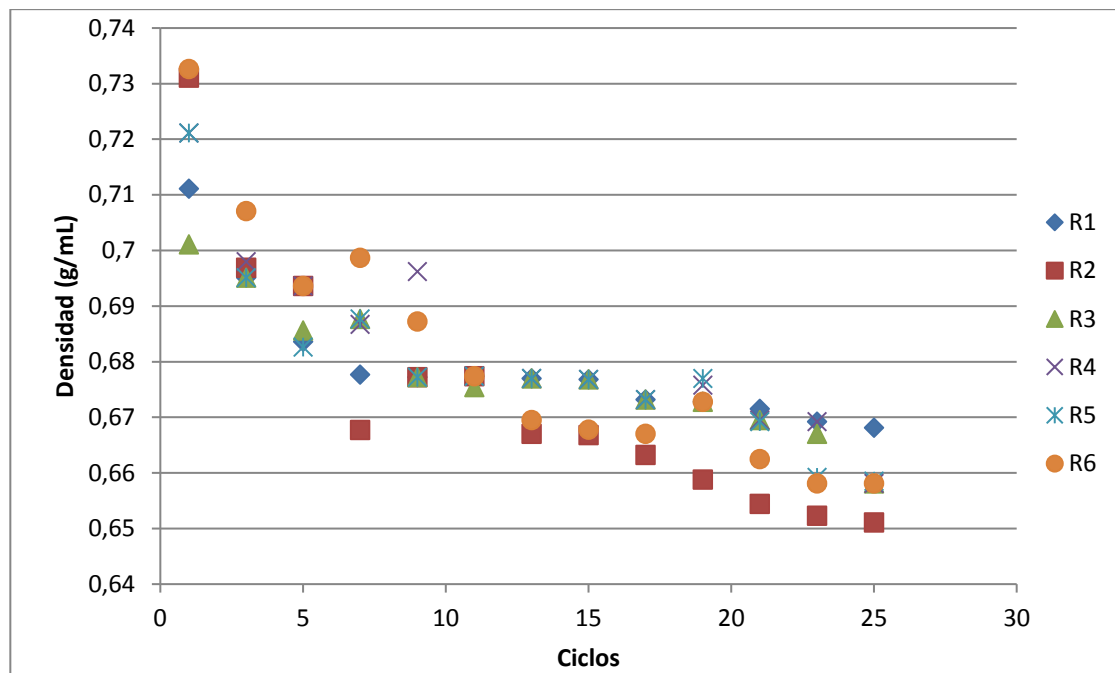
Fuente: elaboración propia.

Tabla IX. **Número de ciclos realizados**

| <b>Solvente</b>                     | <b>Etanol</b> |
|-------------------------------------|---------------|
| Número de ciclos extractivos        | 25            |
| Densidad luego del número de ciclos | 0,8079 g/mL   |

Fuente: elaboración propia.

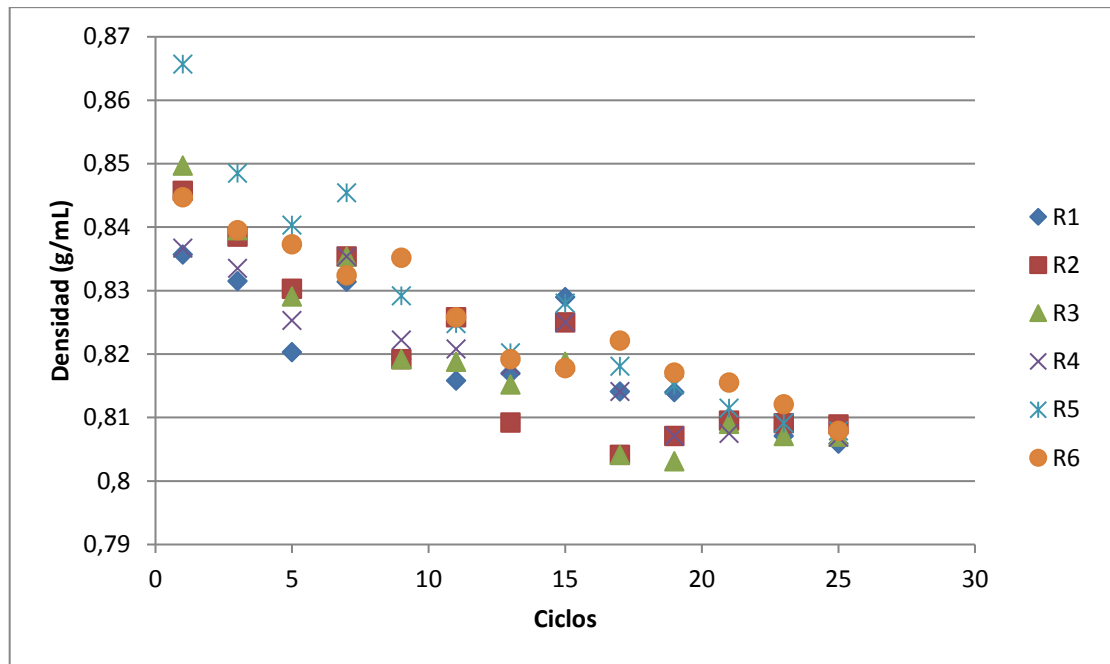
Figura 5. **Comparativo de las repeticiones de la densidad del extracto de la semilla del zapote (*Pouteria Sapota*) utilizando hexano como solvente**



Fuente: elaboración propia.

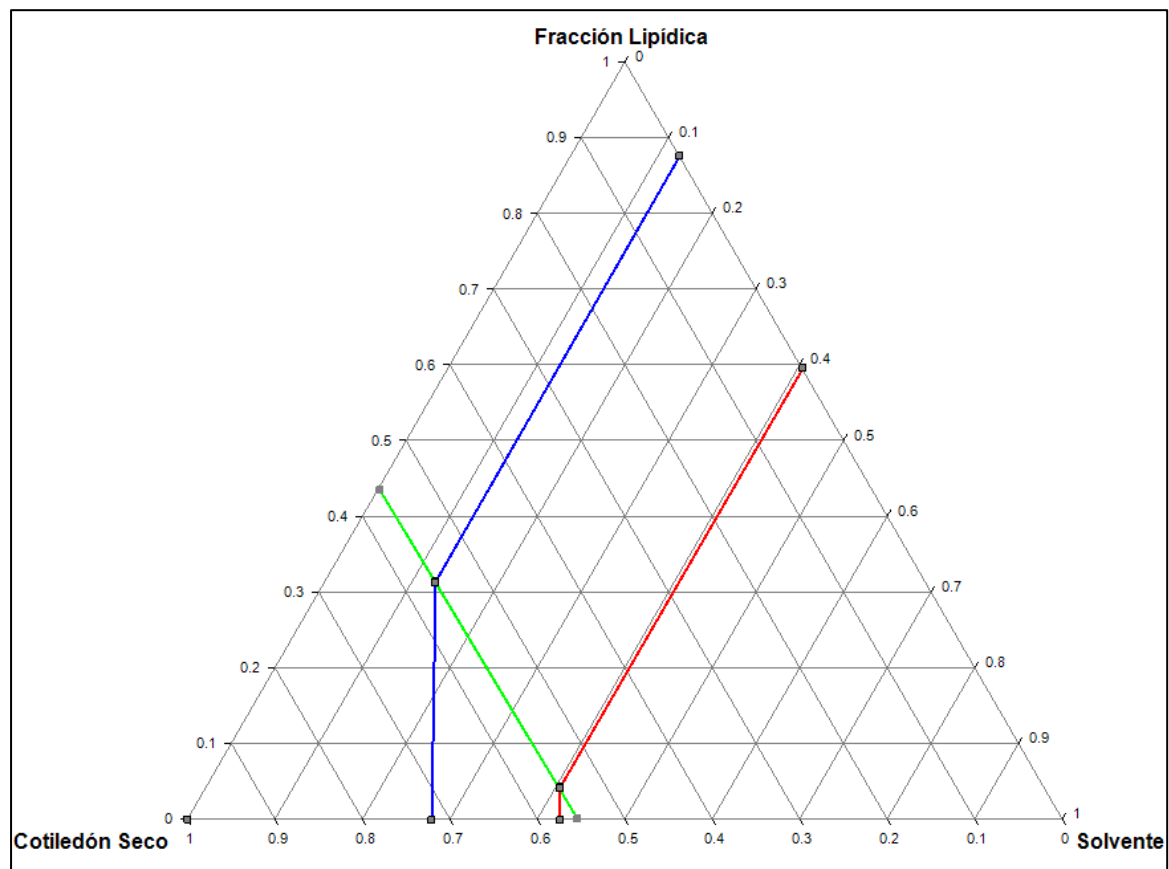


Figura 6. **Comparativo de las repeticiones de la densidad del extracto de la semilla del zapote (*Pouteria Sapota*) utilizando etanol como solvente**



Fuente: elaboración propia.

Figura 7. **Diagrama ternario correspondiente a la extracción de la fracción lipídica de la semilla del zapote (*Pouteria Sapota*), utilizando la técnica soxhlet**



|  |         |
|--|---------|
|  | Metanol |
|  | Hexano  |

Fuente: elaboración propia.

Tabla X. **Metabolitos secundarios detectados con etanol en la fracción lipídica utilizando cromatografía gaseosa acoplada a espectrometría de masas (GC/MS/DS)**

| Método             | Solvente | Metabolito secundario              | CGC                 |          |
|--------------------|----------|------------------------------------|---------------------|----------|
|                    |          |                                    | Tiempo de retención | Área (%) |
| Extracción Soxhlet | Etanol   | Ácido ftálico                      | 50,25               | 23,77    |
|                    |          | Ácido linoleico                    | 49,25               | 19,49    |
|                    |          | Ácido oleico                       |                     |          |
|                    |          | Ácido oleico                       | 35,83               | 19,07    |
|                    |          | Ácido esteárico                    | 35,47               | 9,09     |
|                    |          | Acido palmítico                    | 43,19               | 7,87     |
|                    |          | Ácido pentadecanoico               | 31,79               | 5,42     |
|                    |          | Ácido esteárico                    | 48,31               | 5,15     |
|                    |          | Acido alfa-linoleico               | 36,62               | 4,75     |
|                    |          | Éter monometílico del Etilenglicol | 47,97               | 1,97     |
|                    |          | ácido etil éster                   | 36,42               | 1,31     |
|                    |          | Ester etílico ácido esteárico      | 35,83               | 0,97     |
|                    |          | Éster metílico ácido benzoico      | 19,57               | 0,54     |
| Otros              | 34,12    | 0,59                               |                     |          |

Fuente: elaboración propia.

Tabla XI. **Metabolitos secundarios detectados con hexano en la fracción lipídica utilizando cromatografía gaseosa acoplada a espectrometría de masas (GC/MS/DS)**

| Método             | Solvente | Metabolito secundario             | CGC                 |          |
|--------------------|----------|-----------------------------------|---------------------|----------|
|                    |          |                                   | Tiempo de retención | Área (%) |
| Extracción Soxhlet | Hexano   | Ácido oleico                      | 49,27               | 21,06    |
|                    |          | 15-Corona-5                       | 20,62               | 41,09    |
|                    |          | Ácido oleico                      | 35,84               | 16,68    |
|                    |          | Acido esteárico                   | 35,49               | 8,71     |
|                    |          | Éter metílico del etilenglicol    | 48,33               | 8,54     |
|                    |          | 18-Corona-6                       | 42,48               | 6,89     |
|                    |          | Ácido bencenodicarboxílico        | 50,25               | 6,01     |
|                    |          | Acido ftálico                     |                     |          |
|                    |          | Acido palmítico                   | 31,80               | 4,35     |
|                    |          | Ácido tridecanoico                |                     |          |
|                    |          | Acido alfa-linolénico             | 36,63               | 3,64     |
|                    |          | Éter monometílico de etilenglicol | 43,21               | 3,49     |

Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. **Aplicaciones industriales potenciales de ácidos grasos encontrados en la fracción lipídica de la semilla del zapote (*Pouteria Sapota*)**

| <b>Ácidos grasos</b> | <b>Aplicación industrial potencial</b>   |
|----------------------|--|
| Ácido ftálico        | Síntesis orgánicas, colorantes del grupo trifenilmetilo.   |
| Ácido linoleico      | Fabricación de aceites de secado, útiles en pinturas al óleo y barnices, industria de cosméticos como antiinflamatorios, reductor del acné, se utiliza como saborizante. |
| Ácido oleico         | Dieta humana por medio del consumo de grasa animal o aceites vegetales, en el jabón como un agente emulsionante.   |
| Ácido esteárico      | Producción de jabones, utilización de estearina para velas, productos cosméticos.  |
| Acido palmítico      | Producción de jabones, industria de los cosméticos, se utiliza ciertos tensioactivos como un agente de limpieza.   |
| Ácido pentadecanoico | La grasa de mantequilla en la leche vacuna es su principal fuente dietética, se utiliza como un marcador para el consumo de lípidos                                      |
| Ácido esteárico      | Industria de alimentos, cosméticos y productos industriales, lubricantes o para evitar la oxidación, producción de velas.  |
| Acido alfa-linoleico | En la industria farmacéutica, tratamiento de enfermedades del corazón, disminución de la presión arterial alta y reducir el riesgo de ataques cardíacos.                 |

Fuente: SIPS. *Hechos de seguridad química*. <https://www.chemicalsafetyfacts.org>. Consulta: 21 de septiembre de 2019.



## 5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En este informe de graduación se planteó y ejecutó el rendimiento de la fracción lipídica de la semilla del zapote (*Pouteria Sapota*), utilizando la técnica de extracción Soxhlet a nivel laboratorio, por medio de los reactivos alcohol y hexano para comparar su rendimiento. Esta técnica permite determinar las propiedades fisicoquímicas de cada solvente, las cuales son densidad, índice de refracción y cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas, para conocer las familias de metabolitos secundarios contenidas en ellos y cuáles pueden tener algún uso potencial de los compuestos caracterizados.

La materia prima utilizada en la investigación se obtuvo en San Agustín Acasaguastlán, El Progreso. Las semillas fueron lavadas para separarlas de todo material extraño, como tierra, hojas y secadas a temperatura ambiente. Se trasladó en bolsas ziploc para evitar que se perdieran fracciones volátiles.

Se redujo el tamaño de la materia prima mediante un molino de cuchillas, para reducirla y homogenizarla y obtener el tamaño de partícula deseado. Una vez triturada la materia prima se le midió la humedad utilizando una balanza de humedad. El resultado fue menor al 10 %, para conservar la materia prima libre de exceso de humedad.

Seguidamente se activó el sistema de extracción sólido-líquido, utilizando la técnica de extracción Soxhlet. Para ello se trabajaron dos distintos solventes, con una distinta constante dieléctrica. La relación utilizada soluto-solvente fue de 30 gramos de materia prima y 240 mL de solvente.

La figura 1 muestra los porcentajes de recuperación. Se observa que el mayor rendimiento de extracción fue con el hexano al haber tenido una media de 40,13 % (ver tabla IV), seguidamente se obtuvo el porcentaje de recuperación con el etanol con una media de 13,51 % (ver tabla V). Los porcentajes de recuperación mencionados indican que, al utilizar hexano como solvente, se extrajo una significativa cantidad de componentes polares, mientras que con el etanol hay una fracción de componentes no polares que pudo extraer. Esto significa que, a pesar de que denotan componentes de afinidad opuesta, están presentes en gran cantidad.

En las figuras 2 y 3, nos muestra el monitoreo de la densidad que se realizó con hexano y etanol. Este parámetro fisicoquímico es el de mayor sensibilidad porque presenta una variación considerable durante el proceso de extracción. Se obtuvieron densidades de 0,6581 g/mL utilizando hexano y de 0,8079 g/mL con etanol. Estos resultados se obtuvieron después de generar 25 ciclos en el proceso de extracción para cada solvente.

El monitoreo se realizó durante el proceso mediante alícuotas de la fracción lipídica recolectadas por jeringas clínicas. Este monitoreo se realizó a cada 2 ciclos para observar la variación de la densidad en la cual se observa un descenso de este parámetro fisicoquímico.

La tabla VII presenta el índice de refracción. Este es otro parámetro fisicoquímico evaluado en el proceso de extracción. Los resultados fueron 1,4742 utilizando hexano como solvente y 1,4757 con etanol. Esto indica que la variación utilizando dos reactivos distintos no es significativa.

También se realizó una cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (CG-MS-DS). Esto evidenció la presencia de metabolitos secundarios



con los extractos obtenidos y su variación con los solventes utilizados. Este estudio es muy complejo por los resultados que nos brinda; cualitativos, cuantitativos y gráficos.

En las tablas X y XI se muestran los resultados obtenidos utilizando los dos tipos de solventes. Para el hexano con una constante dieléctrica baja, se extrajeron principalmente ésteres y ésteres ftálicos, además de algunos ácidos grasos como ácido palmítico, ácido oleico, ácido esteárico entre otros.

Al utilizar el etanol como solvente se obtienen resultados similares a los obtenidos con el hexano. En el extracto obtenido con los dos solventes utilizados se encontró el ácido oleico, el cual es un ácido graso monoinsaturado de la serie omega nueve, siendo este el más importante porque no puede ser sintetizado por el cuerpo humano.

Los resultados obtenidos determinan que los extractos de la semilla del zapote son aptos para el sector industrial por sus características de aceites esenciales, su alto rendimiento de extracción y sus beneficios económicos.



## CONCLUSIONES

1. El mayor rendimiento de la fracción lipídica de la semilla del zapote (*Pouteria Sapota*) fue de una media de 40,13 %(v/v) utilizando hexano como solvente.
2. El parámetro fisicoquímico de la densidad refleja una sensibilidad notable por el desarrollo que denota en el proceso.
3. El índice de refracción encontrado en el extracto no aporta información significativa en el proceso de extracción.
4. La cromatografía gaseosa acoplada a espectrometría de masas (CGS/MS/DS) se detectaron esteres ftálicos, ácido palmítico, ácido oleico, ácido esteárico entre otros.
5. El sistema ternario nos permitió ubicar la línea de saturación para cada solvente utilizado en función de los componentes utilizados.
6. Existe diferencia significativa en el rendimiento porcentual extraído de la semilla del zapote (*Pouteria Sapota*), en función de cada uno de los solventes utilizados.
7. Los resultados determinaron que el extracto de la semilla del zapote es apto para el sector industrial, por sus características de aceites esenciales, su alto rendimiento y sus beneficios económicos.



## RECOMENDACIONES

1. Evaluar el rendimiento de la fracción lipídica obtenida de la semilla del zapote (*Pouteria Sapota*) a nivel planta piloto.
2. En la obtención de la materia prima, se debe verificar que lleve el mismo porcentaje de humedad para evitar las variaciones en las pruebas fisicoquímicas.
3. Realizar metodologías distintas, como lixiviación a reflujo estática, lixiviación con maceración a reflujo dinámica, para comparar su rendimiento.
4. Evaluar el rendimiento de la fracción lipídica obtenida de la semilla del zapote (*Pouteria Sapota*), utilizando distintos solventes para tener un mejor rendimiento.



## BIBLIOGRAFÍA

1. ANCHÍA ASTIASARÁN, Iciar. *Fracción lipídica de alimentos funcionales*. [en línea]. <<http://www.unav.edu/documents/11310/c7209b43-b728-4049-ac71-bb64972ab5fe>>. [Consulta: 02 de octubre de 2017].
- 2.
3. GÓMEZ GÓMEZ, Kandy Paola. *Evaluación de rendimiento de extracción y caracterización fitoquímica de la fracción extraíble de semilla de Moringa (Moringa oleífera Lam.), a nivel laboratorio*. Trabajo de graduación de ingeniería Ing. Química. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2013. 180 p.
4. GODÍNEZ MORALES, Romy Carlota. *Evaluación del rendimiento de extracción de la fracción lipídica en la semilla del melón variedad Honeydew (Cucumis melo L.) Mediante la técnica de extracción Soxhlet y la caracterización fisicoquímica y fitoquímica*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2011. 140 p.
5. MERINO SÁNCHEZ, Liliana. *Evaluación de propiedades fisicoquímicas y actividad antioxidante de zapote negro (Diospytos digyna Jacq)*. México: Universidad Veracruzana, 2001. 87 p.

6. RAMÍREZ, Lourdes. *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.
  
7. REYNOSO REVOLORIO, David Alejandro. *Desarrollo de un sistema tutorial inteligente –STI utilizando Visual Basic 6.0 para la fundamentación teórica de la operación unitaria de lixiviación inducida (extracción sólido-líquido), orientado a materiales biológicos (metabolitos)*. Trabajo de graduación de ingeniería Ing. Química. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2009. 171 p.
  
8. ZEPEDA CORNEL, Juan Carlos. *Evaluación de la escarificación física y dos métodos de cobertura en semillero de zapote (pouteria sapota, Jacq) H. Moore & Stearn bajo las condiciones de la finca sabana grande, Escuintla*. Trabajo de graduación de Ing. Agrónoma, Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2004. 53 p.



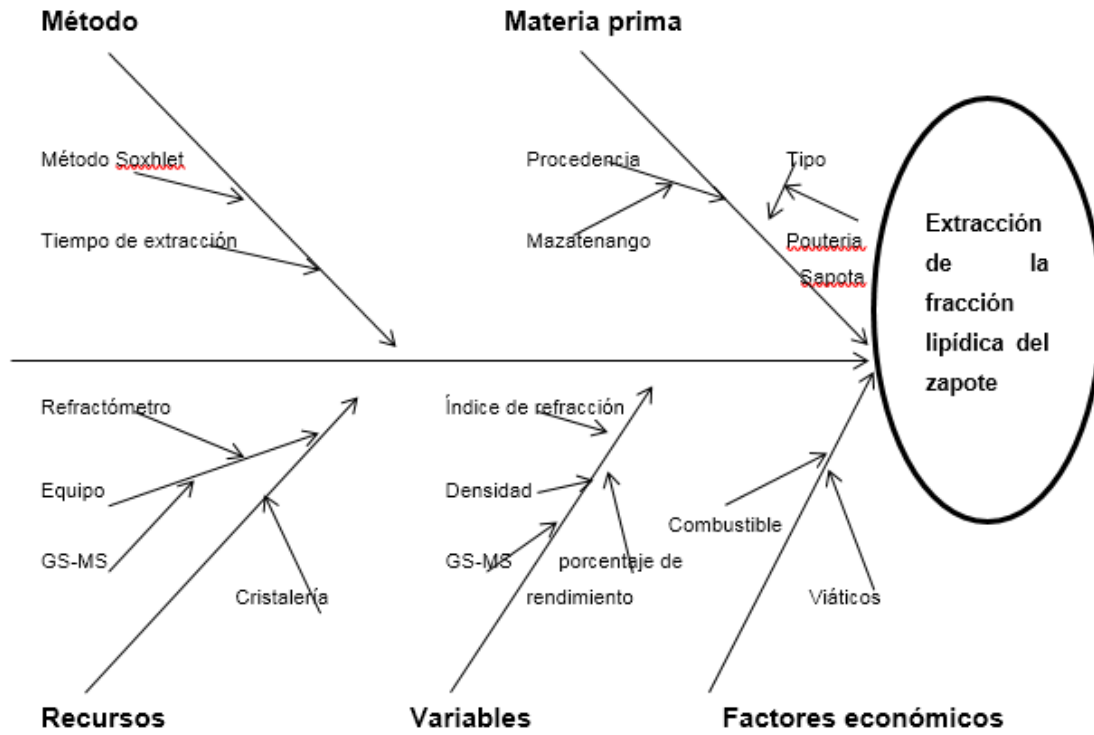
## APÉNDICES

Apéndice 1. **Tabla de requisitos académicos**

| Área                                       | Curso                               | Tema                             |
|--|-------------------------------------|----------------------------------|
| Química                                    | Química 3 y 4                       | Soluciones                       |
|  | Análisis cuantitativo               | Error en las mediciones          |
| Operaciones unitarias                      | Transferencia de calor IQ3          | Trasferencia de calor            |
|  | Trasferencia de masa IQ4            | Trasferencia de masa             |
|  | Laboratorio de ingeniería química 1 | Destilación                      |
|  | Laboratorio de ingeniería química 2 | Secado                           |
| Fisicoquímica                              | Termodinámica 3                     | Leyes de la termodinámica        |
| Especialización                            | Extracciones industriales           | Extracción de aceites esenciales |
| Área de ciencias básicas y complementarias | Estadística 2                       | Análisis de datos                |
|  | Ingeniería económica 1              | Presupuesto                      |

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. Diagrama de Ishikawa



Fuente: elaboración propia.

**Apéndice 3. Cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas  
(CGC/MS/DS) de las fracciones extraíbles utilizando etanol  
como solvente**

LIQA Area Percent Report

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\USAC  
 Data File : 180619-0001.D  
 Acq On : 19 Jun 2018 13:50  
 Operator : Adem  
 Sample : Etanol R1  
 Misc : Muestra 1  
 ALS vial : Sample Multiplier:

Integration Parameters:  
 levadural.e Integrator:  
 ChemStation

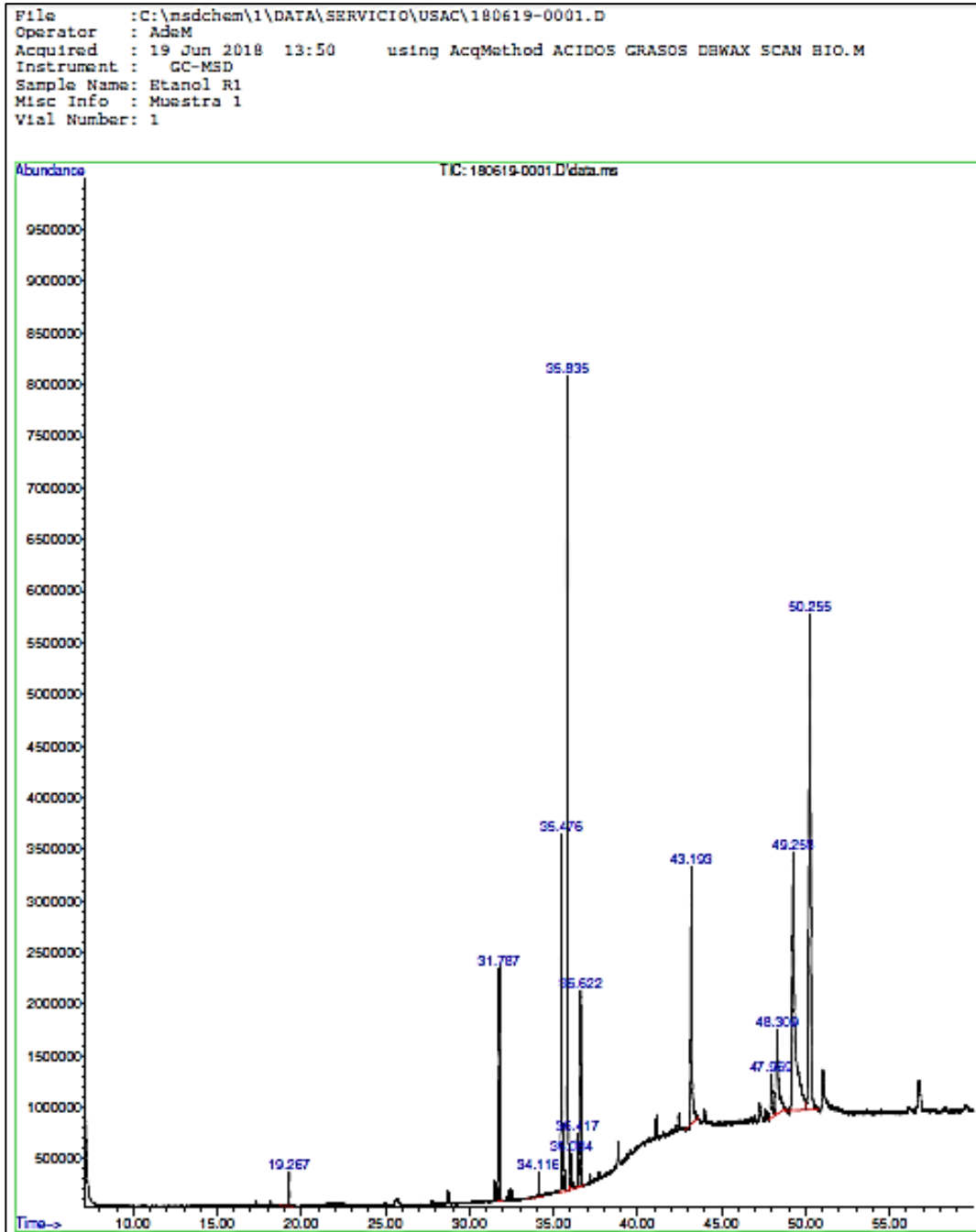
Method : C:\msdchem\1\METHODS\ACIDOS GRASOS DBWAX SCAN BIO.M  
 Title :

Signal : TIC: 180619-0001.D\data.ms

| peak # | R.T. min | first scan | max scan | last scan | PK TY | peak height | corr. area | corr. % max. | % of total |
|--------|----------|------------|----------|-----------|-------|-------------|------------|--------------|------------|
| 1      | 19.267   | 2574       | 2678     | 2714      | BB    | 322022      | 8623384    | 2.38%        | 0.566%     |
| 2      | 31.787   | 5412       | 5430     | 5475      | BB 2  | 2225728     | 82555252   | 22.81%       | 5.422%     |
| 3      | 34.116   | 5781       | 5942     | 5991      | BV 2  | 230516      | 8946222    | 2.47%        | 0.588%     |
| 4      | 35.476   | 6210       | 6241     | 6294      | BV 3  | 3431416     | 138348203  | 38.23%       | 9.087%     |
| 5      | 35.835   | 6294       | 6320     | 6357      | PV 2  | 7813983     | 290293293  | 80.22%       | 19.067%    |
| 6      | 36.084   | 6357       | 6375     | 6407      | VV 4  | 329572      | 14739267   | 4.07%        | 0.968%     |
| 7      | 36.417   | 6407       | 6448     | 6466      | VV 5  | 515443      | 19888477   | 5.50%        | 1.306%     |
| 8      | 36.622   | 6466       | 6493     | 6546      | VB 4  | 1884097     | 72243495   | 19.96%       | 4.745%     |
| 9      | 43.193   | 7871       | 7938     | 8027      | BB 5  | 2497603     | 119784326  | 33.10%       | 7.868%     |
| 10     | 47.969   | 8945       | 8988     | 9032      | PV 5  | 411841      | 30000146   | 8.29%        | 1.970%     |
| 11     | 48.309   | 9032       | 9063     | 9165      | VB 10 | 807422      | 78414658   | 21.67%       | 5.150%     |
| 12     | 49.258   | 9185       | 9271     | 9448      | BV 5  | 2471626     | 296808743  | 82.02%       | 19.495%    |
| 13     | 50.255   | 9448       | 9490     | 9587      | VB    | 4722388     | 361865638  | 100.00%      | 23.768%    |

Continuación del apéndice 3.

Sum of corrected areas: 1522511104  
ACIDOS GRAS...X SCAN BIO.M Wed Jun 20 10:40:12 2018



Continuación del apéndice 3.

| PK#  | RT     | Area% | Library/ID   | Ref#                       | CAS#                                      | Qual           |
|--|--------|-------|--|----------------------------|---|----------------|
| Data Path : C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\USAC\<br>Data File : 180619-0001.D<br>Title :<br>Acq On : 19 Jun 2018 13:50<br>Operator : AdaM<br>Sample : Etanol R1<br>Misc : Muestra 1<br>ALS Vial : 1 Sample Multiplier: 1 |        |       |  |                            |   |                |
| Search Libraries: C:\Database\NIST05a.L Minimum Quality: 0   |        |       |  |                            |   |                |
| Unknown Spectrum: Apex<br>Integration Events: ChemStation Integrator - levadural.e   |        |       |  |                            |   |                |
| 1  | 19.268 | 0.57  | C:\Database\NIST05a.L<br>Benzoic acid, methyl ester<br>Benzoic acid, methyl ester<br>Benzoic acid, methyl ester  | 15767<br>15768<br>15769    | 000093-58-3<br>000093-58-3<br>000093-58-3 | 93<br>90<br>90 |
| 2  | 31.786 | 5.42  | C:\Database\NIST05a.L<br>Hexadecanoic acid, methyl ester<br>Pentadecanoic acid, 14-methyl-, me<br>thyl ester<br>Hexadecanoic acid, methyl ester  | 105639<br>105662<br>105644 | 000112-39-0<br>005129-60-2<br>000112-39-0 | 98<br>97<br>97 |
| 3  | 34.115 | 0.59  | C:\Database\NIST05a.L<br>Trisiloxane, 1,1,1,5,5,5-hexamethy<br>l-3,3-bis[(trimethylsilyl)oxy]-<br>N-Benzyl-N-ethyl-p-isopropylbenzam<br>ide<br>Mercaptoacetic acid, bis(trimethyl<br>silyl)- | 166198<br>112663<br>82769  | 003555-47-3<br>015089-22-2<br>006398-62-5 | 35<br>27<br>16 |
| 4  | 35.475 | 9.09  | C:\Database\NIST05a.L<br>Octadecanoic acid, methyl ester<br>Octadecanoic acid, methyl ester<br>Octadecanoic acid, methyl ester   | 123709<br>123708<br>123700 | 000112-61-8<br>000112-61-8<br>000112-61-8 | 99<br>98<br>98 |
| 5  | 35.834 | 19.07 | C:\Database\NIST05a.L<br>9-Octadecenoic acid (Z)-, methyl e<br>ster<br>9-Octadecenoic acid, methyl ester,<br>(E)-<br>9-Octadecenoic acid, methyl ester                                       | 122323<br>122326<br>122299 | 000112-62-9<br>001937-62-8<br>002462-84-2 | 99<br>99<br>99 |
| 6  | 36.084 | 0.97  | C:\Database\NIST05a.L<br>Octadecanoic acid, ethyl ester<br>Octadecanoic acid, ethyl ester<br>Octadecanoic acid, ethyl ester  | 132323<br>132324<br>132325 | 000111-61-5<br>000111-61-5<br>000111-61-5 | 97<br>92<br>86 |
| 7  | 36.416 | 1.31  | C:\Database\NIST05a.L<br>(E)-9-Octadecenoic acid ethyl este<br>Ethyl Oleate<br>Ethyl Oleate  | 131091<br>131053<br>131052 | 006114-18-7<br>000111-62-6<br>000111-62-6 | 99<br>99<br>99 |
| 8  | 36.621 | 4.75  | C:\Database\NIST05a.L<br>9,12-Octadecadienoic acid (Z,Z)-,<br>methyl ester<br>9,12-Octadecadienoic acid, methyl<br>ester<br>9,12-Octadecadienoic acid (Z,Z)-,<br>methyl ester                | 121107<br>121093<br>121105 | 000112-63-0<br>002462-85-3<br>000112-63-0 | 99<br>99<br>99 |
| 9  | 43.194 | 7.87  | C:\Database\NIST05a.L<br>n-Hexadecanoic acid<br>n-Hexadecanoic acid<br>n-Hexadecanoic acid   | 96235<br>96234<br>96233    | 000057-10-3<br>000057-10-3<br>000057-10-3 | 98<br>93<br>92 |
| 10   | 47.970 | 1.97  | C:\Database\NIST05a.L<br>Octaethylene glycol monododacyl et<br>her   | 186450                     | 003055-98-9                               | 76             |
| ACIDOS GRAS...X SCAN BIO.M Wed Jun 20 10:30:19 2018  |        |       |  |                            |   |                |

Continuación del apéndice 3.

| Data Path : C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\USAC\               |        |       |                                       |        |             |      |
|--|--------|-------|---------------------------------------|--------|-------------|------|
| Data File : 180619-0001.D                                  |        |       |                                       |        |             |      |
| Title :  |        |       |                                       |        |             |      |
| Acq On : 19 Jun 2018 13:50                                 |        |       |                                       |        |             |      |
| Operator : AdaM  |        |       |                                       |        |             |      |
| Sample : Etanol R1   |        |       |                                       |        |             |      |
| Misc : Muestra 1   |        |       |                                       |        |             |      |
| ALS Vial : 1 Sample Multiplier: 1                          |        |       |                                       |        |             |      |
| Search Libraries: C:\Database\NIST05a.L Minimum Quality: 0 |        |       |                                       |        |             |      |
| Unknown Spectrum: Apex                                     |        |       |                                       |        |             |      |
| Integration Events: ChemStation Integrator - levadural.e   |        |       |                                       |        |             |      |
| PK#  | RT     | Area% | Library/ID                            | Ref#   | CAS#        | Qual |
|  |        |       | 1,4,7,10,13,16-Hexaoxacyclooctadecane | 100938 | 017455-13-9 | 58   |
|  |        |       | 1,4,7,10,13,16-Hexaoxacyclooctadecane | 100940 | 017455-13-9 | 53   |
| 11   | 48.311 | 5.15  | C:\Database\NIST05a.L                 |        |             |      |
|  |        |       | Octadecanoic acid                     | 114822 | 000057-11-4 | 94   |
|  |        |       | Octadecanoic acid                     | 114820 | 000057-11-4 | 78   |
|  |        |       | Octadecanoic acid                     | 114818 | 000057-11-4 | 60   |
| 12   | 49.257 | 19.49 | C:\Database\NIST05a.L                 |        |             |      |
|  |        |       | 9-Octadecenoic acid, (E)-             | 113363 | 000112-79-8 | 99   |
|  |        |       | 6-Octadecenoic acid, (Z)-             | 113359 | 000593-39-5 | 97   |
|  |        |       | Oleic Acid                            | 113353 | 000112-80-1 | 96   |
| 13   | 50.253 | 23.77 | C:\Database\NIST05a.L                 |        |             |      |
|  |        |       | 1,2-Benzenedicarboxylic acid, isod    | 175200 | 001330-96-7 | 64   |
|  |        |       | octyl ester                           |        |             |      |
|  |        |       | 1,2-Benzenedicarboxylic acid, diis    | 168521 | 027554-26-3 | 62   |
|  |        |       | octyl ester                           |        |             |      |
|  |        |       | 1,2-Benzenedicarboxylic acid, buty    | 144826 | 000085-69-8 | 59   |
|  |        |       | 1,2-ethylhexyl ester                  |        |             |      |

Fuente: elaboración propia.