



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

**DETERMINACIÓN DEL RENDIMIENTO Y CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL  
EXTRACTO ETANÓLICO DE TILO (*Tilia platyphyllos* Scop.), OBTENIDO DE LA HOJA Y  
FLOR PROVENIENTE DEL DEPARTAMENTO DE CHIMALTENANGO, EVALUADO A  
ESCALA LABORATORIO POR MEDIO DE MACERACIÓN DINÁMICA**

**Luis Pedro Ríos Rivas**

Asesorado por Inga. Telma Maricela Cano Morales

Ing. Mario José Mérida Meré

Guatemala, mayo de 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DETERMINACIÓN DEL RENDIMIENTO Y CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL  
EXTRACTO ETANÓLICO DE TILO (*Tilia platyphyllos Scop.*), OBTENIDO DE LA HOJA Y  
FLOR PROVENIENTE DEL DEPARTAMENTO DE CHIMALTENANGO, EVALUADO A  
ESCALA LABORATORIO POR MEDIO DE MACERACIÓN DINÁMICA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**LUIS PEDRO RÍOS RIVAS**

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

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO QUÍMICO**

GUATEMALA, MAYO DE 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Jurgen Andoni Ramírez Ramírez
VOCAL V	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADORA	Inga. Cinthya Patricia Ortiz Quiroa
EXAMINADOR	Dr. Adolfo Narciso Gramajo Antonio
EXAMINADOR	Ing. Jaime Domingo Carranza González
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

## **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 RENDIMIENTO Y CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL EXTRACTO ETANÓLICO DE TILO (*Tilia platyphyllos* Scop.), OBTENIDO DE LA HOJA Y FLOR PROVENIENTE DEL DEPARTAMENTO DE CHIMALTENANGO, EVALUADO A ESCALA LABORATORIO POR MEDIO DE MACERACIÓN DINÁMICA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 13 de agosto de 2014.

**Luis Pedro Rios Rivas**



Guatemala, 25 de enero de 2016

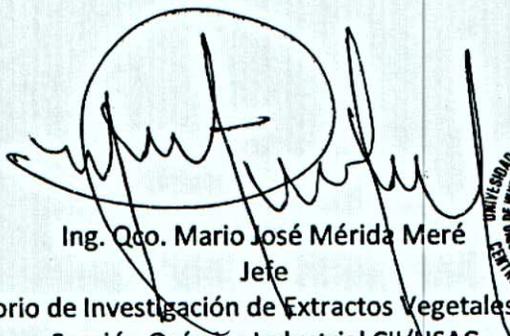
Ingeniero  
Carlos Salvador Wong Davi  
Director  
Escuela de Ingeniería Química  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Estimado Ingeniero Wong:

Por medio de la presente **HACEMOS CONSTAR** que hemos revisado y dado nuestra aprobación al Informe Final del trabajo de graduación titulado: **"DETERMINACIÓN DEL RENDIMIENTO Y CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL EXTRACTO ETANÓLICO DE TILO (*Tilia platyphyllos Scop.*), OBTENIDO DE LA HOJA Y FLOR PROVENIENTE DEL DEPARTAMENTO DE CHIMALTENANGO, EVALUADO A ESCALA LABORATORIO POR MEDIO DE MACERACIÓN DINÁMICA"**, del estudiante de Ingeniería Química Luis Pedro Ríos Rivas quien se identifica con el número de carné 2006-14409 y el DPI No. 2334-83764-0101

Sin otro particular me suscribo de usted.

Atentamente,



Ing. Qco. Mario José Mérida Meré  
Jefe

Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales  
Sección Química Industrial CII/USAC  
Asesor



Ing. Qca. Telma Maricela Cano Morales  
Profesora Titular IX  
Sección Química Industrial CII/USAC  
Asesora





Guatemala, 03 de marzo de 2017.  
Ref. EIQ.TG-IF.007.2017.

Ingeniero  
Carlos Salvador Wong Davi  
DIRECTOR  
Escuela de Ingeniería Química  
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Wong:

Como consta en el registro de evaluación del informe final EIQ-PRO-REG-007 correlativo 044-2014 le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

**INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADUACIÓN**

Solicitado por el estudiante universitario: **Luis Pedro Ríos Rivas.**  
Identificado con número de carné: **2006-14409.**  
Previo a optar al título de **INGENIERO QUÍMICO.**

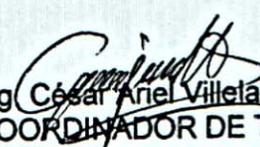
Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

**DETERMINACIÓN DEL RENDIMIENTO Y CARACTERIZACIÓN FISCOQUÍMICA DEL EXTRACTO ETANÓLICO DE TILO (*Tilia platyphyllos Scop.*), OBTENIDO DE LA HOJA Y FLOR PROVENIENTE DEL DEPARTAMENTO DE CHIMALTENANGO, EVALUADO A ESCALA LABORATORIO POR MEDIO DE MACERACIÓN DINÁMICA**

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

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

**"ID Y ENSEÑAD A TODOS"**

  
Ing César Ariel Villeta Rodas  
COORDINADOR DE TERNA  
Tribunal de Revisión  
Trabajo de Graduación



C.c.: archivo



ACAAI

Agencia Centroamericana de Acreditación de  
Profesiones de Arquitectos y de Ingenieros





**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

Edificio T-5, Ciudad Universitaria, Zona 12, Guatemala, Centroamérica  
EIQD-REG-SG-004

Ref.EIQ.TG.018.2017

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Trabajo de Graduación del estudiante, **LUIS PEDRO RÍOS RIVAS** titulado: **"DETERMINACIÓN DEL RENDIMIENTO Y CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL EXTRACTO ETANÓLICO DE TILO (*Tilia platyphyllos Scop.*), OBTENIDO DE LA HOJA Y FLOR PROVENIENTE DEL DEPARTAMENTO DE CHIMALTENANGO, EVALUADO A ESCALA LABORATORIO POR MEDIO DE MACERACIÓN DINÁMICA"**. Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.

*"Id y Enseñad a Todos"*



Ing. Carlos Salvador Wong Davila  
Director  
Escuela de Ingeniería Química

Guatemala, mayo 2017

Cc: Archivo  
CSWD/ale



Formando Ingenieros Químicos en Guatemala desde 1939

Universidad de San Carlos  
de Guatemala

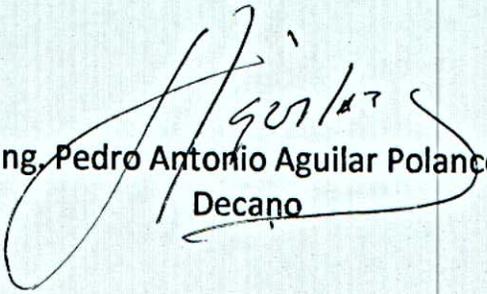


Facultad de Ingeniería  
Decanato

DTG. 199.2017

El Decano 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 RENDIMIENTO Y CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA DEL EXTRACTO ETANÓLICO DE TILO (*Tilia platyphyllos Scop.*), OBTENIDO DE LA HOJA Y FLOR PROVENIENTE DEL DEPARTAMENTO DE CHIMALTENANGO, EVALUADO A ESCALA LABORATORIO POR MEDIO DE MACERACIÓN DINÁMICA**, presentado el estudiante universitario: **Luis Pedro Ríos Rivas**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

  
Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Decano



Guatemala, mayo de 2017

/gdech

## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Por ser el pilar en mi vida y su eterno amor.
<b>Mis padres</b>	Carlos Aníbal Ríos Álvarez y Marta Elvira Rivas Guevara de Ríos, por ser el modelo de vida que aspiro a ser.
<b>Mis hermanos</b>	Carlos Aníbal, Juan Ricardo, Manuel Alejandro, por estar a mi lado en todo momento y ser mis amigos además de mis hermanos
<b>Mis abuelos</b>	Marcelino (q. e. p. d), Álvaro (q. e. p. d), Rosaura y Magdalena por todos sus consejos y experiencias de vida que me han transmitido.
<b>Karina Hernández</b>	Por ser parte de la familia y ser el apoyo constante.
<b>Sofía Karina</b>	Por ser una nueva fuerza en mí para poder ser mejor persona, te quiero mucho sobrina linda.
<b>Ana María Santizo</b>	Por ser un apoyo incondicional y desinteresado para ser cada día una mejor persona y dar lo mejor de mí cada día.
<b>Marysabel García</b>	Por su apoyo para llegar a este logro.

<b>Keyla Barahona</b>	Por su apoyo, consejos y experiencias en su etapa de la carrera de Ingeniería Química y ser parte de mi familia.
<b>Carmen Rivas</b>	Por cuidarme durante mi infancia y ser una segunda madre para mí.
<b>Mis amigos del colegio</b>	Gustavo Maldonado, Paco Díaz, Julio Pérez Pérez, Daniel España, Javier Molina, David Mota; por todas las experiencias vividas juntos durante más de 15 años de amistad.
<b>Amigos de carrera</b>	Carlos Cermeño, Edwin Cortez, José Soto, Samuel Prado, Alejandra Salguero, Christian Morales, Erick Von Quednow, Levent Asanoski, Diego Salazar, por los buenos momentos en los tiempos de estudio.
<b>Amigos LIEXVE</b>	Kevin Carias, Edy Payes, José García, Gerson Cuzco, Manuel Ruano, Marco Pérez, Danilo Ajcip, Gerson Ortega, Derick Carrera, por todo el tiempo que compartimos realizando las prácticas finales y la tesis.
<b>Mis asesores</b>	Ing. Mario Mérida e Inga. Telma Cano, por ser mis asesores y darme su amistad además de apoyarme con su experiencia de la mejor manera para culminar mi trabajo de graduación.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Dios</b>	Por ser el pilar fundamental en mi vida y la fuerza en momentos de alegría y tristeza en mi vida.
<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por ser mi casa de estudios que me dio formación profesional.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por formarme académicamente.
<b>LIEXVE</b>	Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales; por formarme profesionalmente y personalmente para poder enfrentar los retos que vengan en mi vida.
<b>Instituto de Investigaciones Universidad del Valle de Guatemala</b>	Ana Luisa Mendizabal, por su apoyo en la Licenciada ejecución de la fase final de trabajo de graduación
<b>Familia Santizo Recinos Carlos Rivas</b>	Don Billy, Doña Julia y Alejandra por todo su apoyo durante la etapa final de mi carrera.
<b>Rosaura Rivas</b>	Por ser parte de mi vida, apoyo y afecto durante toda mi vida.

**Ing. Cesar Villela**

Por su apoyo y tiempo en la fase de revisión de mi trabajo de graduación.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS.....	XI
GLOSARIO.....	XIII
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XIX
HIPÓTESIS.....	XXI
INTRODUCCIÓN.....	XXIII
1. ANTECEDENTES.....	1
2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Especie Tilo ( <i>Tilia platyphyllos</i> Scop.).....	5
2.2. Tipos de tilo.....	6
2.2.1. <i>Tilia cordata</i> .....	6
2.2.2. <i>Tilia platyphyllos</i> .....	6
2.2.3. <i>Tilia tomentosa</i> .....	7
2.2.4. <i>Tilia americana</i> .....	8
2.3. Propiedades del tilo.....	8
2.1 Composición química.....	9
2.4. Evidencia toxicológica.....	9
2.5. Extractos.....	10
2.5.1. Preparación de extractos.....	10
2.5.1.1. Lixiviación.....	11
2.5.1.2. Maceración.....	11
2.5.1.3. Maceración estática.....	12

	2.5.1.4.	Maceración dinámica .....	12
	2.5.1.5.	Maceración en caliente .....	12
	2.5.1.6.	Percolación .....	12
	2.5.1.7.	Diálisis .....	13
	2.5.2.	Extracción líquido-vapor .....	13
	2.5.2.1.	Destilación .....	13
	2.5.2.2.	Extracción por Soxhlet .....	14
2.6.		Tipos de extractos .....	15
	2.6.1.	Extracto fluido .....	15
	2.6.2.	Extracto blando .....	16
	2.6.3.	Extracto seco .....	16
	2.6.4.	Extracto duro .....	16
	2.6.5.	Extracto nebulizado .....	17
2.7.		Variables presentes el proceso de extracción .....	17
	2.7.1.	Agitación .....	17
	2.7.2.	Temperatura .....	17
	2.7.3.	pH .....	17
	2.7.4.	Naturaleza del solvente .....	18
	2.7.5.	Tiempo de extracción .....	18
2.8.		Fluidos supercríticos .....	18
2.9.		Caracterización fisicoquímica de los extractos .....	19
	2.9.1.	Densidad .....	20
	2.9.2.	Índice de refracción .....	20
	2.9.3.	Cromatografía .....	21
2.10.		Operaciones unitarias en la obtención de extractos .....	21
	2.10.1.	Flujo de fluidos .....	22
	2.10.1.1.	Fluidos no compresibles .....	23
	2.10.1.2.	Fluidos compresibles .....	23
	2.10.2.	Transferencia de calor .....	23

	2.10.2.1.	Mecanismo de conducción .....	24
	2.10.2.2.	Mecanismo de convección .....	24
	2.10.2.3.	Mecanismo de radiación .....	25
	2.10.3.	Transferencia de masa .....	25
3.	DISEÑO METODOLÓGICO .....		27
	3.1.	Variables .....	27
	3.1.1.	Variables independientes .....	27
	3.1.2.	Variables dependientes.....	28
	3.2.	Delimitación del campo de estudio .....	28
	3.3.	Recursos humanos disponibles .....	28
	3.4.	Recursos materiales disponibles .....	29
	3.5.	Técnica cualitativa o cuantitativa .....	30
	3.5.1.	Técnicas cuantitativas.....	30
	3.6.	Recolección y ordenamiento de la información .....	30
	3.6.1.	Técnica de muestreo.....	30
	3.6.2.	Ordenamiento de las muestras .....	31
	3.6.3.	Preparación de las muestras.....	31
	3.6.4.	Procedimientos de experimentación .....	32
	3.7.	Gráfico de control .....	36
	3.8.	Normalización de datos .....	37
	3.8.1.	Prueba de Anderson-Darling.....	37
	3.9.	Análisis estadístico .....	37
	3.9.1.	Medidas de tendencia central .....	37
	3.9.1.1.	Media aritmética.....	37
	3.9.1.2.	Varianza.....	38
	3.9.1.3.	Desviación estándar.....	38
4.	RESULTADOS.....		47

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS .....	55
CONCLUSIONES .....	65
RECOMENDACIONES .....	67
BIBLIOGRAFÍA .....	69
APÉNDICES .....	75

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Tilia cordata .....	6
2.	Tilia platyphyllos .....	7
3.	Tilia tomentosa.....	7
4.	Tilia americana.....	8
5.	Equipo de Extracción Soxhlet.....	15
6.	Picnómetro de laboratorio .....	20
7.	Refractometro de laboratorio.....	21
8.	Diagrama del procedimiento experimental de la obtención del extracto etanólico de tilo ( <i>Tilia platyphyllos</i> Scop.) evaluado en dos segmentos de la planta (hoja y flor) a diferentes tiempos de extracción (120 min, 180 min y 240 min) y concentraciones de solvente etanol (30 %, 60 % y 90 % v/v) .....	32
9.	Diagrama del procedimiento experimental de la concentración del extracto etanólico de tilo ( <i>Tilia platyphyllos</i> Scop.) evaluado en dos segmentos de la planta (hoja y flor) a diferentes tiempos de extracción (120 min, 180 min y 240 min) y concentraciones de solvente etanol (30 %, 60 % y 90 % v/v) utilizando equipo Rotaevaporador.....	33
10.	Diagrama del procedimiento experimental de la determinación de la densidad del extracto etanólico de tilo ( <i>Tilia platyphyllos</i> Scop.) evaluado en dos segmentos de la planta (hoja y flor) a diferentes tiempos de extracción (120 min, 180 min y 240 min) y concentraciones de solvente etanol (30 %, 60 % y 90 % v/v).....	34

11.	Diagrama del procedimiento experimental de la determinación de índice de refracción del extracto etanólico de tilo ( <i>Tilia platyphyllos</i> Scop.) evaluado en dos segmentos de la planta (hoja y flor) a diferentes tiempos de extracción (120 min, 180 min y 240 min) y concentraciones de solvente etanol (30 %, 60 % y 90 % v/v) .....	35
12.	Gráfico de control estadístico .....	36
13.	Análisis ANOVA para varianzas equivalentes correspondientes al rendimiento extractivo vs concentración del solvente del extracto etanólico de hoja de tilo ( <i>Tilia platyphyllos</i> ).....	39
14.	Análisis ANOVA para varianzas equivalentes correspondiente al rendimiento extractivo vs tiempo de extracción del extracto etanólico de hoja de tilo ( <i>Tilia platyphyllos</i> Scop).....	39
15.	Análisis ANOVA para varianzas idénticas correspondientes al rendimiento extractivo vs concentración del solvente del extracto etanólico de flor de tilo ( <i>Tilia platyphyllos</i> Scop).....	40
16.	Análisis ANOVA para varianzas idénticas correspondientes al rendimiento extractivo vs tiempo de extracción del extracto etanólico de flor de tilo ( <i>Tilia platyphyllos</i> Scop).....	40
17.	Análisis ANOVA para varianzas equivalentes en la determinación de la densidad vs concentración del extracto etanólico de hoja de tilo ( <i>Tilia platyphyllos</i> Scop) .....	41
18.	Análisis ANOVA para varianzas equivalentes en la determinación de la densidad vs tiempo de extracción en la obtención del extracto etanólico de hoja de tilo ( <i>Tilia platyphyllos</i> Scop) .....	41
19.	Análisis ANOVA para varianzas equivalentes en la determinación de la densidad vs concentración del solvente en la determinación del extracto etanólico de flor de tilo ( <i>Tilia platyphyllos</i> Scop) .....	42

20.	Análisis ANOVA para varianzas equivalentes en la determinación de la densidad vs tiempo de extracción en la obtención del extracto etanólico de flor de tilo ( <i>Tilia platyphyllos Scop</i> ).....	43
21.	Análisis ANOVA para varianzas equivalentes en la determinación del índice de refracción vs concentración del extracto etanólico concentración de hoja de tilo ( <i>Tilia platyphyllos Scop</i> ) .....	43
22.	Análisis ANOVA para varianzas equivalentes en la determinación del índice de refracción vs tiempo de extracción en la obtención del extracto etanólico de hoja de tilo ( <i>Tilia platyphyllos Scop</i> ) .....	44
23.	Análisis ANOVA para varianzas equivalentes en la determinación del índice de refracción vs concentración del solvente en la determinación del extracto etanólico de flor de tilo ( <i>Tilia platyphyllos Scop</i> ).....	44
24.	Análisis ANOVA para varianzas equivalentes en la determinación del índice de refracción vs tiempo de extracción en la obtención del extracto etanólico de flor de tilo ( <i>Tilia platyphyllos Scop</i> ).....	45
25.	Gráfico de control estadístico del proceso de obtención de extracto etanólico de hoja de tilo ( <i>Tilia platyphyllos Scop.</i> ), a partir de 3 concentraciones de solvente etanol y variación de 3 tiempos de extracción.....	48
26.	Gráfico de control estadístico del proceso de obtención de extracto etanólico de flor de tilo ( <i>Tilia platyphyllos Scop.</i> ), a partir de 3 concentraciones de solvente etanol y variación de 3 tiempos de extracción.....	48
27.	Gráfico de control estadístico de la determinación de la densidad del extracto etanólico de hoja de tilo ( <i>Tilia platyphyllos Scop.</i> ), a partir de 3 concentraciones de solvente etanol y variación de 3 tiempos de extracción .....	49

28.	Gráfico de control estadístico de la determinación de la densidad del extracto etanólico de flor de tilo ( <i>Tilia platyphyllos</i> Scop.), a partir de 3 concentraciones de solvente etanol y variación de 3 tiempos de extracción.....	50
29.	Gráfico de control estadístico de la determinación del índice de refracción del extracto etanólico de hoja de tilo ( <i>Tilia platyphyllos</i> Scop.), a partir de 3 concentraciones de solvente etanol y variación de 3 tiempos de extracción.....	51
30.	Gráfico de control estadístico de la determinación del índice de refracción del extracto etanólico de flor de tilo ( <i>Tilia platyphyllos</i> Scop.), a partir de 3 concentraciones de solvente etanol y variación de 3 tiempos de extracción.....	51
31.	Rendimiento del extracto etanólico obtenido de hoja de tilo ( <i>Tilia platyphyllos</i> Scop.) evaluado a 3 diferentes concentraciones de etanol y 3 tiempos de extracción.....	52
32.	Rendimiento del extracto etanólico obtenido de flor de tilo ( <i>Tilia platyphyllos</i> Scop.) evaluado a 3 diferentes concentraciones de etanol y 3 tiempos de extracción.....	52

## TABLAS

I.	Clasificación taxonómica del tilo.....	5
II.	Variables independientes presentes en la obtención del extracto etanólico de tilo ( <i>Tilia platyphyllos</i> Scop.) obtenido en 2 segmentos de la planta (hoja y flor) a diferentes concentraciones de solvente (30 %, 60 % y 90 % v/v).....	27
III.	Variables dependientes presentes en la obtención del extracto etanólico de tilo ( <i>Tilia platyphyllos</i> Scop.) obtenido en 2 segmentos de la planta (hoja y flor) a diferentes concentraciones de solvente (30 %, 60 % y 90 % v/v).....	28
IV.	Equipo de laboratorio, cristalería, equipo auxiliar y de extracción disponibles en las instalaciones del laboratorio de investigación de extractos vegetales –LIXVE-, sección Química Industrial, facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.....	29
V.	Muestreo de datos para obtención de extractos etanólicos.....	31
VI.	Resumen análisis estadístico por método ANOVA.....	45
VII.	Porcentaje de rendimiento de la obtención del extracto etanólico de hoja de tilo y flor ( <i>Tilia platyphyllos</i> Scop.) evaluado a 3 diferentes concentraciones de etanol y 3 diferentes tiempos de extracción.....	47
VIII.	Densidad en del extracto etanólico obtenido de hoja y flor de tilo ( <i>Tilia platyphyllos</i> Scop.) evaluado a 3 diferentes concentraciones de etanol y 3 tiempos de extracción.....	49
IX.	Índice de refracción en del extracto etanólico obtenido de hoja y flor de tilo ( <i>Tilia platyphyllos</i> Scop.) evaluado a 3 diferentes concentraciones de etanol.....	50
X.	Modelos matemáticos para tiempo óptimo de la obtención de extracto etanólico de hoja y flor de tilo ( <i>Tilia platyphyllos</i> Scop.)	

	evaluado a 3 tiempos de extracción y 3 concentraciones de solvente etanol .....	53
XI.	Cromatografías para extracto obtenido de hoja de tilo ( <i>Tilia platyphyllos Scop</i> ).....	53
XII.	Cromatografías para extracto obtenido de flor de tilo ( <i>Tilia platyphyllos Scop</i> ).....	54

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
$\alpha$	Confiabilidad
$\rho$	Densidad (g/mL)
<b>StDev</b>	Desviación estándar
$\sigma$	Desviación estándar
<b>g</b>	Gramos (g)
<b>LCL</b>	Límite de control inferior
<b>UCL</b>	Límite de control superior
$\bar{X}$	Media aritmética
<b>mean</b>	Media aritmética
<b>mL</b>	Mililitros
<b>min</b>	Minutos
<b>N.C</b>	Nivel de confianza
<b>%</b>	Porcentaje
<b>% v/v</b>	Porcentaje en volumen
<b>t</b>	Tiempo
<b>p-value</b>	Valor “p” de Levene



## GLOSARIO

<b>Cromatografía</b>	Método de separación de distintos componentes de una mezcla, por medio de propiedades físicas y químicas de la sustancia para identificar la cantidad de cada componente.
<b>Etanol</b>	Compuesto químico orgánico con una cadena lineal de 2 carbonos con un grupo hidroxilo (-OH) al final de la cadena, utilizado como excipiente en algunos medicamentos y cosméticos.
<b>Extracción</b>	Operación unitaria de transferencia de masa basada en la disolución de uno o varios componentes de una mezcla sólido-líquido en un disolvente selectivo.
<b>Extracto</b>	Preparaciones concentradas de consistencia líquida, sólida o intermedia obtenida normalmente de una materia vegetal.
<b>Gráfico de control</b>	Indica cuando un proceso se encuentra fuera de control y ayuda a identificar la presencia de una variación por causas especiales, cuando está presente la variación, su proceso no está estable y es necesario realizar una acción correctiva.

<b>Lixiviación</b>	Operación unitaria de separación entre un sólido y un líquido.
<b>Maceración dinámica</b>	Operación Unitaria que consiste en sumergir un sólido en un líquido o solvente para extraer sus componentes solubles o afín, en donde se da un proceso físico de agitación constante.
<b>Metabolito primario</b>	Son los componentes químicos que intervienen directamente en la supervivencia, crecimiento y reproducción de las plantas.
<b>Metabolito secundario</b>	Son los compuestos orgánicos que no participan en el desarrollo sino que aportan una ventaja a la planta para responder a los estímulos del entorno.
<b>Metabolito</b>	Son sustancias y compuestos químicos que pueden o no intervenir en el proceso de desarrollo de las plantas.
<b>Rendimiento</b>	Relación entre el peso de una materia prima vegetal y el peso del extracto obtenido expresado como un porcentaje.
<b>Solvente</b>	Sustancia que se encuentra en mayor proporción en una solución, generalmente líquido.

## RESUMEN

El objetivo general del presente estudio de investigación es evaluar el rendimiento en la obtención de extractos etanólicos de hoja y flor de tilo (*Tilia platyphyllos* Scop.) a escala laboratorio por medio de la técnica de maceración dinámica con el uso de 2 variables: 3 tiempos de extracción (120 min, 180 min y 240 min) y concentración del solvente utilizado etanol, CH<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>OH (30 %, 60 % y 90 % en v/v) para un total de 54 extracciones, 27 extracciones para hoja de tilo y 27 extracciones para flor de tilo (tabla VI, sección de resultados).

Se llevó a cabo la molienda de la materia prima de hoja y flor de tilo de un molino de cuchillas, luego se redujo el tamaño de la partícula con un tamiz No. 10 que tiene una apertura de 2.00 mm en su Mesh. La materia prima se agregó a un balón de fondo plano de 1000 mL en una relación 1:10, es decir, 50 g de hoja o flor de tilo y un volumen de 500 mL de solvente de extracción. A este balón se le agregó un agitador magnético de teflón y se colocó en una plancha de agitación, sobre la cual se colocó un condensador de bolas con recirculación de refrigerante r22, manteniendo la temperatura en el condensador por debajo de los 18°C. Las extracciones se realizaron por medio de un muestreo aleatorio experimental completamente aleatorio para así poder disminuir los errores por repetibilidad.

Al finalizar el proceso de extracción, el extracto se filtró con sistema de filtración que consistía en una bomba de vacío, embudo de porcelana, papel filtro, kitasato y silica (para absorber la humedad del proceso). Después de finalizado el proceso de filtrado, el extracto se colocó en el equipo Rotaevaporador por llevar a cabo la separación del extracto y el solvente por

medio de la operación unitaria de destilación, donde se utiliza las presiones de vapor del solvente en un sistema de inyección de vacío y temperatura entre 60 y 80 °C, separando el solvente del extracto el cual se recuperó en viales color ámbar.

Se determinó el rendimiento y las propiedades fisicoquímicas de los extractos (la densidad y el índice de refracción). A todos estos datos se le realizó análisis estadístico ANOVA, validando la hipótesis nula o alternativa. Con base en las conclusiones estadísticas se determinó que no existe diferencia significativa en el rendimiento obtenido del extracto etanólico de hoja y flor de tilo en función de la concentración del solvente etanol (30 %, 60 % y 90 % en v/v) y tiempo de extracción (120 min, 180 min, 240 min).

Los tiempos óptimos de extracción con solvente etanol al 30 % obtenidos fueron 85 minutos y 127 minutos para los extractos de hoja y flor de tilo, respectivamente; para los extractos con etanol al 60 % de hoja de tilo fue 132 minutos y 81 minutos para los extractos de flor; por último para los extractos con etanol al 90 % se obtuvo un tiempo de 126 minutos para el extracto de hoja y 112 minutos para el extracto de flor.

En la cuantificación de componentes con el equipo de cromatografía de gases con acoplamiento a espectrometría de masas CG-MS correspondiente a los extractos de hoja de tilo se identificó el componente 4-alil-2-metoxifenol conocido como eugenol, que es utilizado como anestésico por odontólogos y 2, 6, 6-Trimetilbicyclo, 3, 1, 1-heptano, siendo un compuesto monoterpénico que son componentes volátiles de los aceites esenciales, que constituyen aproximadamente un 5 % del peso total de la planta seca. Para el extracto de flor de tilo se identificó el componente 1-metoxi-2-propilamina utilizado en la

fabricación de jabones, detergentes y en agricultura (tablas No. XII y XIII, sección de resultados).

Se determinó que existe diferencia significativa en el índice de refracción del extracto etanólico de hoja de tilo en función del solvente etanol (30 %, 60 %, 90 % en v/v) y no para el extracto de flor en las mismas variaciones de concentración de solvente, mientras que para la determinación de la densidad del extracto etanólico de hoja y flor de tilo en función del tiempo de extracción. Por último se determinó que no existe diferencia significativa en la determinación del tiempo óptimo de extracción en la obtención del extracto etanólico de hoja y flor de tilo en función del tiempo de extracción.

A todos los datos analizados, se les aplicó  $\pm 3\sigma$  en su respectivo análisis, para así lograr la menor cantidad de errores que puedan ser cometidos durante el proceso de extracción llevado a cabo.

Las condiciones a las cuales se trabajó son a presión atmosférica en Guatemala de 640 mm de Hg, a temperatura ambiente de 22-25 °C.



## OBJETIVOS

### General

Evaluar el rendimiento de extracción y caracterización fisicoquímica del extracto etanólico de tilo (*Tilia platyphyllos* Scop.) obtenido de la hoja y flor proveniente del departamento de Chimaltenango, evaluado a escala laboratorio por medio de maceración dinámica.

### Específicos

1. Evaluar el rendimiento del extracto etanólico de tilo (*Tilia platyphyllos* Scop.) en 2 segmentos de la planta (hoja y flor) en función del tiempo de extracción (120 min, 180 min y 240 min) y concentración del solvente (30 %, 60 %, 90 % v/v) evaluado a escala por medio de maceración dinámica.
2. Caracterizar fisicoquímicamente el extracto etanólico de tilo (*Tilia platyphyllos* Scop.) en 2 segmentos de la planta (hoja y flor) en función del tiempo de extracción (120 min, 180 min y 240 min) y concentración del solvente (30 %, 60 %, 90 % v/v) evaluado a escala laboratorio medio de maceración dinámica.
3. Determinar el tiempo óptimo de obtención del extracto etanólico de tilo (*Tilia platyphyllos* Scop.) mediante un modelo matemático del rendimiento extractivo en función del tiempo de extracción evaluado a escala laboratorio por medio de maceración dinámica.

4. Realizar la detección de componentes químicos de la obtención del extracto etanólico de tilo (*Tilia platyphyllos* Scop.) en 2 segmentos de la planta (hoja y flor) a través de cromatografía gaseosa con acoplamiento a espectrofotometría de masas CG-MS.

## HIPÓTESIS

Es factible evaluar el rendimiento extractivo, tiempo óptimo de extracción y caracterización fisicoquímica del extracto etanólico de tilo (*Tilia platyphyllos* Scop.), obtenido de la hoja y flor proveniente del departamento de Chimaltenango, evaluado a escala laboratorio por medio de maceración dinámica.

### **Hipótesis nula:**

Ho<sub>1</sub>: no existe diferencia significativa en el rendimiento del extracto etanólico de tilo (*Tilia platyphyllos* Scop.) obtenido en 2 segmentos de la planta (hoja y flor) proveniente del departamento de Chimaltenango, evaluado a escala laboratorio por medio de maceración dinámica.

Ho<sub>2</sub>: no existe diferencia significativa en el índice de refracción del extracto etanólico de tilo (*Tilia platyphyllos* Scop.) obtenido en 2 segmentos de la planta (hoja y flor) proveniente del departamento de Chimaltenango, evaluado a escala laboratorio por medio de maceración dinámica.

Ho<sub>3</sub>: no existe diferencia significativa en la densidad del extracto etanólico de tilo (*Tilia platyphyllos* Scop.) obtenido en 2 segmentos de la planta (hoja y flor) proveniente del departamento de Chimaltenango, evaluado a escala laboratorio por medio de maceración dinámica.

Ho<sub>4</sub>: no existe diferencia en el tiempo óptimo de extracción en la obtención del extracto etanólico de tilo (*Tilia platyphyllos* Scop.) obtenido en 2 segmentos

de la planta (hoja y flor) proveniente del departamento de Chimaltenango, evaluado a escala laboratorio por medio de maceración dinámica.

**Hipótesis alternativa:**

Hi<sub>1</sub>: existe diferencia significativa en el rendimiento del extracto etanólico de tilo (*Tilia platyphyllos* Scop.) obtenido en 2 segmentos de la planta (hoja y flor) proveniente del departamento de Chimaltenango, evaluado a escala laboratorio por medio de maceración dinámica

Hi<sub>2</sub>: existe diferencia significativa en el índice de refracción del extracto etanólico de tilo (*Tilia platyphyllos* Scop.) obtenido en 2 segmentos de la planta (hoja y flor) proveniente del departamento de Chimaltenango, evaluado a escala laboratorio por medio de maceración dinámica.

Hi<sub>3</sub>: existe diferencia significativa en la densidad del extracto etanólico de tilo (*Tilia platyphyllos* Scop.) obtenido en 2 segmentos de la planta (hoja y flor) proveniente del departamento de Chimaltenango, evaluado a escala laboratorio por medio de maceración dinámica.

Hi<sub>4</sub>: existe diferencia en el tiempo óptimo de extracción en la obtención del extracto etanólico de tilo (*Tilia platyphyllos* Scop.) obtenido en 2 segmentos de la planta (hoja y flor) proveniente del departamento de Chimaltenango, evaluado a escala laboratorio por medio de maceración dinámica.

## INTRODUCCIÓN

El constante auge en el crecimiento de la población ha sido un impulsor en la generación de conocimiento para mejorar la calidad de vida del ser humano, en las especies vegetales no ha sido la excepción ya que debido a la poca vida de los productos naturales cosechados, se ha visto la necesidad de tener estos productos o sus principios activos de manera que sea de larga duración; además que al momento de ser exportado o importado, tenga un menor tamaño, facilite el transporte de los mismo.

En este auge, la temática de extractos vegetales ha tenido un auge en los últimos 50 años, el cual ha venido de la mano con el desarrollo e implementación de nuevas tecnologías para mejorar la calidad, rendimiento y factibilidad en la obtención de extractos a base de productos naturales. El tilo (*Tilia platyphyllos* Scop.) es una planta medicinal utilizada en Guatemala para su uso en infusiones en su mayoría únicamente con flor seca, especialmente para las personas que padecen de problemas de sueño, ansiedad o algún tipo de dolor abdominal.

La forma en que se ha estudiado el tilo ha sido únicamente como una extracción en la cual se obtiene su aceite esencial, pero debido a que se tienen rendimientos muy bajos; además del uso de un solvente de captura polar (generalmente Benceno) que si este no es recuperado en su totalidad puede tener efectos cancerosos en el cuerpo humano. Dicho esto, el presente trabajo de investigación tiene como objetivo, no solo evaluar el rendimiento extractivo de la flor de tilo, sino que también la evaluación del rendimiento extractivo de la hoja de tilo, la cual se posee en Guatemala; pero debido a su poco uso se

exporta en su mayoría a países como México donde si se utiliza para infusiones y tratamientos de medicina alternativa.

Se evalúan los extractos de hoja y flor de tilo con un solvente etanol en grado alimenticio, en el cual se variaron sus concentraciones y tiempos de extracción, para poder determinar si es significativa su obtención de los mismos y a su vez determinar sus propiedades fisicoquímicas (densidad e índice de refracción) y así sentar las bases para poder aprovechar este material vegetal de una manera óptima y darle un valor agregado a la planta de tilo que se produce en Guatemala.

# 1. ANTECEDENTES

"En la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad de San Carlos de Guatemala se han realizado investigaciones en trabajos de tesis sobre extractos de tilo. En el año 1983, Francisco José Solís Samayoa previo a optar al título de químico farmacéutico, elaboró su estudio de graduación titulado *Contribución al estudio farmacológico de la tilia mexicana*, en el cual sentaba las bases del estudio de esta planta en su especie mexicana ya que no se encontraba totalmente explotada su contraparte guatemalteca."<sup>1</sup>

"En el año 1994, se publica el libro *Domesticación de plantas medicinales en Centroamérica*, publicado por Rafael Ocampo con apoyo de la Autoridad Sueca de Desarrollo Internacional, el Organismo Noruego de Cooperación para el Desarrollo y la Agencia para el Desarrollo Internacional. Esta recopilación nace del intercambio entre investigadores dedicados a realizar estudios químicos, farmacológicos, biológicos y etnobotánicos.

Se habla de las especies silvestres nativas, entre las cuales se menciona el tilo el cual se menciona que sufre de erosión genética acelerada, es decir, que está perdiendo su viabilidad, principalmente como consecuencia de los altos volúmenes de extracción en sus ambientes naturales."<sup>2</sup>

"En el año 1996, Armando Cáceres publica su libro *Plantas de uso medicinal en Guatemala*, el cual habla del tilo en Guatemala, lugares de cultivo, donde se menciona el departamento de Chimaltenango como uno de los principales productores de tilo en el país, donde se menciona el tilo, su descripción botánica, hábitat, historia, cultivo, usos medicinales y populares, así como su composición química, indicaciones terapéuticas. Valida científicamente los usos populares de las plantas medicinales mencionadas."<sup>3</sup>

"En el año 2005, Brenda Carolina de La Cruz elaboró su estudio de tesis en la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad de San Carlos de Guatemala titulado *Caracterización de cinco extractos de plantas medicinales nativas de Guatemala, validadas científicamente*, donde caracterizó los extractos para elaborar una ficha técnica para su estandarización utilizando etanol a diferentes concentraciones e identificar sus componentes por medio de cromatografía de capa fina, las plantas utilizadas fueron achiote (*Bixa Orellana* L.), apacín (*Petiveria alliacea* L.), pericón (*Tagetes lucida* Cav.) valeriana (*Valeriana prionophylla* S.) y zalzaparrilla (*Smilax domingensis* W.). Al finalizar el estudio, se concluye que las 5 plantas cumplen con los parámetros físicos y son aptas para realizar la caracterización de tinturas y el solvente etanol utilizado ideal fue etanol entre el rango de 35-70 %."<sup>4</sup>

---

<sup>1</sup> SOLIS SAMAYOA, Francisco José. *Contribución al estudio farmacológico de la tilia mexicana*. p. 15.

<sup>2</sup> OCAMPO, Rafael. *Domesticación de plantas medicinales en Centroamérica*. p. 63.

<sup>3</sup> CÁCERES, Armando. *Plantas de uso medicinal en Guatemala*. p. 96.

<sup>4</sup> CRUZ, Brenda Carolina. *Caracterización de cinco extractos de plantas medicinales*. p. 12.

“En el año 2006 en México, Concepción García Luján elaboró su tesis octoral en Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma Agraria en Torreón, México. Dicho estudio tiene el nombre de *Actividad antibacteriana de extractos vegetales en cepas hospitalarias de staphylococcus aureus con resistencia múltiple*, en dicho estudio se menciona la permanencia de las enfermedades infecciosas causadas por cepas patógenas bacterianas causando problemas de salud a nivel mundial; se evaluó la actividad de extractos etanólicos de perejil (*Petroselinum sativum*), ruda (*Ruta graveolens*), tomillo (*Thymus vulgaris*) y gobernadora (*Larrea tridentata*) así como de aceites esenciales de clavo (*Syzygium aromaticum*) y orégano (*Lippia graveolens*). En las pruebas de actividad antibacteriana, los resultados mostraron que no existió diferencia entre las concentraciones mínimas inhibitorias (2.77mg/mL) de los extractos etanólicos en todas las cepas, mientras que los aceites esenciales inhibieron el crecimiento bacteriano a concentraciones mínimas variables e inferiores a las de los extractos etanólicos. Por medio de cromatografías de gases, se determinaron los componentes activos en los extractos: ácido hexadecanoico, fitol cariofilenos, tilol y para-cimeno.”<sup>5</sup>

“En el año 2007, Alba Carolina Barrios Valenzuela elaboró su estudio de tesis en la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad de San Carlos de Guatemala titulado *Validación farmacológica de la acción sedante e hipnótica de rizoma de Valeriana prionophylla (valeriana) en combinación con hojas de Passiflora edulis (flor de la pasión), flor con bráctea de Tilia platyphyllos (tilo) o pericarpio de Citrus aurantium (naranja agraria) en infusión*, en este estudio se escogió la valeriana como factor común ya que a esta se le ha comprobado un efecto sedante en dosis de 1000 mg/kg. Se evaluaron diferentes combinaciones en diferentes pruebas para determinar la actividad sedante e hipnótica y los resultados mostraron que la combinación de rizoma de *Valeriana prionophylla* (valeriana) con hojas de *Passiflora edulis* (flor de la pasión) a dosis de 1000 mg/kg es positiva solamente en la prueba de la chimenea, determinándose que la asociación no ejerce un efecto sedante mayor al observado en el uso aislado de la valeriana; y para el efecto hipnótico, ejerce una acción contraria al combinarlas y utilizarlas como tal en ratones machos albinos, disminuyendo el tiempo de sueño.”<sup>6</sup>

“En el año 2007, Yaned Correa, Jaime Niño y Oscar Mosquera de la Universidad de Tecnológica de Pereira, Colombia, publicaron el estudio a nivel doctoral titulado *Inhibición de ADN por extractos vegetales de plantas de la ecorregión cafetera* en dicho estudio se evaluaron los resultados de la inhibición del ADN de 52 extractos metanólicos y de 51 extractos de diclorometano. Estos 103 extractos pertenecientes a las plantas de las familias *Asteraceae*, *Ephorbiaceae*, *Melastomataceae*, *Rubiaceae* y *Solanaceae*, fueron recolectadas en el Parque Regional Natural Ucumarí (PRNU, Colombia). Los porcentajes de inhibición de ADN presentaron los extractos metanólicos de las especies pertenecientes a la familia *Asteraceae* y *Solanaceae* mientras que todos los extractos de diclorometano evaluados mostraron baja inhibición del ADN; el estudio mostró que el 32.7 % de las plantas recolectadas presentaron un porcentaje de inhibición mayor al 20.0 %, por lo cual se puede inferir que la flora del PRNU tiene gran

---

<sup>5</sup> GARCÍA, Luján. *Actividad antibacteriana de extractos vegetales en cepas hospitalarias de staphylococcus aureus con resistencia múltiple*. p. 15.

<sup>6</sup> BARRIOS VALENZUELA, Alba Carolina. *Validación farmacológica de la acción sedante*. p. 21.

potencial como fuente de fitocompuestos con posibles aplicaciones farmacológicas.”<sup>7</sup>

“En el año 2011, Leticia Acosta Torres realizó el estudio de tesis en la Universidad Autónoma de México (UNAM), titulado *Evaluación de la actividad ansiolítica de extractos orgánicos de Tilia americana var. Mexicana*, su objetivo principal fue realizar una comparación por CCF de la presencia de terpenoides y flavonoides de tilo colectados en Morelos y Puebla. Concluyó que los resultados farmacológicos corroboran el efecto sedante y ansiolítico que se le atribuye a la *Tilia americana* Var en la medicina tradicional mexicana.”<sup>8</sup>

“En el año 2012, María Eugenia Delgado Casale elaboró su tesis doctoral en la Universidad de Madrid titulado *Perspectiva de extractos vegetales para el control del loque americano (Paenibacillus larvae) en la larva de las abejas melíferas (Apis mellifera)*; en el estudio propone el usos de extractos vegetales como una alternativa ecológica, económicamente viable y socialmente aceptable para el tratamiento de colmenas con presencia de *Paenibacillus larvae*. Los extractos vegetales utilizados fueron canela (*Cinnamomum zeylanicum*), sábila (*Aloe vera*), manzano (*Malus domestica*), ajo (*Allium sativum*), ruda (*Ruda graveolens*) y romero (*Rosmarinus officinalis*). El estudio concluye que los extractos que controlan mejor la bacteria *Paenibacillus larvae* en orden de mayor eficiencia fueron la canela, sábila, manzano, ajo, ruda y romero. El extracto de canela controla la enfermedad sin afectar la ecología de las colmenas utilizadas, mientras que los extractos de ruda y romero afectan la vida de la colmena a largo plazo.”<sup>9</sup>

“En el año 2015, el estudiante José Luis González realizó el estudio de tesis en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala titulado *Obtención y caracterización fisicoquímica del extracto etanólico del Bacché (Eupatorium semialatum Benth) para su aplicación farmacéutica y su escalamiento a nivel planta piloto*. Este estudio de tesis tuvo como objetivo general el obtener y caracterizar un extracto etanólico de bacché (*Eupatorium semialatum Benth*) para su aplicación farmacéutica y hacer escalamiento a nivel planta piloto; se concluyó que el solvente que tenía mayor porcentaje de extracción de sólidos totales a nivel laboratorio fue con etanol al 50 % con un rendimiento de 20.918±0.58 %. Además, se concluyó por medio de cromatografía de capa fina que el único solvente que no presentó alcaloides y sesuiterpelanlactonas en sus extracciones fue el agua y que los demás solventes si presentaron estos compuestos químicos.”<sup>10</sup>

“En el año 2016, Ana Dalila Rodríguez de León, elaboró su estudio de tesis en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala titulado *Evaluación del extracto de quilete (Solanum americanum Miller) como insecticida y larvicida contra el vector transmisor de dengue (Aedes aegypti)*; se utilizó la

---

<sup>7</sup> CORREA, Yaned; NIÑO, Jaime; MOSQUERA, Oscar.

<sup>8</sup> ACOSTA TORRES, Leticia. *Evaluación de la actividad ansiolítica de extractos orgánicos de Tilia americana var. Mexicana*. p.32.

<sup>9</sup> DELGADO CASALE María Eugenia. *Perspectiva de extractos vegetales para el control del loque americano (Paenibacillus larvae) en la larva de las abejas melíferas (Apis mellifera)*. p. 68.

<sup>10</sup> LUIS GONZÁLEZ, José. *Obtención y caracterización fisicoquímica del extracto etanólico del Bacché (Eupatorium semialatum Benth) para su aplicación farmacéutica y su escalamiento a nivel planta piloto*. p. 45.

técnica de maceración dinámica para la extracción de frutos y hojas de quilete utilizando etanol y hexano como solventes de extracción y se concluyó que el extracto de frutos de quilete presentó un mayor rendimiento con el solvente de polaridad intermedia, seguido por el solvente de mayor polaridad y el menor rendimiento se dio con el solvente de mayor polaridad. Se concluyó que los extractos de frutos y hojas de quilete presentaron actividad larvicida e insecticida frente a vectores de *Aedes esgypti*, presentando mejor actividad el extracto de frutos por sobre el de hojas.”<sup>11</sup>

---

<sup>11</sup> RODRÍGUEZ DE LEÓN, Ana Dalila. *Evaluación del extracto de quilete (Solanum americanum Miller) como insecticida y larvicida contra el vector transmisor de dengue (Aedes aegypti)*. p. 89.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Especie Tilo (*Tilia platyphyllos Scop.*)

“El tilo es un árbol caducifolio de buen porte, con abundante follaje, dando sombra impenetrable y fresca, en ocasiones es plantado únicamente como especie ornamental en parques y plazas. Sus hojas son cordiformes, pecioladas e intensamente verdes; tienen un sabor herbáceo algo aromático, agradable y sueltan cierto mucilago parecido al de las malvas.”<sup>12</sup>

El tilo crece en América, Europa y Asia, se agrupa en aproximadamente 50 géneros; mayormente extendidos por regiones tropicales, sea en forma aislada, en bosques de tilo o bordeando las lindes de los bosques caducifolios. Existen diversas especies de tilos, todas presentan propiedades muy similares, siendo sus partes que se utilizan; flores, hojas y cortezas. Crece de manera silvestre y en huertos de jardín; es posible producirla en alturas que van desde los 100 metros hasta los 1 100 metros sobre el nivel del mar.

Tabla I. Clasificación taxonómica del tilo

CATEGORÍA	CLASIFICACIÓN
Reino	<i>Plantae</i>
División	<i>Magnoliophyta</i>
Clase	<i>Magnoliopsida</i>
Orden	<i>Malvales</i>
Familia	<i>Malvaceae</i>
Subfamilia	<i>Tilioideae</i>
Genero	<i>Tilia</i>

Fuente: elaboración propia.

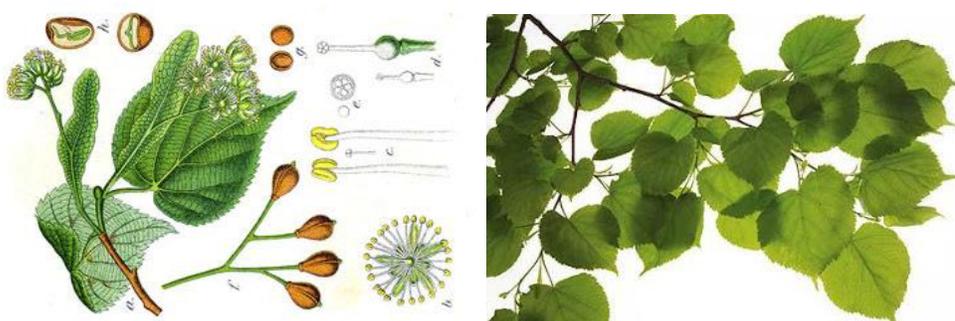
<sup>12</sup> DELGADO CASALE, María Eugenia. *Perspectiva de extractos vegetales para el control del loque americano (Paenibacillus larvae) en la larva de las abejas melíferas (Apis mellifera)*. p. 68.

## 2.2. Tipos de tilo

### 2.2.1. Tilia cordata

“Es un tilo silvestre o de hoja pequeña, copa redonda y atractivo follaje. Tiene un rápido crecimiento de hasta 25 metros y sus flores son amarillas dispuestas en racimos.”<sup>13</sup>

Figura 1. Tilia cordata



Fuente: Me emelink. *Tilia*. [http://www.meemelink.com/prints\\_images/24005.Tiliaceae%20-%20Tilia%20cordata.jpg](http://www.meemelink.com/prints_images/24005.Tiliaceae%20-%20Tilia%20cordata.jpg). Consulta: 15 de agosto de 2016.

### 2.2.2. Tilia platyphyllos

“Es un tilo común o de hoja grande, tiene copa estrecha y alta, las hojas llegan a tener un tamaño de 15 centímetros, con las dos caras de las hojas de color verde. Alcanza una altura de 35 metros con sus ramas erguidas.”<sup>14</sup>

<sup>13</sup> DELGADO CASALE, María Eugenia. *Perspectiva de extractos vegetales para el control del loque americano (Paenibacillus larvae) en la larva de las abejas melíferas (Apis mellifera)*. p. 68.

<sup>14</sup> *Ibíd.*

Figura 2. **Tilia platyphyllos**



Fuente: TONETTI, Roberto. *Tilia platyphyllos*.  
es.wikipedia.org/wiki/Tilia\_platyphyllos#/media/File:Tilia\_platyphyllos\_hojas\_Roberto\_Tonetti\_23  
ago2009.jpg. Consulta: 22 de agosto de 2014.

### 2.2.3. **Tilia tormentosa**

“Es un tilo de color plateado que alcanza una altura de 30 metros, con ramas erguidas; sus hojas son ásperas de color gris, floración tardía, numerosa y aromática.”<sup>15</sup>

Figura 3. **Tilia tormentosa**



Fuente: *Tilia tormentosa*. <https://www.dreamstime.com/stock-illustration-tilia-tomentosa-autumn-d-computer-rendered-illustration-image42607347>. Consulta: 2 de septiembre de 2014.

<sup>15</sup> TONETTI, Roberto. *Tilia platyphyllos*. es.wikipedia.org/wiki/Tilia\_platyphyllos#/media/File:Tilia\_platyphyllos\_hojas\_Roberto\_Tonetti\_23ago2009.jpg. Consulta: 22 de agosto de 2014.

#### 2.2.4. Tilia americana

Tiene hojas muy grandes, sensible a la contaminación. Alcanza una altura de 30 metros y únicamente se cultiva en América del Norte, además, produce una gran cantidad de madera.

Figura 4. Tilia americana



Fuente: Permacultura. <http://tcpemaculture.blogspot.com/2012/05/permaculture-plants-lime-linden-and.html>. Consulta: 5 de septiembre de 2014.

#### 2.3. Propiedades del tilo

Entre las propiedades generales del tilo se encuentra que es sedante, antiespasmódico, antirreumático, diurético, suave, hipotensor, vasodilatador, fluidificante de la sangre, ayuda al tratamiento de las infecciones hepáticas y renales. Es diaforético, utilizado como antiácido estomacal, cicatrizante de heridas y combate la pérdida del cabello o alopecia.

Al provocar sudoración, colabora en la recuperación de cuadros gripales, reduce la fiebre, y puede ser tomado por niños en pequeñas dosis que ayuda a estimular el sistema inmunológico y tratamiento para la migraña.

“Ante la posibilidad latente de que los efectos sedantes se vean potenciados por la administración simultánea o conjunta con antihistamínicos, barbitúricos, benzodiacepinas y alcohol, se debe evitar su uso excesivo.”<sup>16</sup>

## 2.1 Composición química

Las flores contienen aceisperte volátil (farmesol, geraniol, eugenol), un 10 % de mucílago, glucósidos flavónicos (tila-rósido, rutósido, astragalósido, hiperósido), hesperidina, saponinas, ácidos orgánicos, (*p*-cumárico, clorogénico, cafeico), leucoantocianinas, proantocianidinas, aminoácidos (cistina, cisteína, fenilalanina), tocoferol.

“Las hojas contienen linarina y glicosidos, azúcar, almidón, lípidos, fitosterol, ácidos resinicos, taninos, flobafeno y amirina. La corteza contiene cumarinas, polifenoles, taninos, y mucílago (tarexol, tiliadina y vainillina). Los frutos contienen un 58 % de ácidos grasos, fitosterol, taninos, azúcares y aminoácidos.”<sup>17</sup>

## 2.4. Evidencia toxicológica

“Se ha dicho que el uso de las hojas viejas puede inducir intoxicación narcótica. Es contraindicado su uso en pacientes cardíacos. La infusión de la flor posee acción ligeramente hipnótica a dosis de 750 mg/kg. Estudios antibacterianos han demostrado que la tintura de flores es ligeramente activa contra *S. aureus*, pero inactiva contra *S. pneumoniae* y *S. pyogenes*.”<sup>18</sup>

---

<sup>16</sup> DELGADO CASALE, María Eugenia. *Perspectiva de extractos vegetales para el control del loque americano (Paenibacillus larvae) en la larva de las abejas melíferas (Apis mellifera)*. p. 68.

<sup>17</sup> *Ibíd.*

<sup>18</sup> *Ibíd.*

La forma de administración adecuada debe ser en dosis de 0,5-1,0 %, aproximadamente 2-3 tazas al día cuando se desea obtener un efecto ansiolítico o sedante. También puede obtenerse el mismo efecto mediante la administración de cápsulas en dosis de 250-300 mg durante tres veces al día. La infusión se prepara con aproximadamente 5 gramos de hoja/flor de tilo para un litro de agua en punto de ebullición y beber 1 taza durante 3 veces al día y en los estados gripales usar la infusión caliente, en los demás, usar la infusión fría.

## **2.5. Extractos**

Los principios activos de las plantas medicinales se obtienen por una extracción sólido-líquido, conocida como lixiviación, que se lleva a cabo al menos en tres etapas: penetración del solvente en los tejidos vegetales e hinchazón, disolución de sustancias extraíbles y difusión de sustancias extraíbles disueltas fuera de la célula vegetal. Los extractos son preparaciones concentradas de consistencia líquida, sólida o intermedia, obtenidos normalmente a partir de materia vegetal o animal desecada.

### **2.5.1. Preparación de extractos**

Los extractos de drogas, animales o vegetales, plantas o trozos de plantas pertenecen a las formas farmacéuticas más antiguas. La forma de extracción más frecuente es por maceración que tiene sus ventajas sobre la percolación y contracorriente. Recientemente se han desarrollado técnicas muy eficientes como la extracción supercrítica con gases. "En este tipo de extracción se lleva a cabo una separación de porciones biológicamente activas de componentes inertes o inactivos a través de un solvente elegido y un proceso de extracción

seleccionado, los cuales pueden ser por medio de operaciones de extracción como.”<sup>19</sup>

#### **2.5.1.1. Lixiviación**

Se le denomina a la separación del componente entre una fase sólida y una fase líquida, donde ciertos componentes del sólido son solubles en el disolvente líquido.

#### **2.5.1.2. Maceración**

Es un proceso de extracción sólido-líquido. El producto sólido posee una serie de compuestos solubles en el líquido o solvente de extracción que son los que se pretenden obtener. El rendimiento del extracto disminuye cuando la relación materia /solvente aumenta. “El hinchamiento de la materia prima es factor importante, porque aumenta la permeabilidad de la pared celular y la difusión del solvente. La velocidad con que se obtiene el equilibrio está en función del tamaño de partícula de la materia prima molida, así como, del grado de hinchamiento de las células y de las propiedades del solvente, como por ejemplo, su viscosidad y polaridad.”<sup>20</sup>

En la ingeniería química se suele hablar de extracciones, y los solventes que se pueden utilizar pueden ser agua, etanol, ácidos orgánicos e inorgánicos. La naturaleza de los componentes extraídos depende de la naturaleza de la materia prima así como del solvente de la extracción y se pueden encontrar los siguientes tipos de maceración.

---

<sup>19</sup> GONZÁLEZ, Jose. *Obtención y caracterización del extracto etanólico del bacché (eupatorium semialatum benth) para su aplicación farmacéutica y su escalamiento a nivel piloto.* p. 36.

<sup>20</sup> CANO, Saravia. *Evaluación del rendimiento extractivo, contenido de  $\alpha$ -pineno y tiempo óptimo de extracción del aceite esencial de ciprés (Cupressus lusitánica mill), obtenido de hojas, ramillas y frutos mediante hidrodestilación a nivel de laboratorio.* p. 48.

### **2.5.1.3. Maceración estática**

“Es el tipo de maceración donde la materia prima sólida está en contacto con el solvente de extracción sin ningún tipo de movimiento.”<sup>21</sup>

### **2.5.1.4. Maceración dinámica**

Es el tipo de maceración donde la materia prima sólida está en contacto con el solvente de extracción con un proceso de agitación constante.

### **2.5.1.5. Maceración en caliente**

“Es el tipo de extracción donde la materia prima sólida está en contacto con el solvente de extracción ya sea de manera estática o dinámica y se le agrega temperatura constante; la desventaja de este tipo de extracción es que no se logra extraer totalmente la esencia pura del producto a macerar, ya que siempre se quema o se pierde algún principio activo que sea volátil conocidos como compuestos termolábiles.”<sup>22</sup>

### **2.5.1.6. Percolación**

“En este caso, el solvente, por lo general alcohol o agua, atraviesa una columna de materia prima vegetal pulverizada, arrastrando durante el proceso, sus principios activos.”<sup>23</sup>

---

<sup>21</sup> LEÓN, Adam. *Evaluación del extracto de quilete (solanum americanum miller) como insecticida y larvicida contra el vector transmisor del dengue (aedes aegypti)*. p. 96.

<sup>22</sup> GONZÁLEZ, José. *Obtención y caracterización del extracto etanólico del bacché (eupatorium semialatum benth) para su aplicación farmacéutica y su escalamiento a nivel piloto*. p. 36.

<sup>23</sup> *Ibíd.*

### **2.5.1.7. Diálisis**

“Se refiere a un proceso con una membrana semipermeable que permite el paso de las sustancias arrastradas por el solvente. Los métodos más utilizados son la infusión y el cocimiento.”<sup>24</sup>

## **2.5.2. Extracción líquido-vapor**

Se le denomina a la separación de componentes entre una fase de vapor y una fase líquida.

### **2.5.2.1. Destilación**

Es el método que se utiliza para separar los componentes de una solución líquida el cual depende de los componentes entre una fase de vapor y una fase líquida. Ambos componentes están presentes en las dos fases. La fase de vapor se origina en la fase líquida por vaporización en el punto de ebullición. La destilación puede llevarse a cabo por medio de un evaporador rotativo donde se efectúa una condensación de solvente mediante el uso de un matraz de evaporación rotativo.

“La destilación puede llevarse a cabo según dos métodos principales: el primer método se basa en la producción de vapor mediante la ebullición de la mezcla líquida que se desea separar y la condensación de los vapores sin permitir que el líquido retorne a la columna del equipo de destilación; el segundo método se basa en el retorno de una parte del condensado a la

---

<sup>24</sup> GONZÁLEZ, José. *Obtención y caracterización del extracto etanólico del bacché (eupatorium semialatum benth) para su aplicación farmacéutica y su escalamiento a nivel piloto.* p. 36.

columna, en condiciones tales que el líquido que retorna se pone en contacto íntimo con los vapores que ascienden hacía el condensador.”<sup>25</sup>

### **2.5.2.2. Extracción por Soxhlet**

El Soxhlet es un aparato de extracción semicontinua, pues una de las fases, el sustrato se agrega al principio, mientras que el solvente de extracción cumple un ciclo de extracción y purificación continua. La purificación se realiza en forma paralela por destilación del solvente, de manera que el sustrato siempre está en contacto con el solvente puro: se utiliza cuando es necesaria una extracción exhaustiva de la droga.

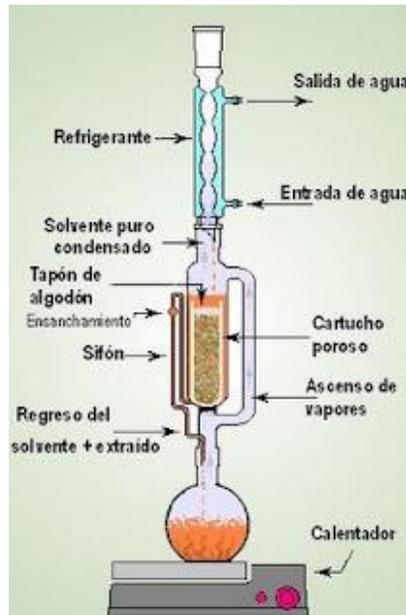
“Es útil a escala laboratorio, a pesar de que la extracción no tenga una alta eficiencia, pues la regeneración del solvente se realiza de manera automática, evitando excesiva manipulación.”<sup>26</sup>

---

<sup>25</sup> SANTIZO, Ana . *Evaluación del rendimiento de extracción y caracterización del aceite fijo de macadamia (macadamia integrifolia) extraído de nueces sanas e inmaduras provenientes de los municipios de el palmar y colomba costa cuca, quetzaltenango y alotenango, sacatepéque.* p. 48.

<sup>26</sup> Ibid.

Figura 5. **Equipo de Extracción Soxhlet**



Fuente: *Procesos Bio*. <http://procesosbio.wikispaces.com/Extracci%C3%B3n+s%C3%B3lido-l%C3%ADquido>. Consulta: 10 de septiembre de 2014.

## 2.6. Tipos de extractos

Según su concentración o relación masa/volumen pueden ser clasificados de 5 formas: extractos fluidos, extractos blandos, extractos secos, extractos duros y extractos nebulizados.

### 2.6.1. Extracto fluido

“Son preparaciones en las que en general son una parte por masa o volumen y equivalente a una parte líquidas del extracto original deseado. Se obtienen generalmente por percolación con etanol al 70 %; posteriormente se evapora parcial o totalmente por medio de una separación al vacío y luego se

concentra hasta obtener una relación 1:1 m/v, se recomienda obtener al menos 2 partes de extracto fluido por una parte de droga vegetal.”<sup>27</sup>

### **2.6.2. Extracto blando**

“Son preparaciones de consistencia intermedia entre los extractos fluidos y secos, se obtienen mediante la evaporación parcial del solvente utilizado para su extracción; esto se realiza por medio de una separación al vacío, hasta lograr una consistencia espesa y semejante a la miel y su concentración es igual o superior al 2:1.”<sup>28</sup>

### **2.6.3. Extracto seco**

“Son preparaciones de consistencia sólida, se obtiene por evaporación del solvente utilizado para su elaboración u obtención; estos extractos tienen un residuo no inferior al 9,5 % en masa.”<sup>29</sup>

### **2.6.4. Extracto duro**

“Los extractos duros son preparaciones líquidas muy viscosas, como masas plásticas líquidas en caliente y con mayor concentración, las cuales poseen aproximadamente tres partes de masa de la droga en una parte equivalente del solvente; en ocasiones puede hacerse más concentrado dependiendo del extracto deseado.”<sup>30</sup>

---

<sup>27</sup> GONZÁLEZ, José. *Obtención y caracterización del extracto etanólico del bacché (eupatorium semialatum benth) para su aplicación farmacéutica y su escalamiento a nivel piloto.* p. 36.

<sup>28</sup> *Ibíd.*

<sup>29</sup> *Ibíd.*

<sup>30</sup> *Ibíd.*

### **2.6.5. Extracto nebulizado**

“Son extractos secos obtenidos tras pulverizar gotitas muy finas que se desecan instantáneamente por el calor.”<sup>31</sup>

## **2.7. Variables presentes el proceso de extracción**

Estas variables interfieren en el proceso extractivo, independientemente de la escala de producción a la cual se realice o el tipo de producto final; estas variables se detallan a continuación.

### **2.7.1. Agitación**

La agitación tiene efecto en que todas las partículas de materia prima vegetal están en contacto constante con el solvente de extracción.

### **2.7.2. Temperatura**

Algunos principios activos son sensibles a bajas o altas temperaturas, depende de la naturaleza de la materia prima vegetal.

### **2.7.3. pH**

Al igual que la temperatura, el pH también afecta la extracción o precipitación de principios activos ya que pueden ser extraídos en medios ácidos, básicos o neutros.

---

<sup>31</sup> GONZÁLEZ, José. *Obtención y caracterización del extracto etanólico del bacché (eupatorium semialatum benth) para su aplicación farmacéutica y su escalamiento a nivel piloto.* p. 36.

#### **2.7.4. Naturaleza del solvente**

Los solventes pueden ser orgánicos, inorgánicos y estos tendrán diferentes solubilidades y polaridades.

#### **2.7.5. Tiempo de extracción**

El tiempo de extracción puede ser un factor determinante si la materia prima en contacto con el solvente desea ser agotada en su totalidad.

### **2.8. Fluidos supercríticos**

Este método de extracción consiste en la separación de sustancias disueltas o incluidas dentro de una matriz; está basada fundamentalmente en la capacidad que tienen determinados fluidos en estado supercrítico en modificar su poder disolvente.

El fluido supercrítico posee propiedades intermedias entre el gas y el líquido; debido a esto tiene una gran capacidad de disolver compuestos que normalmente se disolverían parcialmente o en estado líquido y/o gaseoso. El poder de disolución de un fluido supercrítico está en función de su densidad, la cual puede ser alta como el líquido o baja como el gas, dependiendo estrechamente de las pequeñas variaciones en la presión o en la temperatura.

Se sabe que la extracción con fluidos supercríticos es una operación unitaria de transferencia de masa que se efectúa por encima del punto supercrítico del solvente, basado fundamentalmente en la capacidad que tienen determinados fluidos de modificar su poder disolvente, permite controlar y manipular las propiedades de la difusividad, viscosidad y densidad del fluido

mediante pequeños cambios de presión o temperatura, lo cual conlleva a una variación en la selectividad y poder del disolvente.

La extracción con fluidos supercríticos se realiza de dos modos de operación: primero es por extracción selectiva y el segundo es por separación selectiva. La extracción; selectiva se refiere a donde se envuelve la capacidad de solvatación de un fluido utilizado en la extracción por medio de la manipulación de las condiciones de temperatura y presión, además de modificar la naturaleza química del solvente.

“La segunda etapa se obtiene por medio de despresurización, calentamiento o enfriamiento gradual del sustrato, permitiendo con esto que se dé un fraccionamiento controlado de los productos por extraer. En términos generales, este tipo de extracción se inicia cargando el material vegetal en la unidad de extracción; una vez que está listo, se presuriza el solvente, generalmente dióxido de carbono con presiones superiores a los 7.00 Mega Pascales se coloca en contacto con la materia prima que se va a utilizar en la extracción; luego se separa la mezcla mediante cambios de temperatura haciendo que se dé un cambio de fases.”<sup>32</sup>

## **2.9. Caracterización fisicoquímica de los extractos**

Estos indican las propiedades que tienen los extractos dentro de la caracterización fisicoquímica.

---

<sup>32</sup> SARAIVA, Edwin . *Evaluación del rendimiento extractivo, contenido de  $\alpha$ -pineno y tiempo óptimo de extracción del aceite esencial de ciprés (*Cupressus lusitánica mill*), obtenido de hojas, ramillas y frutos mediante hidrodestilación a nivel de laboratorio.* p. 48.

### 2.9.1. Densidad

La densidad es medida a 25°C (temperatura estándar), es un criterio para distinguir un extracto natural de uno sintetizado a partir de sus componentes. La densidad esta expresada en unidades de masa por unidades de volumen, siendo kilogramo por metro cúbico ( $\text{Kg/m}^3$ ), su dimensional en el sistema internacional de medición.

Figura 6. **Picnómetro de laboratorio**



Fuente: Picnómetro, <http://abendrothbolivia.com/aisatec/producto/picnometro-segun-gay-lussac/>. Consulta: 15 de septiembre de 2014.

### 2.9.2. Índice de refracción

Consiste en el cambio del ángulo de incidencia cuando se deja pasar un haz de luz que entra en un punto A hacia un punto B, dando un cambio de la dirección de la luz en dicho haz. Esta medida sirve para determinar la diferencia entre el ángulo de incidencia y el ángulo de refracción de la luz, y va cambiando si se diluye o se mezcla el extracto con otras soluciones.

Figura 7. **Refractometro de laboratorio**



Fuente: Shop products. <https://www.fishersci.com/shop/products/atago-abbe-benchtop-refractometers-2/p-196803>. Consulta: 20 de septiembre de 2014.

### **2.9.3. Cromatografía**

Se emplea la cromatografía de gases con acoplamiento a espectrofotometría de masas cuando los componentes de la mezcla problema son volátiles y térmicamente estables a temperaturas de 350-400 °C, a menudo se emplea para la determinación de la presencia o ausencia de un compuesto en el fluido de análisis.

### **2.10. Operaciones unitarias en la obtención de extractos**

Un método muy convincente para organizar la materia de estudio que abarca la ingeniería química, se basa en dos hechos: aunque el número de procesos individuales es grande, cada uno puede ser fragmentado en una serie de etapas, denominadas operaciones, que se repiten a lo largo de diferentes procesos y las operaciones individuales que tienen técnicas comunes y se basan en los mismos principios científicos.

Las operaciones unitarias son aplicables a muchos procesos tanto físicos como químicos y aunque son una rama de la ingeniería química se basan de igual manera en la ciencia y la experiencia. Se deben de combinar la teoría y la práctica para diseñar el equipo, construirlo, ensamblarlo, hacerlo operar y darle mantenimiento.

Para el estudio de las operaciones unitarias son fundamentales diversos principios científicos y técnicas. Algunos representan leyes físicas y químicas elementales como la conservación de la masa y la energía, equilibrios químicos, físicos, cinética y otras propiedades de la materia.

### **2.10.1. Flujo de fluidos**

El comportamiento de los fluidos es importante para los procesos de la ingeniería y constituye uno de los fundamentos para el estudio de las operaciones unitarias. El conocimiento de los fluidos es esencial, no solo para tratar con precisión los problemas de movimiento de los fluidos a través de tuberías, bombas y otro tipo de equipos de proceso, sino también para el estudio del flujo de calor y de muchas operaciones de separación que depende de la difusión y la transferencia de masa.

Se sabe que un fluido es una sustancia que no resiste en forma permanente la distorsión; durante el cambio de forma, existen esfuerzos cortantes cuya magnitud depende de la viscosidad del fluido y de la velocidad del deslizamiento, pero cuando se alcanza la forma final desaparecen. Un fluido en equilibrio carece de esfuerzos cortantes, posee una densidad definida.

“La densidad de todos los fluidos depende de la temperatura y de la presión; la variación de la densidad con los cambios de estas variables puede ser pequeña o grande.”<sup>33</sup>

#### **2.10.1.1. Fluidos no compresibles**

“Son fluidos en los cuales los cambios en la densidad son ligeros con cambios moderados en la temperatura y presión. Los gases sometidos a pequeñas variaciones relativas de presión y temperatura se comportan como fluidos no compresibles y es posible ignorar los cambios en la densidad bajo tales condiciones sin riesgo de cometer un error significativo.”<sup>34</sup>

#### **2.10.1.2. Fluidos compresibles**

“Son fluidos en los cuales los cambios de la densidad son significativos con cambios en la temperatura y presión.”<sup>35</sup>

### **2.10.2. Transferencia de calor**

“Prácticamente, todas las operaciones que realiza el ingeniero químico interviene la producción o absorción de energía en forma de calor. Por lo tanto, las leyes que rigen la transferencia de calor y el tipo de aparatos, cuyo fin principal es el control del flujo de calor, tienen una gran importancia.”<sup>36</sup>

---

<sup>33</sup> MCCABE, Warren; SMITH, Julian; HARRIOT, Peter. *Operaciones unitarias en ingeniería química*. p.25.

<sup>34</sup> MOTT, Robert . *Mecánica de fluidos aplicada*. p. 36.

<sup>35</sup> *Ibíd.*

<sup>36</sup> ASANOSKI, L., & de León, O. R. *Guía para el estudio de la transferencia de calor*. 85 p.

### **2.10.2.1. Mecanismo de conducción**

Si existe un gradiente de temperatura en una sustancia, el calor fluye sin que tenga lugar un movimiento observable de la materia. En los metales, la conducción térmica resulta del movimiento de los electrones libres; existe una estrecha relación entre la conductividad térmica y la conductividad eléctrica. En los sólidos que son malos conductores de la electricidad y en la mayor parte de los líquidos, la conducción térmica se debe a la transferencia de la cantidad de movimiento entre las moléculas o átomos adyacentes que vibran.

"En gases, la conducción se produce por el movimiento al azar de las moléculas, de forma que el calor se difunde desde regiones hacia otras más frías. Con frecuencia, la conducción de calor en líquidos o gases se ve influida por el flujo de los fluidos y los procesos conductivos y convectivos están enlazados bajo el término de convección o transferencia de calor convectiva."<sup>37</sup>

### **2.10.2.2. Mecanismo de convección**

"Cuando las corrientes en un fluido son consecuencia de las fuerzas de flotación generadas por diferencias de densidad, que a su vez se originan por gradientes de temperatura en la masa del fluido, la acción recibe el nombre de convección natural. Cuando las corrientes se deben a un dispositivo mecánico tal como una bomba o un agitador, el flujo es independiente de las diferencias de densidad y recibe el nombre de convección forzada, pero por lo general tienen un pequeño efecto."<sup>38</sup>

---

<sup>37</sup> ASANOSKI, Levent., & DE LEÓN, Otto. *Guía para el estudio de la transferencia de calor*. p. 90.

<sup>38</sup> *Ibíd.*

### 2.10.2.3. Mecanismo de radiación

Radiación es el término que se emplea para designar la transferencia de energía a través del espacio por medio de ondas electromagnéticas. Si la radiación pasa a través espacio por medio de ondas electromagnéticas. Si la radiación pasa a través de un espacio vacío, no se transforma en calor ni en otra forma de energía, ni se desvía de su trayectoria. Sin embargo, si en su trayectoria encuentra algún material, la radiación se transferirá, reflejará o absorberá. Solo la energía absorbida es la que aparece como calor y esta transformación es cuantitativa.

“Los gases monoatómicos y la mayoría de los diatómicos son transparentes a la radiación térmica y es muy frecuente encontrarse con que el calor fluye a través de las masas de tales gases por radiación y por conducción-convección.”<sup>39</sup>

### 2.10.3. Transferencia de masa

“Un grupo de operaciones para la separación de componentes de mezclas está basado en la transferencia de material desde una fase homogénea a otra. Contrariamente a las separaciones puramente mecánicas, estos métodos utilizan diferencias de presión de vapor, solubilidad o difusividad y no en el tamaño o la densidad de las partículas. La fuerza impulsora para la transferencia es una diferencia de concentración o una diferencia en actividad.”<sup>40</sup>

---

<sup>39</sup> ASANOSKI, Levent., & DE LEÓN, Otto *Guía para el estudio de la transferencia de calor*. 47 p.

<sup>40</sup> MCCABE, Warren; SMITH, Julian; HARRIOT, Peter. *Operaciones unitarias en ingeniería química*. p. 12.



### 3. DISEÑO METODOLÓGICO

#### 3.1. Variables

Se entiende por variables a las propiedades físicas o atributos que son susceptibles a tener diferentes valores y entre en este grupo se encuentran las variables independientes y las variables dependientes.

##### 3.1.1. Variables independientes

Tabla II. **Variables independientes presentes en la obtención del extracto etanólico de tilo (*Tilia platyphyllos Scop.*) obtenido en 2 segmentos de la planta (hoja y flor) a diferentes concentraciones de solvente (30 % , 60 % y 90 % v/v)**

No.	VARIABLE	SÍMBOLO MATEMÁTICO	SIMENSIONAL (SI)	DESCRIPCIÓN
1	Temperatura	T	K	La temperatura será constante durante todas las extracciones.
2	Masa	m	g	La masa de materia prima que se utilizará para las extracciones será constante
3	Volumen	V	cm <sup>3</sup>	Se agregará una relación constante de solvente para el proceso de extracción.
4	Concentración del solvente	% V/V	%	La variación de concentración de solvente utilizada durante las extracciones, estas fueron de 30, 60 y 90% v/v.
5	Tiempo de extracción	min	min	La variación del tiempo de extracción evaluada durante las extracciones, siendo los tiempos de 120, 180 y 240 minutos.

Fuente: elaboración propia.

### 3.1.2. Variables dependientes

Tabla III. **Variables dependientes presentes en la obtención del extracto etanólico de tilo (*Tilia platyphyllos Scop.*) obtenido en 2 segmentos de la planta (hoja y flor) a diferentes concentraciones de solvente (30 %, 60 % y 90 % v/v)**

No.	VARIABLE	SÍMBOLO MATEMÁTICO	SIMENSIONAL (SI)	DESCRIPCIÓN
1	Densidad	$\rho$	g/cm <sup>3</sup>	Se evaluará la densidad de los aceites esenciales recuperados de las extracciones.
2	Índice de refracción	n	adimensional	Se evaluará el índice de refracción de los aceites esenciales recuperados.
3	Rendimiento extractivo	% de rendimiento	%	Se evaluará el porcentaje de rendimiento del aceite esencial recuperado

Fuente: elaboración propia.

### 3.2. Delimitación del campo de estudio

El trabajo de investigación pretende realizar un estudio cuantitativo experimental y comparativo en donde se plantea evaluar el rendimiento que se obtendrá del extracto etanólico de tilo (*Tilia platyphyllos Scop.*), evaluados en dos segmentos de dicha planta (hoja y flor), a escala de laboratorio, utilizando el equipo de maceración dinámica; a partir de estos datos que se obtengan, se evaluarán 3 tiempos de extracción, siendo estos 120, 280 y 240 minutos; la materia prima se trabajará seca y utilizando etanol a tres diferentes concentraciones (30, 60 y 90 %V/V).

### 3.3. Recursos humanos disponibles

- Investigador: Br. Luis Pedro Rios Rivas
- Asesor: Ing. Qca. Telma Maricela Cano Morales
- Asesor: Ing. Qco. Mario José Mérida Meré

### 3.4. Recursos materiales disponibles

Se tienen considerados la materia prima, equipo de cristalería, equipo auxiliar, detallados a continuación:

Tabla IV. **Equipo de laboratorio, cristalería, equipo auxiliar y de extracción disponibles en las instalaciones del laboratorio de investigación de extractos vegetales –LIEXVE-, sección Química Industrial, facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala**

<b>RECURSO</b>	<b>TIPO</b>
Agitador magnético	Equipo auxiliar
Balanza analítica	Equipo de extracción
Balones de fondo plano 1000mL	Cristalería
Balones de fondo redondo BOECO de 100ml	Cristalería
Bata	Equipo de seguridad
Beakers BOECO de 50ml y 100ml	Cristalería
Bomba de recirculación	Equipo de extracción
Cofia	Equipo de seguridad
Condensador de bolas	Equipo de extracción
Cromatógrafo de gases con acoplamiento a espectrometría	Equipo de análisis
Cuaderno para bitácora	Equipo de oficina
Escoba, y/o trapeador	Equipo de limpieza
<b>RECURSO</b>	<b>TIPO</b>
Etanol	Reactivo /Solvente
Flor de tilo (tilia platyphyllos)	Materia prima
Guantes	Equipo de seguridad
Hoja de tilo (tilia platyphyllos)	Materia prima
Jabón de limpieza de cristalería	Equipo de limpieza
Jabón de manos	Equipo de limpieza
Lapiceros	Equipo de oficina
Mangueras de plástico	Equipo auxiliar
Mantas de calentamiento	Equipo de extracción
Papel aluminio	Equipo auxiliar
Papel bond	Equipo de oficina
Papel mayordomo	Equipo de limpieza
Parafilm	Equipo auxiliar
plancha de agitación	Equipo de extracción
Probeta de 500 ml	Cristalería
Refractómetro Fisher	Equipo de extracción
Refrigerante R22a	Equipo auxiliar
Rotavaporador BUCHI	Equipo de extracción
Viales color ambar	Cristalería

Fuente: elaboración propia.

### **3.5. Técnica cualitativa o cuantitativa**

#### **3.5.1. Técnicas cuantitativas**

Rendimiento extractivo de la obtención del extracto etanólico de tilo *Tilia platyphyllos* Scop.) evaluados en dos segmentos de dicha planta (hoja y flor) evaluado en dos segmentos de la planta (hoja y flor) utilizando etanol como solvente de extracción (30, 60, 90 %v/v) en tiempos de extracción de 120, 180 y 240 minutos. Índice de refracción, densidad, Cromatografía gaseosa con acoplamiento a espectrofotometría de masas (CG-MS).

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

#### **3.6.1. Técnica de muestreo**

Las muestras se almacenarán en bolsas de 1Kg de materia prima, a partir de estas muestras, serán fraccionadas en bolsas de 50g cada una. Con cada tiempo y concentración del solvente deben realizarse 3 corridas para garantizar la validez estadística; al final de la fase experimental del estudio de tesis se tendrán 54 datos los cuales se caracterizan fisicoquímicamente y su cromatografía de gases con acoplamiento a espectrofotometría de masas (CG-MS).

### 3.6.2. Ordenamiento de las muestras

Tabla V. Muestreo de datos para obtención de extractos etanólicos

SEGMENTO	CORRIDA	TIEMPO (min)	SOLVENTE (%V/V)
HOJA/FLOR	1	120	30
	2		
	3		
	1		60
	2		
	3		
	1		90
	2		
	3		
	1	180	30
	2		
	3		
	1		60
	2		
	3		
	1		90
	2		
	3		
1	240	30	
2			
3			
1		60	
2			
3			
1		90	
2			
3			

Fuente: elaboración propia.

### 3.6.3. Preparación de las muestras

Las muestras previamente etiquetadas se cargaron en un balón de 1000 mL en una relación 1:10; esto quiere decir que se agregaron 50 g de materia prima (hoja o flor de tilo) en 1 000 mL de solvente etanol en cualquiera de sus tres concentraciones, según el muestreo establecido previamente.

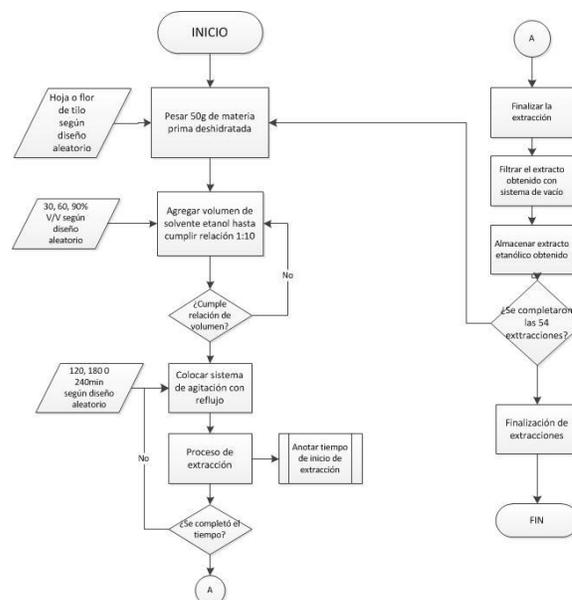
Para cada segmento de la planta se evaluarán 3 tratamientos para cada tiempo de extracción con tres variaciones de solvente en los dos segmentos de la planta, haciendo un total de 54 tratamientos evaluados en total.

Luego de obtenidos las 54 extracciones, se procederá a la medición de la densidad e índice de refracción que corresponde a la caracterización fisicoquímica de los extractos etanólicos de hoja y flor de tilo.

De estos 54 tratamientos, se realizará de manera aleatoria la cromatografía de gases con acoplamiento a espectrofotometría de masas (CG-MS) para evaluar los componentes químicos obtenidos.

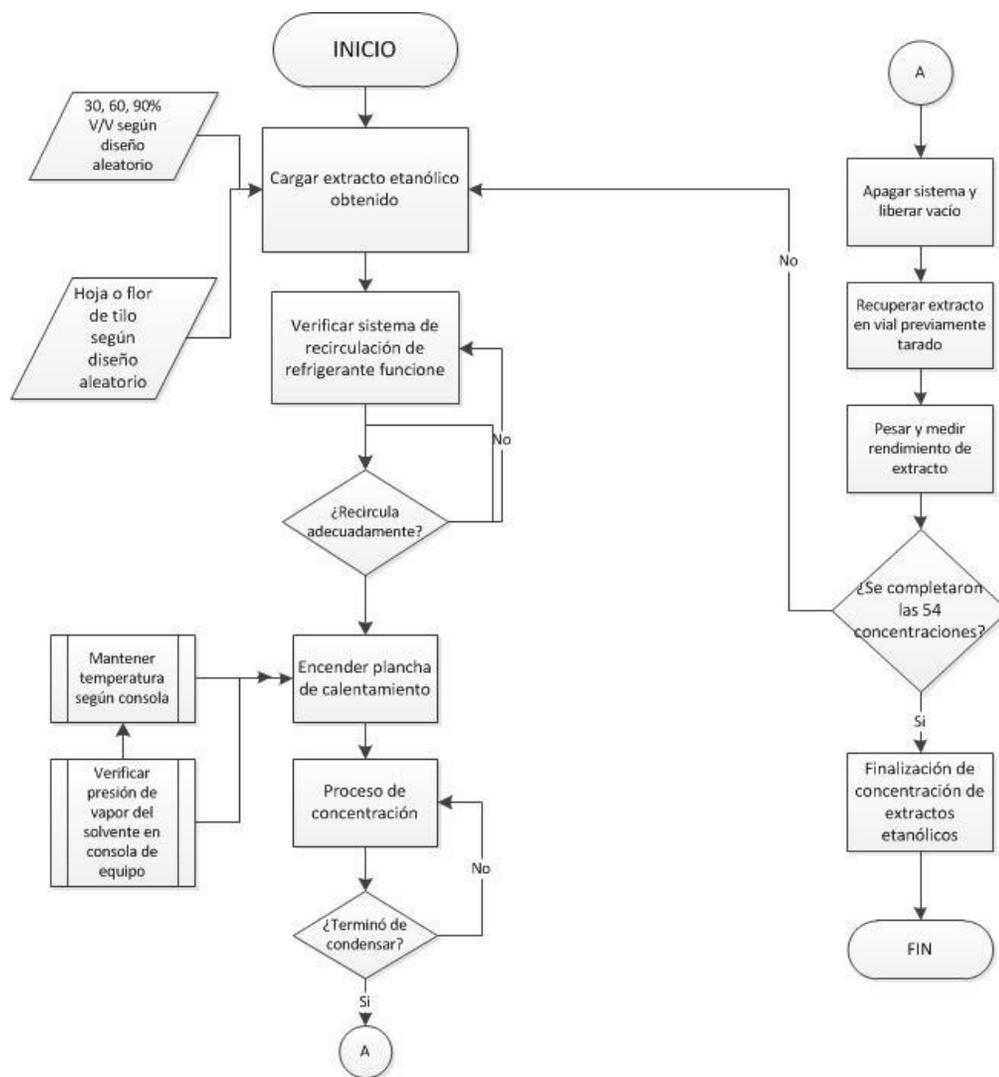
### 3.6.4. Procedimientos de experimentación

Figura 8. Diagrama del procedimiento experimental de la obtención del extracto etanólico de tilo (*Tilia platyphyllos Scop.*) evaluado en dos segmentos de la planta (hoja y flor) a diferentes tiempos de extracción (120 min, 180 min y 240 min) y concentraciones de solvente etanol (30 %, 60 % y 90 % v/v)



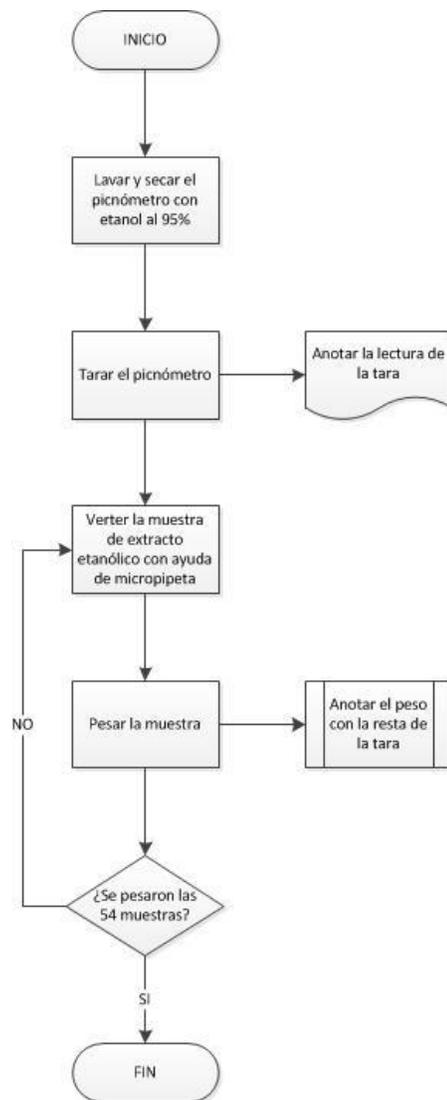
Fuente: elaboración propia.

Figura 9. Diagrama del procedimiento experimental de la concentración del extracto etanólico de tilo (*Tilia platyphyllos* Scop.) evaluado en dos segmentos de la planta (hoja y flor) a diferentes tiempos de extracción (120 min , 180 min y 240 min) y concentraciones de solvente etanol (30 %, 60 % y 90 % v/v) utilizando equipo Rotaevaporador



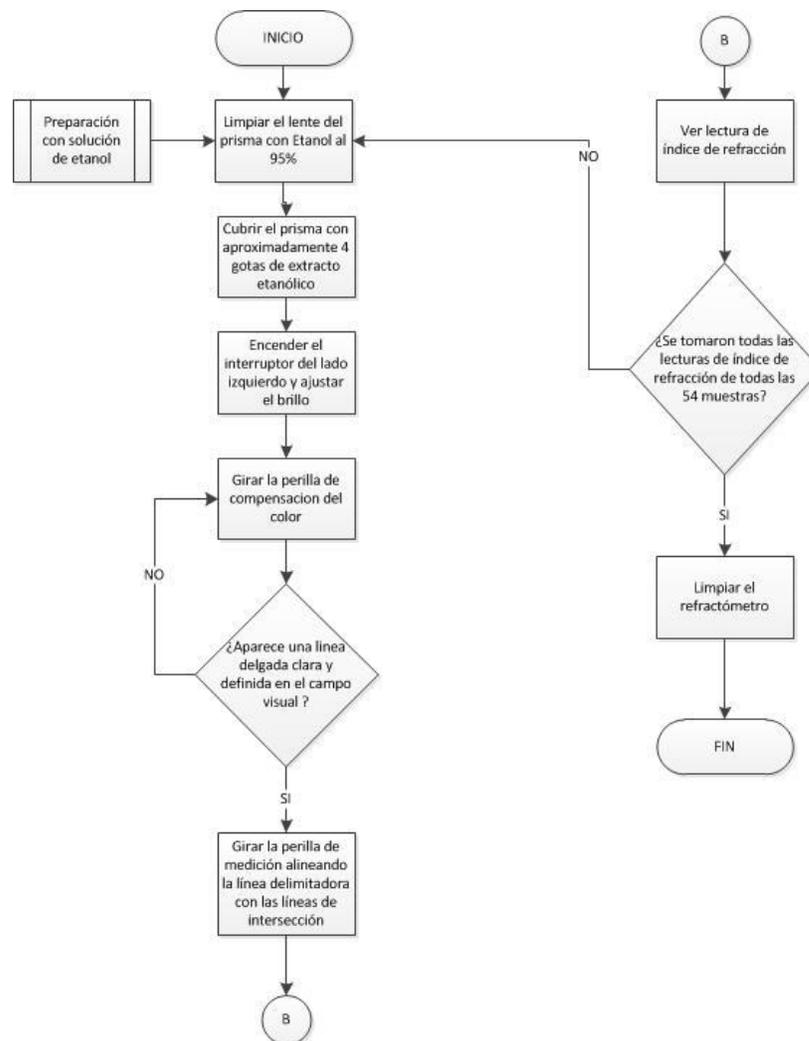
Fuente: elaboración propia.

Figura 10. Diagrama del procedimiento experimental de la determinación de la densidad del extracto etanólico de tilo (*Tilia platyphyllos* Scop.) evaluado en dos segmentos de la planta (hoja y flor) a diferentes tiempos de extracción (120 min, 180 min y 240 min) y concentraciones de solvente etanol (30 %, 60 % y 90 % v/v)



Fuente: elaboración propia.

Figura 11. Diagrama del procedimiento experimental de la determinación de índice de refracción del extracto etanólico de tilo (*Tilia platyphyllos* Scop.) evaluado en dos segmentos de la planta (hoja y flor) a diferentes tiempos de extracción (120 min, 180 min y 240 min) y concentraciones de solvente etanol (30 %, 60 % y 90 %)

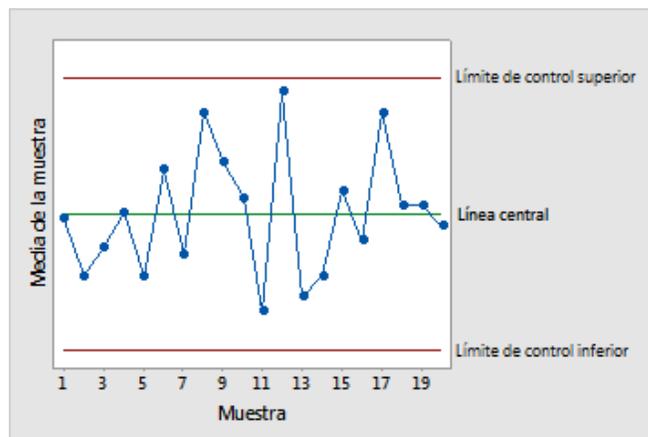


Fuente: elaboración propia.

### 3.7. Gráfico de control

“Una gráfica de control indica cuando un proceso se encuentra fuera de control y ayuda a identificar la presencia de una variación por causas especiales, si el proceso no está estable y es necesario aplicar una acción correctiva. La línea central representa la media del proceso. Los límites de control representan la variación del proceso. De manera predeterminada, los límites de control se fijan a distancias de  $3\sigma$  por encima y por debajo de la línea central. Los puntos que caen aleatoriamente dentro de los límites de control indican que el proceso se encuentra bajo control y presenta solamente una variación de causa común. Los puntos que caen fuera de los límites de control o muestran un patrón no aleatorio indican que el proceso está fuera de control y que está presente una variación por causas especiales.”<sup>41</sup>

Figura 12. Gráfico de control estadístico



Fuente: <http://support.minitab.com/es-mx/minitab/17/topic-library/quality-tools/control-charts/basics/understanding-control-charts/>. Consulta: 25 de septiembre de 2014.

<sup>41</sup> Minitab. <http://support.minitab.com/es-mx/minitab/17/topic-library>. Consulta: 23 de septiembre de 2014.

### **3.8. Normalización de datos**

“La prueba de normalidad indica si se debe o no rechazar una hipótesis nula de que los datos provienen de una población distribuida normalmente. Se realiza una prueba de normalidad, acompañada de su gráfica de probabilidad normal en el mismo análisis.”<sup>42</sup>

#### **3.8.1. Prueba de Anderson-Darling**

“Esta prueba sirve para comparar la función de distribución acumulada empírica (ECDF) de los datos de la muestra con la distribución esperada si los datos fueran normales. Si esta diferencia observada es adecuadamente grande, se rechazará la hipótesis nula de normalidad en la población.”<sup>43</sup>

### **3.9. Análisis estadístico**

#### **3.9.1. Medidas de tendencia central**

Estas medidas indican en torno a que valor se distribuye una serie de datos.

##### **3.9.1.1. Media aritmética**

La media aritmética de un conjunto de valores  $\{x_1, x_2, \dots, x_i\}$  de una variable  $x$  viene determinada por la suma de dichos valores, dividida por el número de la muestra ( $n$ ), representada matemáticamente de la siguiente forma:

---

<sup>42</sup> Minitab. <http://support.minitab.com/es-mx/minitab/17/topic-library>. Consulta: 23 de septiembre de 2014.

<sup>43</sup> *Ibíd.*

$$x_p = \frac{\sum x_i}{n} \quad [\text{Ec. 1}]$$

### 3.9.1.2. Varianza

Es la media de las desviaciones ( $x$ ) al cuadrado respecto a la media aritmética ( $x_p$ ) de una distribución estadística.

$$S^2 = \frac{\sum(x-x_p)^2}{n-1} \quad [\text{Ec. 2}]$$

Donde:  $n$  es el tamaño de la muestra.

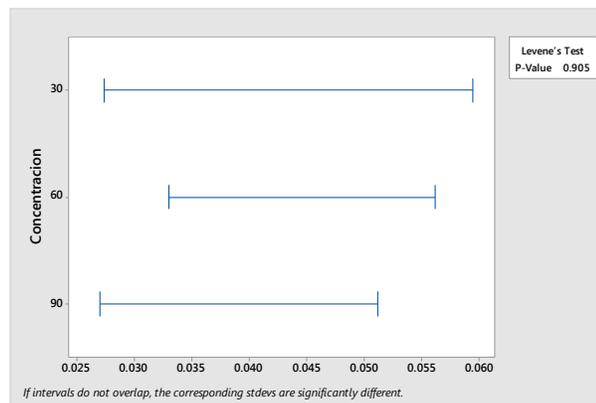
### 3.9.1.3. Desviación estándar

La desviación estándar es la raíz cuadrada positiva de la varianza. Es decir, la raíz cuadrada de la media de los cuadrados de las puntuaciones de desviación.

$$S = \sqrt{S^2} \quad [\text{Ec. 3}]$$

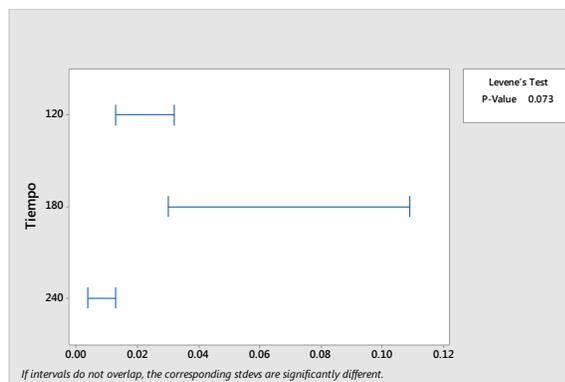
Se analizó mediante análisis de varianza (ANOVA) para comprobar hipótesis nula y alternativa planteadas.

Figura 13. **Análisis ANOVA para varianzas equivalentes correspondientes al rendimiento extractivo vs concentración del solvente del extracto etanólico de hoja de tilo (*Tilia platyphyllos*)**



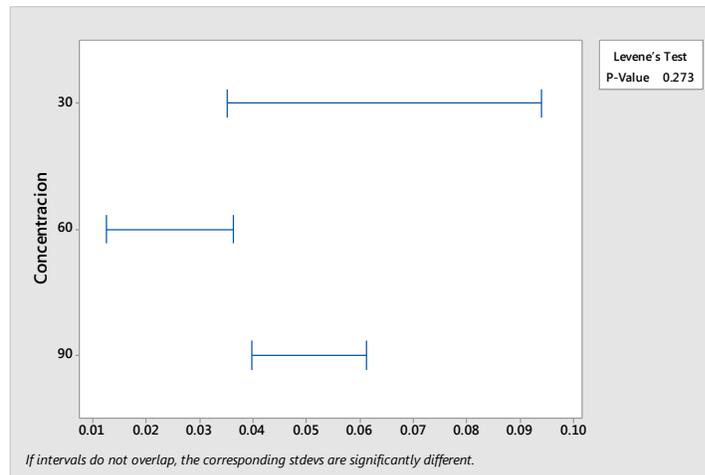
Fuente: elaboración propia, empleando Software Minitab 17.

Figura 14. **Análisis ANOVA para varianzas equivalentes correspondiente al rendimiento extractivo vs tiempo de extracción del extracto etanólico de hoja de tilo (*Tilia platyphyllos Scop*)**



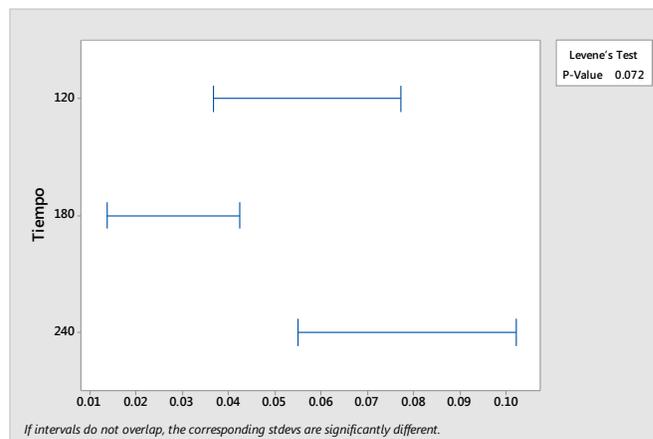
Fuente: elaboración propia, empleando Software Minitab 17.

Figura 15. **Análisis ANOVA para varianzas idénticas correspondientes al rendimiento extractivo vs concentración del solvente del extracto etanólico de flor de tilo (*Tilia platyphyllos* Scop)**



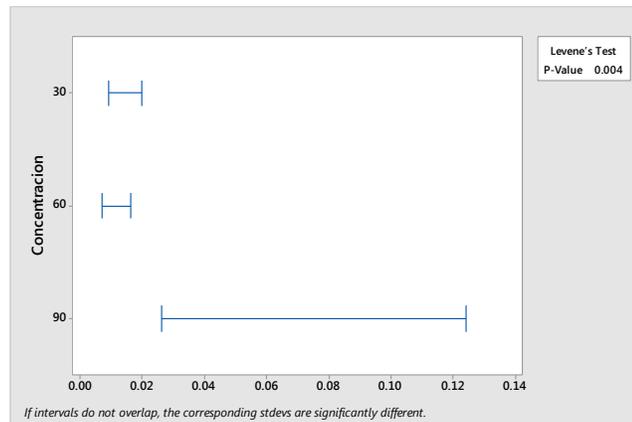
Fuente: elaboración propia, empleando Software Minitab 17.

Figura 16. **Análisis ANOVA para varianzas idénticas correspondientes al rendimiento extractivo vs tiempo de extracción del extracto etanólico de flor de tilo (*Tilia platyphyllos* Scop)**



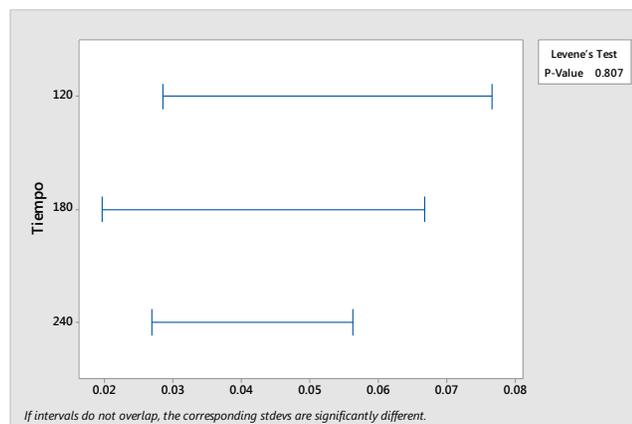
Fuente: elaboración propia, empleando Software Minitab 17.

Figura 17. **Análisis ANOVA para varianzas equivalentes en la determinación de la densidad vs concentración del extracto etanólico de hoja de tilo (*Tilia platyphyllos Scop*)**



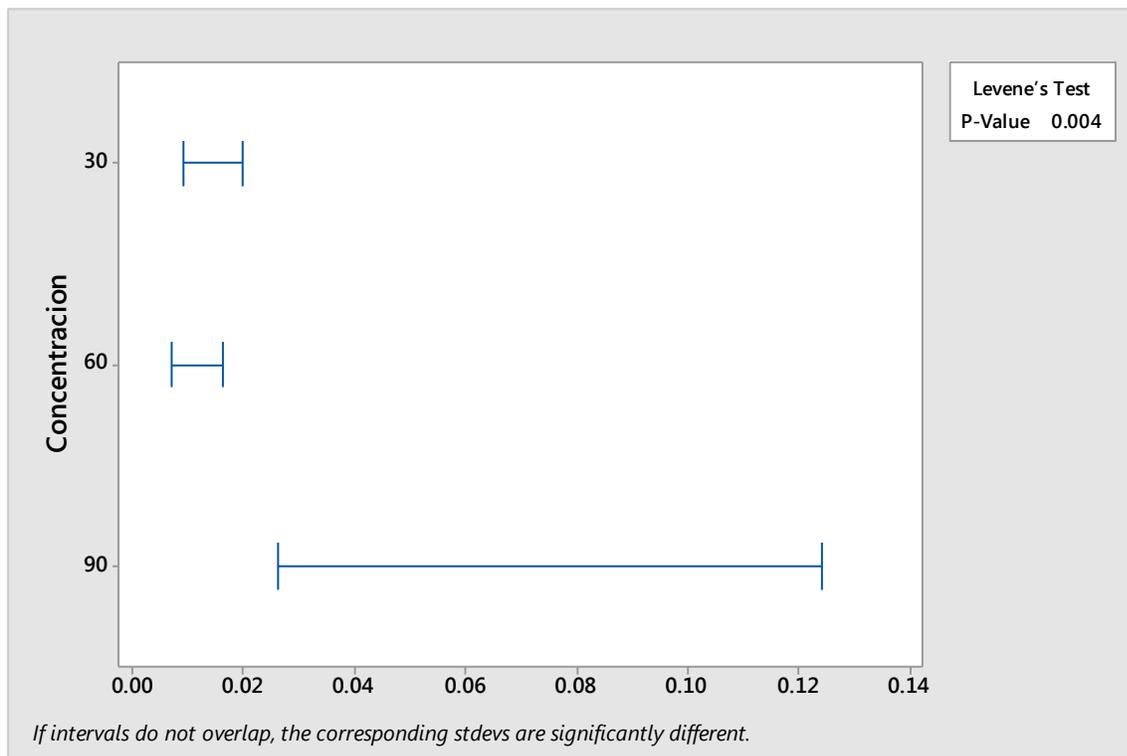
Fuente: elaboración propia, empleando Software Minitab 17.

Figura 18. **Análisis ANOVA para varianzas equivalentes en la determinación de la densidad vs tiempo de extracción en la obtención del extracto etanólico de hoja de tilo (*Tilia platyphyllos Scop*)**



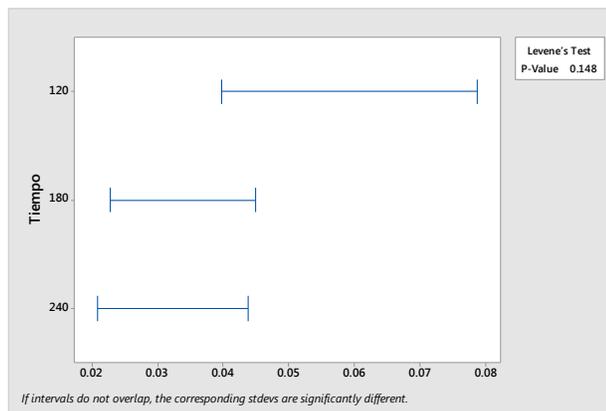
Fuente: elaboración propia, empleando Software Minitab 17.

Figura 19. **Análisis ANOVA para varianzas equivalentes en la determinación de la densidad vs concentración del solvente en la determinación del extracto etanólico de flor de tilo (*Tilia platyphyllos Scop*)**



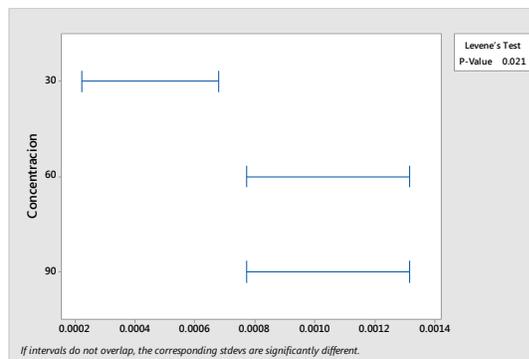
Fuente: elaboración propia, empleando Software Minitab 17.

Figura 20. **Análisis ANOVA para varianzas equivalentes en la determinación de la densidad vs tiempo de extracción en la obtención del extracto etanólico de flor de tilo (*Tilia platyphyllos Scop*)**



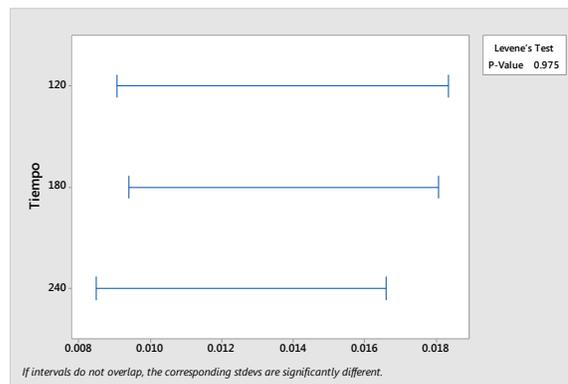
Fuente: elaboración propia, empleando Software Minitab 17.

Figura 21. **Análisis ANOVA para varianzas equivalentes en la determinación del índice de refracción vs concentración del extracto etanólico concentración de hoja de tilo (*Tilia platyphyllos Scop*)**



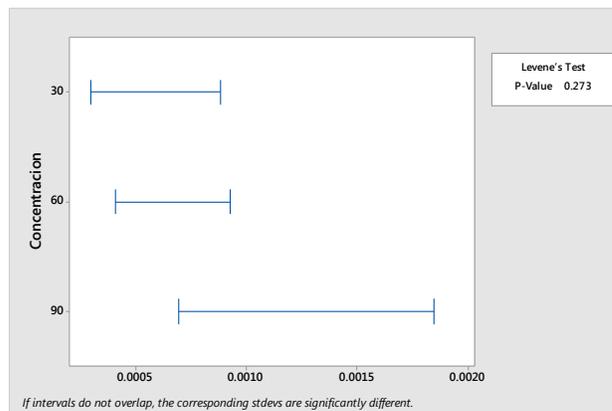
Fuente: elaboración propia, empleando Software Minitab 17.

Figura 22. **Análisis ANOVA para varianzas equivalentes en la determinación del índice de refracción vs tiempo de extracción en la obtención del extracto etanólico de hoja de tilo (*Tilia platyphyllos Scop*)**



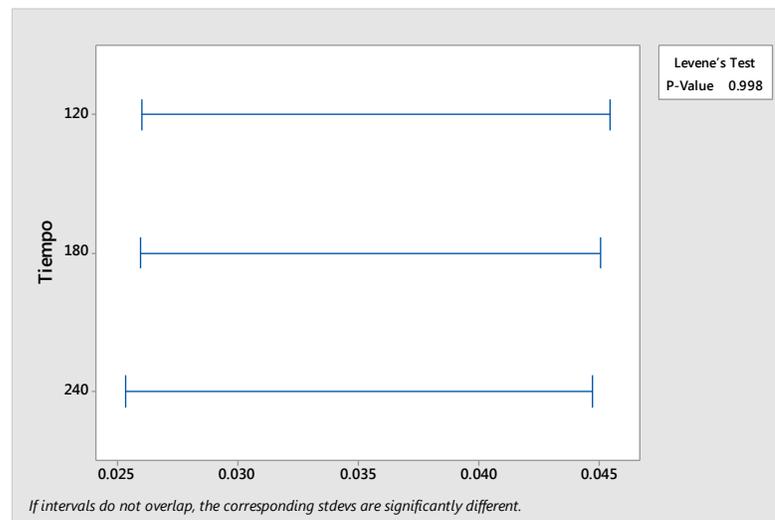
Fuente: elaboración propia, empleando Software Minitab 17.

Figura 23. **Análisis ANOVA para varianzas equivalentes en la determinación del índice de refracción vs concentración del solvente en la determinación del extracto etanólico de flor de tilo (*Tilia platyphyllos Scop*)**



Fuente: elaboración propia, empleando Software Minitab 17.

Figura 24. **Análisis ANOVA para varianzas equivalentes en la determinación del índice de refracción vs tiempo de extracción en la obtención del extracto etanólico de flor de tilo (*Tilia platyphyllos Scop*)**



Fuente: elaboración propia, empleando Software Minitab 17.

Tabla VI. **Resumen análisis estadístico por método ANOVA**

SEGMENTO	ANOVA	VALOR "p"	CONCLUSIÓN ESTADÍSTICA
Hoja	Rendimiento vs concentración	0,905	No existe diferencia significativa
	Rendimiento vs tiempo	0,073	No existe diferencia significativa
	Densidad vs concentración	0,004	Existe diferencia significativa
	Densidad vs tiempo	0,807	No existe diferencia significativa
	Índice de Refracción vs concentración	0,021	Existe diferencia significativa
	Índice de refracción vs tiempo	0,975	No existe diferencia significativa
Flor	Rendimiento vs concentración	0,273	No existe diferencia significativa
	Rendimiento vs tiempo	0,072	No existe diferencia significativa
	Densidad vs concentración	0,004	Existe diferencia significativa
	Densidad vs tiempo	0,148	No existe diferencia significativa
	Índice de Refracción vs concentración	0,273	No existe diferencia significativa
	Índice de refracción vs tiempo	0,998	No existe diferencia significativa

Fuente: elaboración propia.



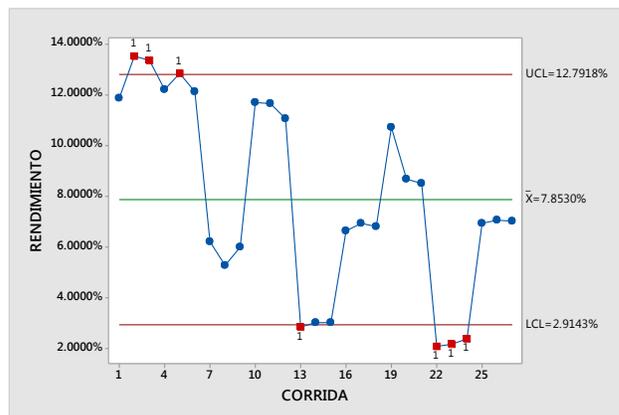
## 4. RESULTADOS

Tabla VII. **Porcentaje de rendimiento de la obtención del extracto etanólico de hoja de tilo y flor (*Tilia platyphyllos* Scop.) evaluado a 3 diferentes concentraciones de etanol y 3 diferentes tiempos de extracción**

SEGMENTO	CONCENTRACIÓN (%v/v)	TIEMPO (min)	RENDIMIENTO (%)			PROMEDIO (%)
			Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	
HOJA	30	120	13,50 %	13,33 %	11,86 %	12,8950 ± 0,0090
		180	12,18 %	12,81 %	12,09 %	12,3587 ± 0,0039%
		240	6,20 %	5,96 %	5,23 %	5,7981 ± 0,0050
	60	120	11,64 %	11,04 %	11,68 %	11,4533 ± 0,0036
		180	2,81 %	3,01 %	2,99 %	2,9348 ± 0,0011%
		240	6,63 %	6,80 %	6,92 %	6,7821 ± 0,0015%
	90	120	8,67 %	8,50 %	10,70 %	9,2877 ± 0,0122
		180	2,07 %	2,14 %	2,35 %	2,1887 ± 0,0015%
		240	6,90 %	7,00 %	7,04 %	6,9789 ± 0,0007 %
FLOR	30	120	19,60 %	18,48 %	18,19 %	18,7567 ± 0,0075
		180	8,55 %	8,33 %	8,44 %	8,4404 ± 0,0011%
		240	17,23 %	17,66 %	18,34 %	17,7443 ± 0,0056 %
	60	120	11,14 %	10,12 %	11,33 %	10,8651 ± 0,0065
		180	12,53 %	11,98 %	12,45 %	12,3233 ± 0,0030%
		240	8,83 %	7,49 %	8,61 %	8,3105 ± 0,0072 %
	90	120	8,67 %	8,55 %	9,12 %	8,7804 ± 0,0030
		180	12,18 %	13,20 %	13,05 %	12,8120 ± 0,0055%
		240	3,17 %	2,86 %	3,22 %	3,0824 ± 0,0020%

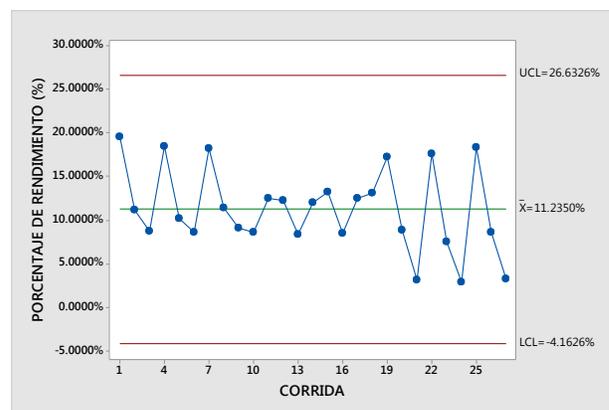
Fuente: elaboración propia.

Figura 25. **Gráfico de control estadístico del proceso de obtención de extracto etanólico de hoja de tilo (*Tilia platyphyllos Scop.*), a partir de 3 concentraciones de solvente etanol y variación de 3 tiempos de extracción**



Fuente: elaboración propia, empleando Software Minitab 17.

Figura 26. **Gráfico de control estadístico del proceso de obtención de extracto etanólico de flor de tilo (*Tilia platyphyllos Scop.*), a partir de 3 concentraciones de solvente etanol y variación de 3 tiempos de extracción**



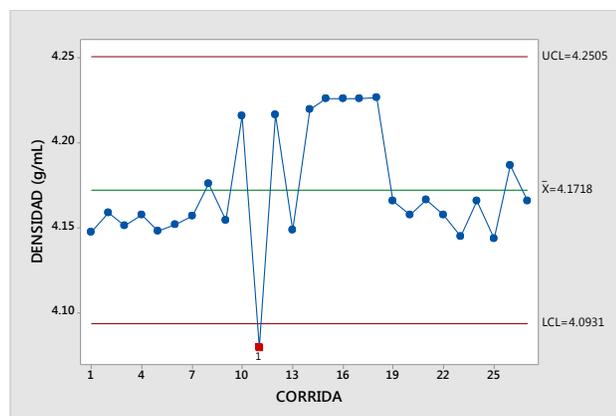
Fuente: elaboración propia, empleando Software Minitab 17.

Tabla VIII. Densidad en del extracto etanólico obtenido de hoja y flor de tilo (*Tilia platyphyllos Scop.*) evaluado a 3 diferentes concentraciones de etanol y 3 tiempos de extracción

SEGMENTO	CONCENTRACIÓN (%v/v)	TIEMPO (min)	DENSIDAD (g/mL)			PROMEDIO (g/mL)
			Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	
HOJA	30	120	4,1475	4,1586	4,1513	4,1525 ± 0,0056
		180	4,1575	4,1479	4,1519	4,1524 ± 0,0048
		240	4,1566	4,1759	4,1541	4,1622 ± 0,0119
	60	120	4,2154	4,0795	4,2164	4,1704 ± 0,0788
		180	4,1484	4,2196	4,2257	4,1979 ± 0,0430
		240	4,2258	4,226	4,2264	4,2261 ± 0,0003
	90	120	4,1657	4,1575	4,1662	4,1631 ± 0,0049
		180	4,1574	4,1447	4,1657	4,1559 ± 0,0116
		240	4,1437	4,1864	4,1659	4,1654 ± 0,0213
FLOR	30	120	4,1743	4,1831	4,1688	4,1754 ± 0,0072
		180	4,1725	4,1585	4,1495	4,1602 ± 0,0116
		240	4,1687	4,1575	4,1507	4,1590 ± 0,0090
	60	120	4,1149	4,1134	4,1246	4,1176 ± 0,0061
		180	4,1228	4,128	4,1197	4,1235 ± 0,0042
		240	4,1142	4,0971	4,1175	4,1096 ± 0,0110
	90	120	4,0693	4,0554	4,0707	4,0651 ± 0,0084
		180	4,1328	4,1932	4,1849	4,1703 ± 0,0327
		240	4,1101	4,1133	4,1033	4,1089 ± 0,0051

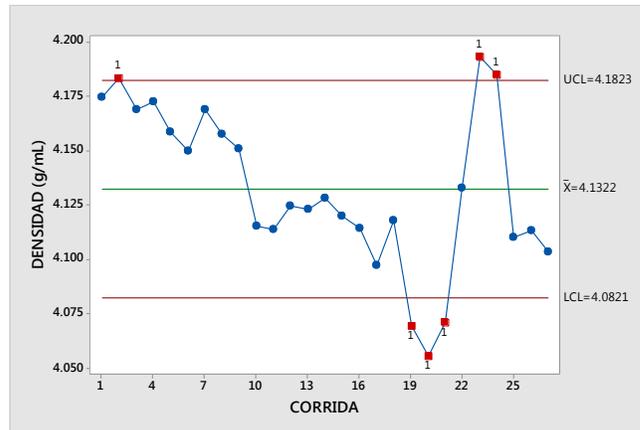
Fuente: elaboración propia.

Figura 27. Gráfico de control estadístico de la determinación de la densidad del extracto etanólico de hoja de tilo (*Tilia platyphyllos Scop.*), a partir de 3 concentraciones de solvente etanol y variación de 3 tiempos de extracción



Fuente: elaboración propia, empleando Software Minitab 17.

Figura 28. Gráfico de control estadístico de la determinación de la densidad del extracto etanólico de flor de tilo (*Tilia platyphyllos* Scop.), a partir de 3 concentraciones de solvente etanol y variación de 3 tiempos de extracción



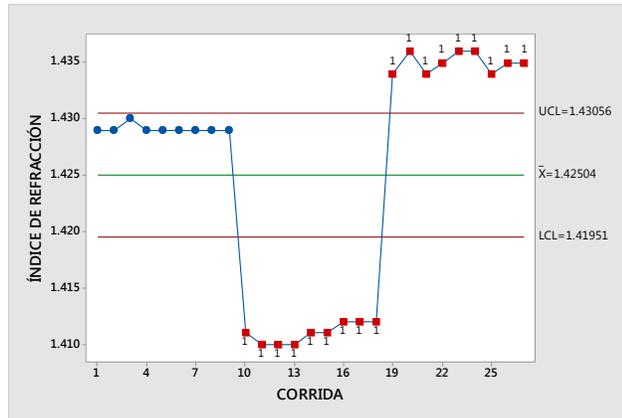
Fuente: elaboración propia, empleando Software Minitab 17.

Tabla IX. Índice de refracción en del extracto etanólico obtenido de hoja y flor de tilo (*Tilia platyphyllos* Scop.) evaluado a 3 diferentes concentraciones de etanol

SEGMENTO	CONCENTRACIÓN (%v/v)	TIEMPO (min)	ÍNDICE DE REFRACCIÓN (ADIMENSIONAL)			PROMEDIO
			Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	
HOJA	30	120	1,429	1,429	1,43	1,4293 ± 0,0006
		180	1,429	1,429	1,429	1,4290 ± 0,000
		240	1,429	1,429	1,429	1,4290 ± 0,0000
	60	120	1,411	1,41	1,41	1,4103 ± 0,0006
		180	1,41	1,411	1,411	1,4107 ± 0,0006
		240	1,412	1,412	1,412	1,4120 ± 0,0000
	90	120	1,434	1,436	1,434	1,4347 ± 0,0012
		180	1,435	1,436	1,436	1,4357 ± 0,0006
		240	1,434	1,435	1,435	1,4347 ± 0,0006
FLOR	30	120	1,408	1,408	1,408	1,4080 ± 0,0000
		180	1,408	1,408	1,408	1,4080 ± 0,000
		240	1,409	1,408	1,409	1,4087 ± 0,0006
	60	120	1,368	1,368	1,368	1,3680 ± 0,0000
		180	1,369	1,369	1,369	1,3690 ± 0,0000
		240	1,368	1,368	1,369	1,3683 ± 0,0006
	90	120	1,436	1,436	1,436	1,4360 ± 0,0000
		180	1,437	1,436	1,437	1,4367 ± 0,0006
		240	1,435	1,435	1,434	1,4347 ± 0,0006

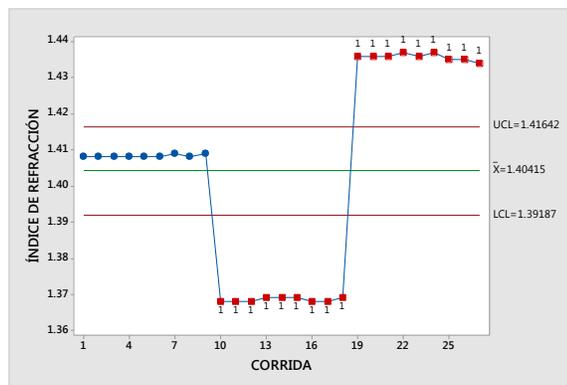
Fuente: elaboración propia, empleando Software Minitab 17.

Figura 29. **Gráfico de control estadístico de la determinación del índice de refracción del extracto etanólico de hoja de tilo (*Tilia platyphyllos* Scop.), a partir de 3 concentraciones de solvente etanol y variación de 3 tiempos de extracción**



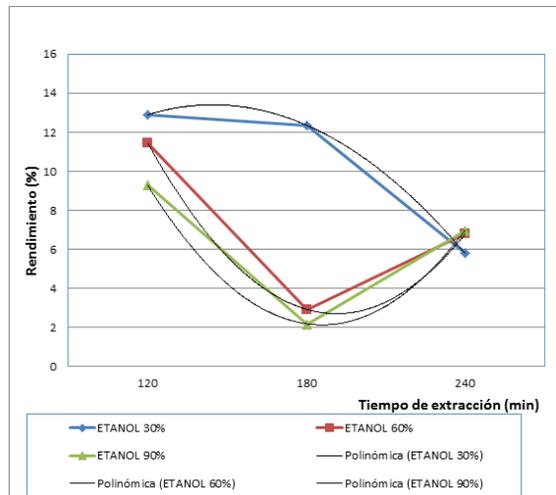
Fuente: elaboración propia, empleando Software Minitab 17.

Figura 30. **Gráfico de control estadístico de la determinación del índice de refracción del extracto etanólico de flor de tilo (*Tilia platyphyllos* Scop.), a partir de 3 concentraciones de solvente etanol y variación de 3 tiempos de extracción**



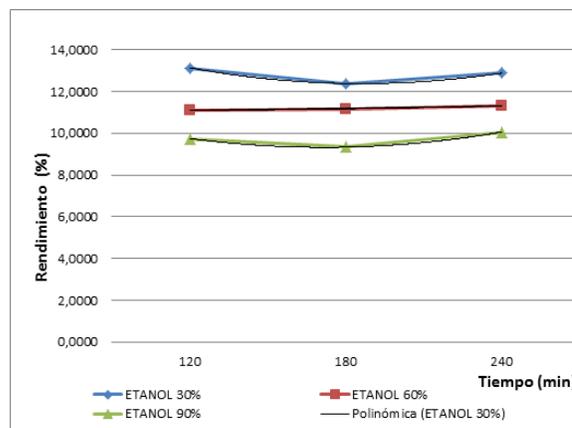
Fuente: elaboración propia, empleando Software Minitab 17.

Figura 31. Rendimiento del extracto etanólico obtenido de hoja de tilo (*Tilia platyphyllos Scop.*) evaluado a 3 diferentes concentraciones de etanol y 3 tiempos de extracción



Fuente: elaboración propia, empleando Software Minitab 17.

Figura 32. Rendimiento del extracto etanólico obtenido de flor de tilo (*Tilia platyphyllos Scop.*) evaluado a 3 diferentes concentraciones de etanol y 3 tiempos de extracción



Fuente: elaboración propia, empleando Software Minitab 17.

Tabla X. **Modelos matemáticos para tiempo óptimo de la obtención de extracto etanólico de hoja y flor de tilo (*Tilia platyphyllos Scop.*) evaluado a 3 tiempos de extracción y 3 concentraciones de solvente etanol**

CONCENTRACIÓN SOLVENTE (%)	SEGMENTO	MODELO	COEFICIENTE DE CORRELACIÓN	TIEMPO ÓPTIMO (min)
30	HOJA	$f(t) = -3,0121t^2 + 8,5002t + 7,407$	1,00	85,00
	FLOR	$f(t) = 0,626t^2 - 2,6314t + 15,142$	1,00	127,00
60	HOJA	$f(t) = 6,1829t^2 - 27,067t + 32,338$	1,00	132,00
	FLOR	$f(t) = 0,0292t^2 - 0,0025t + 11,06$	0,97	81,00
90	HOJA	$f(t) = 5,9446t^2 - 24,933t + 28,276$	1,00	126,00
	FLOR	$f(t) = 0,5694t^2 - 2,1215t + 11,298$	1,00	112,00

Fuente: elaboración propia.

Tabla XI. **Cromatografías para extracto obtenido de hoja de tilo (*Tilia platyphyllos Scop*)**

No.	COMPONENTES	AREA (%)	No. CAS	N.C (%)
1	Alcohol Etilico	72,11	64-17-5	90
2	Áido hexadecanoico	9,61	57-10-3	99
3	Agua	4,83	7732-18-5	2
4	2,6,6-Trimethylbicyclo,3,1,1-heptano	4,16	473-55-2	64
5	3,7,11,5-tetrametil-2-hexadecen-1-ol	3,84	15-86-7	90
6	Ácido acético	1,15	64-19-7	94
7	1-etinilestradiol-1-ciclohexanol	1,06	78-27-3	50
8	Dioxido de Carbono	0,97	124-38-9	3
9	Eugenol	0,80	97-53-0	98
10	5-hidroximetil-2-furanocarbaldehído	0,74	67-47-0	83
11	2,3-Dihidro-3,5-dihidroxi-6-metil-4H-piran-4-ona	0,73	28564-83-2	93

Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. **Cromatografías para extracto obtenido de flor de tilo (*Tilia platyphyllos Scop*)**

<b>No.</b>	<b>COMPONENTES</b>	<b>AREA (%)</b>	<b>No. CAS</b>	<b>N.C (%)</b>
1	Alcohol etílico	83,30	64-17-5	91
2	Amonio	7,41	7664-41-7	2
3	acido n-hexadecanoico	4,26	57-10-3	95
4	Alcohol isopropílico	3,06	67-63-0	91
5	1-metoxi-2-popilamina	1,31	37143-54-7	5
6	Eugenol	0,67	97-53-0	10

Fuente: elaboración propia.

## 5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

El presente estudio de investigación determinó el rendimiento y caracterización fisicoquímica del extracto etanólico de tilo (*Tilia platyphyllos* Scop.), obtenido de la hoja y flor, proveniente del departamento de Chimaltenango, evaluado a escala laboratorio por medio de la técnica de maceración dinámica.

La obtención de los extractos de hoja y flor de tilo se llevó a cabo dentro de las instalaciones del Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales – LIEXVE-, sección Química Industrial del Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala en donde la materia prima de hoja y flor de tilo fue sometida a un proceso de trituración para disminuir el tamaño de la misma. En el proceso de extracción se prepararon 3 soluciones de etanol, siendo estas al 30 % v/v, 60 % v/v y 90% v/v, siendo esta la primera variable evaluada en el proceso. La maceración dinámica se llevó a cabo en una relación 1:10, es decir, 50 gramos de materia prima en 500 mL de solvente etanol.

Se realizaron variaciones de tiempo de maceración dinámica para las extracciones, estas fueron de 120 minutos, 180 minutos y 240 minutos, muestreadas completamente al azar, dando un total de 54 extracciones, siendo 27 datos para extracto de hoja de tilo y 27 datos para extracto de flor de tilo.

En la tabla No. VII de la sección de resultados se tiene los datos de los rendimientos obtenidos de los extractos etanólicos de hoja y flor de tilo evaluados a 3 diferentes concentraciones de etanol y 3 tiempos de extracción,

donde el mayor rendimiento promedio obtenido para el extracto de hoja de tilo es de  $12,8950 \pm 0,0090$  % correspondiente a 120 minutos de extracción y a una concentración de 30 % v/v de etanol. Para el extracto etanólico de flor, el mayor rendimiento obtenido es de  $17,7443 \pm 0,0056$  % correspondiente a 240 minutos de extracción y concentración de 30 % v/v de etanol.

En la figura 25 de la sección de resultados se puede observar el gráfico de control estadístico de todo el proceso de obtención de los extractos de hoja de tilo, en este gráfico se observa el comportamiento de todas las extracciones llevadas a cabo en donde se tiene una media general de 7,8530 % con sus límites superiores e inferiores de 12,7918 % y -2,9143 %, respectivamente. Este gráfico indica, como su nombre lo dice, que si un proceso determinado esta fuera de control, ayuda a identificar la presencia de una variación por causas especiales, si un proceso no es estable y es necesaria una acción correctiva.

En el caso de la figura 25 de la sección de resultados, se observan 7 datos fuera de control, mientras que en la figura No.26 de la sección de resultados, se observa el gráfico de control correspondiente a los extractos etanólicos de flor de tilo están dentro de los límites de control del proceso validando que no hubo ningún error en la toma de los mismos durante la obtención del extracto de flor de tilo.

En la tabla VIII de la sección de resultados se tiene la medición de la densidad de los extractos etanólicos de hoja y flor de tilo, se observa que los valores de densidad para los extractos de hoja y flor de tilo son bastante similares, siendo el valor de densidad más elevado de  $4,2261 \pm 0,0003$  g/mL obtenido a un tiempo de 240 minutos y una concentración de etanol al 60 % v/v para el extracto de hoja de tilo y de  $4,1703 \pm 0,327$  g/mL.

Al analizar la figura 27 de la sección de resultados, se observa el gráfico de control estadístico en la determinación de las densidades del extracto etanólico de hoja de tilo extractos, cuyos límites de control superior e inferior son 4,2505 g/mL 4,0931 g/mL, respectivamente y un valor promedio de 4,1718 g/mL, en este gráfico existe una desviación por debajo del límite inferior de control. En la figura 28 de la sección de resultados se observa el gráfico de control estadístico para la densidad de los extractos etanólicos de flor de tilo, con su límite superior de control de 4,2595 g/mL, su límite inferior de control de 4,0931 g/mL y un valor promedio de 4,1718 g/mL.

En ambas figuras se puede observar que existen 7 datos que están por fuera de los límites de control, 3 valores arriba del límite superior y 4 por debajo del límite inferior de control, esto significa que el proceso de determinación de la densidad no fue un proceso estable y/o constante.

En la tabla IX de la sección de resultados se observan los valores de índice de refracción de los extractos etanólicos de hoja y flor de tilo evaluado a 3 concentraciones de etanol y a 3 tiempos de extracción. Se observa que para el extracto de hoja de tilo, mayor valor promedio para el índice de refracción es  $1,4357 \pm 0,0006$  correspondiente a 180 minutos de extracción y concentración de solvente etanol de 90 % v/v, mientras que para el extracto de flor de tilo, se tiene como mayor valor promedio de  $1,4367 \pm 0,0006$  correspondiente a 180 minutos de extracción y concentración de solvente etanol de 90 % v/v.

Las figuras 29 y 30 corresponden a los gráficos de control en la determinación del índice de refracción de los extractos etanólicos de hoja y flor de tilo, respectivamente; se observa que existen únicamente 18 datos en control estadístico: 9 datos en el índice de refracción del extracto de hoja por debajo del límite inferior correspondiente a 1,4195, mientras que 9 datos por arriba del

límite superior de control de 1,4305 y para los extractos de flor, se observan 9 datos dentro del control del proceso con un valor promedio de 1,4041, por encima del límite superior de control cuyo valor es de 1,4164, se tiene 9 datos del extracto de flor y 9 datos por debajo del límite de control cuyo valor es 1,3918.

En la figura 31 de la sección de resultados se tiene la gráfica del rendimiento del extracto etanólico de hoja de tilo, en dicha gráfica se tienen 3 tendencias que representan las 3 concentraciones de etanol que se utilizaron para realizar las extracciones; la curva superior representa las extracciones de hoja de tilo con solvente etanol al 30 % v/v, la curva de en medio representa las extracciones de hoja de tilo con solvente etanol al 60 % v/v y por último, la curva de abajo representa la extracción de hoja de tilo con solvente etanol al 30 % v/v. Los modelos matemáticos que determinan el tiempo óptimo de extracción se pueden observar en la tabla X de la sección de resultados:  $f(t) = -3,0121t^2 + 8,5002t + 7,407$  para el solvente etanol al 30% v/v;  $f(t) = 6,1829t^2 - 27,067t + 33,338$  para solvente etanol al 60 % v/v;  $f(t) = 5,9446t^2 - 24,933t + 28,276$  para solvente etanol al 90 % v/v.

En la figura 32 de la sección de resultados se tiene la gráfica del rendimiento del extracto etanólico de flor de tilo; en dicha gráfica se tienen 3 tendencias las cuales representan las 3 concentraciones de etanol que se utilizaron para realizar las extracciones; la curva superior representa las extracciones de hoja de tilo con solvente etanol al 30 % v/v, la curva de en medio representa las extracciones de hoja de tilo con solvente etanol al 60 % v/v y, por último, la curva de abajo representa la extracción de hoja de tilo con solvente etanol al 30 % v/v, únicamente en la extracción con solvente al 60 % v/v, el comportamiento que se tuvo una relación lineal. Los modelos matemáticos se pueden observar en la tabla X de la sección de resultados:

$f(t) = 0,626t^2 - 2,6314t + 15,142$  para el solvente etanol al 30 % v/v;  
 $f(t) = 0,029t^2 - 0,0025t + 11,06$  para solvente etanol al 60 % v/v;  $f(t) = 0,5694t^2 - 2,1215t + 11,298$  para solvente etanol al 90 % v/v.

En la tabla X de la sección de resultados se tiene que los tiempos óptimos de extracción para la obtención de los extractos etanólicos de hoja y flor de tilo son: 85 minutos y 127 minutos para extractos de hoja y flor de tilo con concentración de etanol al 30 %; 132 minutos y 82 minutos para extractos de hoja y flor de tilo con concentración de etanol al 60 % y 126 minutos y 112 minutos para los extractos de hoja y flor de tilo para concentración de etanol de 90 %.

En las tablas XI y XII de la sección de resultados se observan altos valores en los porcentajes de área en el contenido de etanol de los extractos de hoja y flor de tilo obtenidos; esto se debe a que el proceso de destilación con presiones controladas llevado a cabo en el equipo rotaevaporador no logró separar completamente el solvente del extracto obtenido; esto es también debido a que el solvente sirve como vehículo para contener los metabolitos secundarios obtenidos en los extractos de hoja y flor de tilo.

En la tabla XI de la sección de resultados se observa los datos obtenidos de las cromatografías de gases con acoplamiento a espectrometría de masas del extracto etanólico de hoja de tilo obtenido a 3 concentraciones de solvente etanol, en el cual los componentes cuantificados se menciona el ácido hexadecanoico o ácido palmítico, el cual está presente en aceites como el de coco o de palma, un compuesto utilizado para el tratamiento de células cancerosas en ratones, otro componente presente es el 2,6,6-trimetilbicyclo,3,1,1-heptano, siendo un compuesto monoterpénico que son componentes volátiles de ciertas especies vegetales y componente de los

aceites esenciales, que constituyen aproximadamente un 5 % del peso total de la planta seca; otro componente presente es el 3,7,11,5-tetrametil-2-hexadecen-1-ol, que es un alcohol dipertenico aciclico, que es un precursor en la síntesis de vitamina K sintética y un componente constituyente de la clorofila en las plantas. También, se cuantificó la presencia de 1-etinilestradiol-1-ciclohexanol que es un componente derivado del estradiol, utilizado para tratamientos controlados del insomnio.

Otro componente que se cuantificó es 5-hidroximetil-2-furfural o HMF, un aldehído y un furano formado durante la descomposición térmica de los glúcidos, presente en leche, jugos de frutas y miel. También se encuentra presente el eugenol, compuesto presente en aceites esenciales de clavo de olor, eucalipto, pino. El eugenol es un compuesto insoluble en agua y una de sus funciones principales es el de anestésico utilizado por odontólogos.

En la tabla XII de la sección de resultados se observan los datos obtenidos de las cromatografías de gases con acoplamiento a espectrometría de masas del extracto etanólico de flor de tilo obtenido con solvente etanol se observa la presencia de eugenol al igual que en el extracto de hoja de tilo; se tiene la presencia de ácido n-hexadecanoico, también, conocido como ácido caproico, que tiene un olor característico desagradable presente. Otro compuesto presente es el 1-metoxi-2-propilamina utilizado en la fabricación de jabones, detergentes, tinturas, caucho, también se utiliza mezclado con boro en la agricultura, así como para las cromatografías de flor de tilo, se observa presencia de alcohol etílico, amonio y propilenglicol cuantificado.

“El criterio utilizado para realizar la prueba de normalidad es la prueba de Anderson-Darling, la cual compara la función de distribución acumulada empírica (ECDF) de los datos de la muestra con la distribución esperada si los

datos son normales. A partir de este criterio el valor “p” de la distribución da 0,097 que es mayor o igual 0,05 establecido por el nivel de confianza del estudio del 95 %.”<sup>44</sup>

En la figura 13 del análisis estadístico donde se tiene el ANOVA suposición de que las varianzas son equivalentes y se observa de las figuras 13, 14, 15 y 16 del análisis estadístico, en donde se evaluó el rendimiento extractivo de hoja y de flor de manera separada relacionando las dos variables del proceso que fueron tiempo de extracción y concentración del solvente de extracción.

Al analizar la figura 13 del análisis estadístico, donde se observa la comparación del análisis ANOVA que relaciona el rendimiento extractivo vs concentración del solvente en la obtención del extracto de hoja de tilo se observa gráficamente que las varianzas se superponen entre sí y que el valor “p” es de 0,905, que es un coeficiente de correlación entre variables, con esto se concluye que no existe diferencia significativa entre el rendimiento extractivo y la concentración de solvente para la obtención del extracto etanólico de hoja de tilo.

En la figura 14 del análisis estadístico se observa la relación entre el rendimiento extractivo vs el tiempo de extracción utilizado durante las extracciones para obtener el extracto etanólico de hoja de tilo, el valor “p” o correlación que se tiene entre ambas variables es de 0,073, lo cual es cercano a 0,05 y levemente mayor y gráficamente se puede observar que se superponen por lo que no existe una diferencia significativa pero debido a que es muy baja se puede descartar como determinante en donde el tiempo de

---

<sup>44</sup> Minitab. <http://support.minitab.com/es-mx/minitab/17/topic-library>. Consulta: 23 de septiembre de 2014.

extracción no es un factor determinante en la obtención del extracto etanólico de hoja de tilo.

De la misma manera, en la figura 15 del análisis estadístico se llevó a cabo el análisis ANOVA que relacionaba el rendimiento extractivo vs concentración del solvente, cuyo valor “p” es de 0,273, por lo que no existe diferencia significativa en la relación rendimiento: concentración de solvente; por otra parte en la figura 16 del análisis estadístico que relaciona el rendimiento extractivo vs tiempo de extracción se tiene un valor “p” de 0,072, esto significa que no existe una diferencia significativa en la determinación del rendimiento extractivo vs tiempo de extracción en la obtención de los extractos etanólicos de flor de tilo.

En la figura 17 del análisis estadístico el valor “p” de 0,004 en donde existe una diferencia significativa respecto a la densidad vs la concentración del solvente etanol en sus 3 concentraciones. En la figura 18 del análisis estadístico se puede concluir que no existe diferencia significativa en la densidad del extracto etanólico de flor de tilo vs el tiempo de extracción para la obtención de los mismos, ya que el valor “p” obtenido de los mismos es de 0,807.

En el análisis ANOVA analizando los extractos por separado, en las figuras 19 y 20 del análisis estadístico se observa la relación de la densidad vs concentración del solvente y densidad vs tiempo de extracción, respectivamente para los extractos de hoja de tilo, en donde con base en la figura 19, el valor “p” de 0,004 indica que existe una diferencia significativa en el índice de refracción y la concentración del solvente utilizado, mientras que en la figura 20 se tiene su valor “p” de 0,148 por lo que se concluye que el tiempo de extracción no es determinante para la determinación o no existe una diferencia significativa en la determinación de su índice de refracción.

En la figura 21 del análisis estadístico se tiene el análisis ANOVA para la determinación del índice de refracción vs concentración del solvente etanol para los extractos de hoja de tilo con un valor “p” de 0,021, donde se concluye que no existe diferencia significativa en el índice de refracción en función de la concentración del solvente al igual que en la figura 22 ya que se tiene su valor “p” de 0,975.

Respecto al análisis ANOVA para el índice de refracción vs concentración del solvente en la obtención del extracto de flor de tilo, tanto no existe diferencia significativa en el índice de refracción vs tiempo de extracción, ya que en la figura 23 el análisis estadístico tiene su valor “p” es de 0,273, mientras que en la figura 24 del análisis estadístico el valor “p” es de 0,998 para la concentración del solvente y tiempo de extracción, respectivamente.



## CONCLUSIONES

1. No existe diferencia significativa en el rendimiento obtenido del extracto etanólico de hoja y flor de tilo en función de la concentración del solvente etanol (30 % v/v, 60 % v/v, 90 % v/v) y tiempo de extracción (120 min, 180 min, 240 min).
2. Los tiempos óptimos para la obtención de los extractos de hoja de tilo fueron de 85 minutos, 132 minutos y 126 minutos a concentraciones de etanol de 30 % v/v, 60 % v/v, 90 % v/v, respectivamente, mientras que para los extractos de flor de tilo fueron de 127 minutos, 81 minutos y 112 minutos a concentraciones de etanol de 30 % v/v, 60 % v/v, 90 % v/v, respectivamente.
3. Si existe diferencia significativa en la determinación del índice de refracción en el extracto etanólico de hoja de tilo obtenido en función de la concentración del solvente etanol (30 % v/v, 60 % v/v, 90 % v/v) y no para el extracto de flor bajo las mismas condiciones y a su vez no existe diferencia significativa en el índice de refracción del extracto etanólico de hoja y flor de tilo en función del tiempo de extracción (120 minutos, 180 minutos, 240 minutos).
4. Sí existe diferencia significativa en la determinación de la densidad del extracto etanólico de hoja y flor de tilo obtenido en función de la concentración del solvente etanol (30 % v/v, 60 % v/v, 90 % v/v) y no existe diferencia significativa en la densidad del extracto etanólico de

hoja y flor de tilo en función del tiempo de extracción (120 minutos, 180 minutos, 240 minutos).

5. No existe diferencia significativa en la determinación del tiempo óptimo de extracción en la obtención del extracto etanólico de hoja y flor de tilo en función del tiempo de extracción (120 minutos, 180 minutos y 240 minutos).

## RECOMENDACIONES

1. Realizar extracciones de hoja y flor de tilo con solventes como hexano o benceno para evaluar rendimientos y obtención de otros componentes químicos en la cromatografía.
2. Realizar un escalamiento a planta piloto para evaluar impacto y factibilidad económica.
3. Realizar extracciones con maceración estática para comparar los rendimientos evaluados con maceración dinámica.
4. Realizar un estudio más exhaustivo con fluidos supercríticos para mejorar las técnicas de extracción de hoja y flor de tilo sin la necesidad de solventes con diferentes polaridades.



## BIBLIOGRAFÍA

1. ACOSTA TORRES, Laura. *Evaluación de la actividad ansiolítica de extractos orgánicos de Tilia americana var. Mexicana*. México: McGraw-Hill, 2011. 356 p.
2. Botanical online. [en línea]. <<http://www.botanical-online.com/medicinalstila.htm>>. [Consulta: 25 de abril de 2014].
3. CÁCERES, Armádo. *Plantas de uso medicinal en Guatemala*. Guatemala: Editorial Universitaria, 1996. 402 p.
4. CÁCERES, Armando. *Vademécum Nacional de Plantas Medicinales*. Guatemala: Editorial Universitaria, 1996. 156 p.
5. Competitividad. E. M. ARBOLAPP. [en línea]. <<http://www.arbolapp.es/especies/ficha/tilia-cordata/>>. [Consulta: 26 de septiembre de 2014].
6. CRUZ, Brenda Carolina. *Caracterización de cinco extractos de plantas medicinales nativas de Guatemala, validadas científicamente*. Trabajo de graduación de químico farmacéutico. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, 2005. 68 p.
7. DELGADO, María Eugenia. *Perspectiva de extractos vegetales para el control del loque americano (paenibacillus larvae) en la larva de*

*abejas melíferas (apis mellifera)*. España: Universidad Autónoma de Madrid, Departamento de Química Agrícola, 2002. 62 p.

8. FARFÁN, CHRISTIAN. *Composición del aceite esencial y fenoles totales de diferentes poblaciones de Orozús Phya dulcis (Trevir) Moldenke*. Trabajo de graduación de maestría multidisciplinaria en producción y uso de plantas medicinales. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Escuela de posgrados. Universidad de San Carlos de Guatemala. 81 p.
9. GONZÁLEZ, José. *Obtención y caracterización del extracto etanólico del bacché (eupatorium semialatum benth) para su aplicación farmacéutica y su escalamiento a nivel piloto*. Trabajo de graduación de ing. química. Usac. Facultad de Ingeniería, 2015. 116 p.
10. GUTIERREZ ALVARADO, Jorge. *Efecto de tres catalizadores en la elaboración de aceite esencial de pino a partir del aguarrás destilado de la resina del pino ocote (Pinus oocarpa schiede ex Schltdl)*. Universidad de San Carlos de Guatemala. Trabajo de graduación de Ing. Químico. Facultad de Ingeniería. 2011. 216 p.
11. RODRÍGUEZ DE LEÓN, Ana. *Evaluación del extracto de quilete (solanum americanum miller) como insecticida y larvicida contra el vector transmisor del dengue (aedes aegypti)*. Trabajo de graduación de Ing. química. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2016. 138p.

12. LOSSI NISHTAL, Estefani Anna. *Obtención del aceite esencial del flavelo del fruto del naranjo dulce (Citrus sinensis L.) Tipo blanca, variedad valencia, empleando el método de destilación por arrastre de vapor a nivel laboratorio en función de diferentes tipos de corte y contenido de Guatemala*. Trabajo de graduación de Ing. química. Facultad de Ingeniería. Universidad de San Carlos de Guatemala, 2012. 146p.
13. MARROQUÍN GONZÁLEZ, Adela María. *Obtención del extracto tánico por maceración dinámica de la corteza de árboles jóvenes de cuatro especies forestales, a nivel de laboratorio*. Trabajo de graduación de ing. química. Facultad de Ingeniería. Universidad de San Carlos de Guatemala. 2008. 285 p.
14. MCCABE, Warren y SMITH, Julian; HARRIOT, Peter. *Operaciones unitarias en ingeniería química*. 4a. ed. México: McGraw-Hill, 2002. 1114 p.
15. Minitab. Minitab soporte. [en línea]. <<http://support.minitab.com/es-mx/minitab/17/topic-library>>. [Consulta: 14 de diciembre de 2016].
16. MOTT, Robert L. *Mecánica de fluidos aplicada*. 6a. ed. México: Pearson Education, 2006. 647 p.
17. ORTIZ AMIEL, Humberto. *La producción de aceites esenciales en Guatemala y sus posibilidades de ensanchamiento*. Trabajo de graduación de Ing. química. Facultad de Ingeniería. Universidad de San Carlos de Guatemala. 1959. 95 p.

18. SAMAYOA, Francisco. *Contribución al estudio farmacológico de la tilia mexicana*. Trabajo de graduacion. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. Universidad de San Carlos de Guatemala. 1983. 163 p.
19. SANTIZO RECINOS, Ana María. *Evaluación del rendimiento de extracción y caracterización del aceite fijo de macadamia (*macadamia integrifolia*) extraído de nueces sanas e inmaduras provenientes de los municipios de el palmar y Colomba Costa Cuca, Quetzaltenango y Alotenango, Sacatepéquez*. Trabajo de graduación ing. química. Facultad de Ingeniería. Universidad de San Carlos de Guatemala. 2015. 119 p.
20. SARAIVA CANO, Edwin José. *Evaluación del rendimiento extractivo, contenido de  $\alpha$ -pineno y tiempo óptimo de extracción del aceite esencial de ciprés (*Cupressus lusitánica mill*), obtenido de hojas, ramillas y frutos mediante hidrodestilación a nivel de laboratorio*. Trabajo de graduacion de ing. química. Facultad de Ingeniería Química. Universidad de San Carlos de Guatemala. 2013. 314 p.
21. VALENZUELA, Alba Carolina. *Validación farmacológica de la acción sedante e hipnótica de rizoma de *Valeriana prionophylla* (valeriana) en combinación con hojas de *Passiflora edulis* (flor de la pasión), flor con bráctea de *Tilia platyphyllos* (tilo) o pericarpio de *Citrus aurantium**. Trabajo de graduacion de química farmaceutica. Facultad de Ciencias Químicas. Universidad de San Carlos de Guatemala. 2007. 60 p.

22. Wikipedia. Tilia tormentosa. [en línea]. < [https://es.wikipedia.org/wiki/Tilia\\_tomentosa](https://es.wikipedia.org/wiki/Tilia_tomentosa)>. [Consulta: 15 de septiembre de 2014].



# APÉNDICES

## Apéndice 1. Simbología para diagramas de flujo

	INICIO
	PROCESO
	DECISIÓN
	SUBPROCESO
	DOCUMENTO
	DATOS

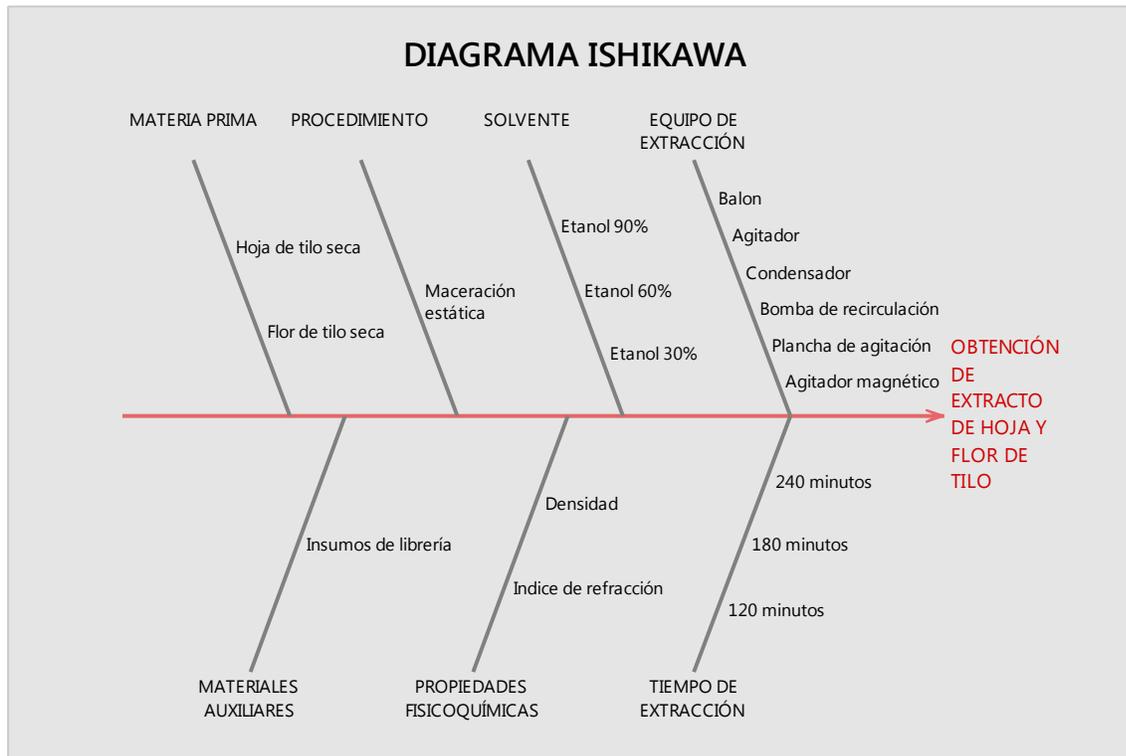
Fuente: elaboración propia.

## Apéndice 2. Requisitos académicos



Fuente: elaboración propia.

### Apéndice 3. Diagrama de Ishikawa o árbol del problema



Fuente: elaboración propia.

### Apéndice 4. Disminución de materia prima



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 5. **Proceso de reducción y estandarización de tamaño de materia prima en tamiz No. 10**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 6. **Proceso de obtención de extracto etanólico de hoja y flor de tilo (*Tilia platyphyllos* Scop.) con equipo de maceración dinámica con reflujo**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 7. **Proceso de obtención de extracto etanólico de hoja y flor de tilo (*Tilia platyphyllos Scop.*) con equipo de maceración dinámica con reflujo**



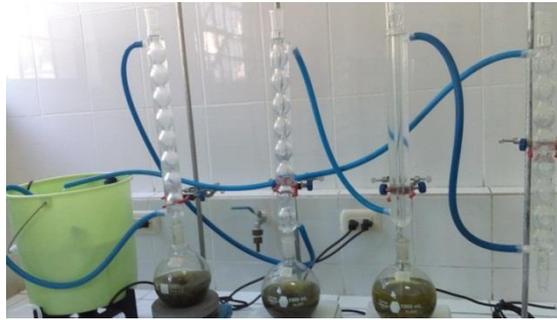
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 8. **Proceso de filtración de extracto etanólico de hoja y flor de tilo (*Tilia platyphyllos Scop.*) para eliminar sólidos en suspensión con equipo de filtración bomba de vacío, embudo, papel filtro y silica**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 9. **Proceso de obtención de extracto etanólico de hoja y flor de tilo (*Tilia platyphyllos Scop.*) con equipo de maceración dinámica con reflujo**



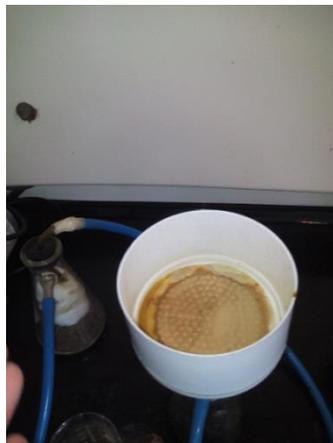
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 10. **Proceso de obtención de extracto etanólico de hoja y flor de tilo (*Tilia platyphyllos Scop.*) con equipo de maceración dinámica con reflujo**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 11. **Proceso de filtración de extracto etanólico de hoja y flor de tilo (*Tilia platyphyllos Scop.*) para eliminar sólidos en suspensión con equipo de filtración bomba de vacío, embudo, papel filtro y silica**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 12. **Proceso de filtración de extracto etanólico de hoja y flor de tilo (*Tilia platyphyllos Scop.*) para eliminar sólidos en suspensión con equipo de filtración bomba de vacío, embudo, papel filtro y silica**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 13. **Extracto etanólico de hoja de tilo (*Tilia platyphyllos Scop.*)**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 14. **Extracto etanólico de flor de tilo (*Tilia platyphyllos Scop.*)**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 15. **Equipo rotaevaporador utilizado para separación física de solvente del extracto etanólico**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 16. **Extracto recuperado luego de proceso de separación con equipo rotaevaporador**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 17. **Equipo refractómetro utilizado para determinar índice de refracción de extractos obtenidos**



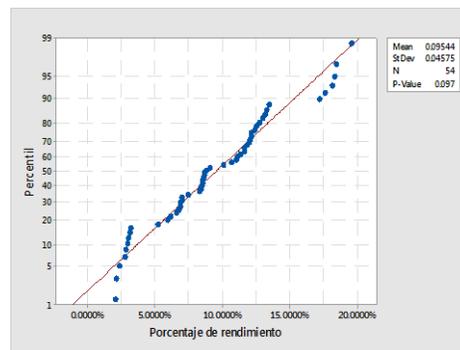
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 18. **Medición de densidad**



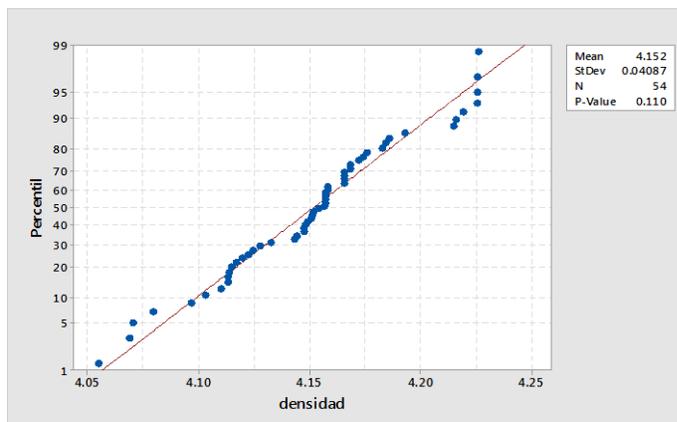
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 19. **Prueba de normalidad para la determinación del extracto etanólico de hoja y flor de tilo (*Tilia platyphyllos*) evaluado a 3 concentraciones de solvente etanol y a 3 tiempos de extracción**



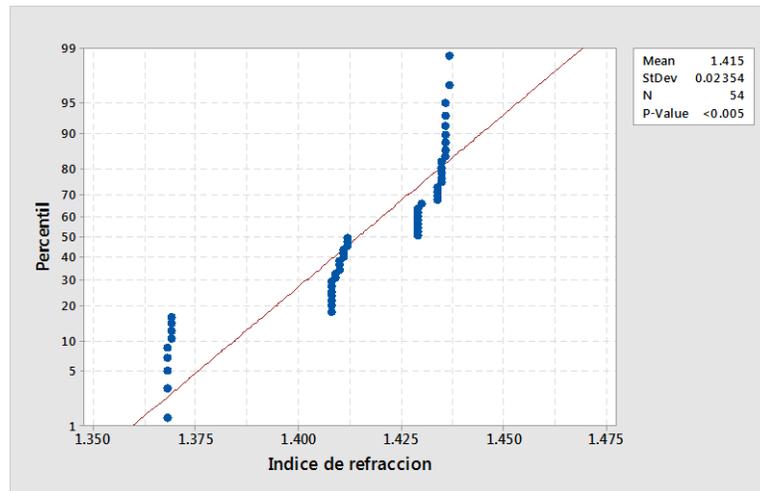
Fuente: elaboración propia, empleando Software Minitab 17.

Apéndice 20. **Prueba de normalidad para la determinación de la densidad del etanólico de hoja y flor de tilo (*Tilia platyphyllos*) evaluado a 3 concentraciones de solvente etanol y a 3 tiempos de extracción**



FFuente: elaboración propia, empleando Software Minitab 17.

Apéndice 21. **Prueba de normalidad para la determinación del índice refracción del extracto etanólico de hoja y flor de tilo (*Tilia platyphyllos*) evaluado a 3 concentraciones de solvente etanol y a 3 tiempos de extracción**



Fuente: elaboración propia, empleando Software Minitab 17.

Apéndice 22. **Resumen de análisis ANOVA para rendimiento vs concentración de extracto etanólico de hoja de tilo (*Tilia platyphyllos* Scop.)**

CONCENTRACIÓN	TRATAMIENTOS	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	MÁXIMO	MÍNIMO
30	9	0,035	0,019	0,085
60		0,036	0,025	0,074
90		0,031	0,020	0,068

Fuente: elaboración propia, empleando Software Minitab 17.

Apéndice 23. **Resumen estadístico de análisis ANOVA para varianzas equivalentes correspondiente al rendimiento extractivo vs concentración del solvente en hoja de tilo (*Tilia platyphyllos*)**

MÉTODO	VALOR p	CRITERIO DE LEVENE
Comparación Múltiple	--	0,828
Levene	0,100	0,905

Fuente: elaboración propia, empleando Software Minitab 17.

Apéndice 24. **Resumen de análisis ANOVA para rendimiento vs tiempo de extracción en la obtención de extracto etanólico de hoja de tilo (*Tilia platyphyllos* Scop.)**

CONCENTRACIÓN	TRATAMIENTOS	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	MÁXIMO	MÍNIMO
120	9	0,018	0,010	0,043
180		0,049	0,026	0,129
240		0,006	0,002	0,024

Fuente: elaboración propia, empleando Software Minitab 17.

Apéndice 25. **Resumen estadístico de análisis ANOVA para varianzas equivalentes correspondiente al rendimiento extractivo vs tiempo de extracción en la obtención de extracto etanólico de hoja de tilo (*Tilia platyphyllos*)**

MÉTODO	VALOR p	CRITERIO DE LEVENE
Comparación Múltiple	--	0,000
Levene	2,930	0,073

Fuente: elaboración propia, empleando Software Minitab 17.

Apéndice 26. **Resumen de análisis ANOVA para rendimiento vs concentración de extracto etanólico de flor de tilo (*Tilia platyphyllos* Scop.)**

CONCENTRACIÓN	TRATAMIENTOS	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	MÁXIMO	MÍNIMO
30	9	0,049	0,027	0,122
60		0,018	0,011	0,041
90		0,042	0,028	0,082

Fuente: elaboración propia, empleando Software Minitab 17.

Apéndice 27. **Resumen estadístico de análisis ANOVA para varianzas idénticas correspondientes al rendimiento extractivo vs tiempo de extracción en la obtención de extracto etanólico de flor de tilo (*Tilia platyphyllos*)**

MÉTODO	VALOR p	CRITERIO LEVENE
Comparación Multiple	----	0,023
Levene	1,370	0,273

Fuente: elaboración propia, empleando Software Minitab 17.

Apéndice 28. **Resumen de análisis ANOVA para rendimiento vs tiempo de extracción en la obtención del extracto etanólico de flor de tilo (*Tilia platyphyllos* Scop.)**

TIEMPO (min)	TRATAMIENTOS	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	MÁXIMO	MÍNIMO
120	9	0,045	0,026	0,109
180		0,020	0,012	0,049
240		0,064	0,041	0,136

Fuente: elaboración propia, empleando Software Minitab 17.

Apéndice 29. **Resumen estadístico de análisis ANOVA para varianzas equivalentes correspondientes al rendimiento extractivo vs tiempo de extracción en la obtención de extracto etanólico de flor de tilo (*Tilia platyphyllos*)**

MÉTODO	VALOR p	CRITERIO LEVENE
Comparación Múltiple	---	0,007
Levene	2,950	0,072

Fuente: elaboración propia, empleando Software Minitab 17.

Apéndice 30. **Resumen de análisis ANOVA para la determinación de la densidad vs concentración en la obtención del extracto etanólico de hoja de tilo (*Tilia platyphyllos* Scop.)**

CONCENTRACIÓN	TRATAMIENTOS	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	MÁXIMO	MÍNIMO
30	9	0,010	0,005	0,022
60		0,007	0,001	0,033
90		0,044	0,028	0,129

Fuente: elaboración propia, empleando Software Minitab 17.

Apéndice 31. **Resumen estadístico de análisis ANOVA para varianzas equivalentes correspondientes a la determinación de la densidad vs concentración en la obtención de extracto etanólico de hoja de tilo (*Tilia platyphyllos* Scop.)**

MÉTODO	VALOR p	CRITERIO LEVENE
Comparación Múltiple	----	0,003
Levene	7,500	0,004

Fuente: elaboración propia, empleando Software Minitab 17.

Apéndice 32. **Resumen de análisis ANOVA para la determinación de la densidad vs tiempo de extracción en la obtención del extracto etanólico de hoja de tilo (*Tilia platyphyllos Scop.*)**

TIEMPO (min)	TRATAMIENTOS	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	MÁXIMO	MÍNIMO
120	9	0,040	0,018	0,119
180		0,031	0,009	0,135
240		0,033	0,022	0,068

Fuente: elaboración propia, empleando Software Minitab 17.

Apéndice 33. **Resumen estadístico de análisis ANOVA para varianzas equivalentes correspondientes a la determinación de la densidad vs tiempo de extracción en la obtención de extracto etanólico de hoja de tilo (*Tilia platyphyllos Scop.*)**

MÉTODO	VALOR p	CRITERIO LEVENE
Comparación Multiple	---	0,850
Levene	0,22	0,807

Fuente: elaboración propia, empleando Software Minitab 17.

Apéndice 34. **Resumen de análisis ANOVA para la determinación de la densidad vs tiempo con la concentración del solvente en la obtención del extracto etanólico de flor de tilo (*Tilia platyphyllos Scop.*)**

CONCENTRACIÓN	TRATAMIENTOS	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	MÁXIMO	MÍNIMO
30	9	0,011	0,007	0,020
60		0,008	0,003	0,030
90		0,048	0,025	0,128

Fuente: elaboración propia, empleando Software Minitab 17.

Apéndice 35. **Resumen estadístico de análisis ANOVA para varianzas equivalentes correspondientes a la determinación de la densidad vs concentración del solvente etanol en la obtención de extracto etanólico de flor de tilo (*Tilia platyphyllos Scop.*)**

MÉTODO	VALOR p	CRITERIO LEVENE
Comparación Múltiple	----	0,003
Levene	7,160	0,004

Fuente: elaboración propia, empleando Software Minitab 17.

Apéndice 36. **Resumen de análisis ANOVA para la determinación de la densidad vs tiempo de extracción en la obtención del extracto etanólico de flor de tilo (*Tilia platyphyllos Scop.*)**

TIEMPO (min)	TRATAMIENTOS	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	MÁXIMO	MÍNIMO
120	9	0,048	0,032	0,097
180		0,027	0,017	0,060
240		0,025	0,013	0,066

Fuente: elaboración propia, empleando Software Minitab 17.

Apéndice 37. **Resumen estadístico de análisis ANOVA para varianzas equivalentes correspondientes a la determinación de la densidad vs tiempo de extracción en la obtención de extracto etanólico de flor de tilo (*Tilia platyphyllos Scop.*)**

MÉTODO	VALOR p	CRITERIO LEVENE
Comparación Múltiple	---	0.105
Levene	2.070	0.148

Fuente: elaboración propia, empleando Software Minitab 17.

Apéndice 38. **Resumen de análisis ANOVA para la determinación del índice de refracción vs concentración en la obtención del extracto etanólico de hoja de tilo (*Tilia platyphyllos Scop.*)**

CONCENTRACIÓN	TRATAMIENTOS	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	MÁXIMO	MÍNIMO
30	9	0,0003	0,0005	0,0025
60		0,0008	0,0005	0,0017
90		0,0008	0,0005	0,0017

Fuente: elaboración propia, empleando Software Minitab 17.

Apéndice 39. **Resumen estadístico de análisis ANOVA para varianzas equivalentes correspondientes a la determinación de la densidad vs concentración en la obtención de extracto etanólico de hoja de tilo (*Tilia platyphyllos Scop.*)**

MÉTODO	VALOR p	CRITERIO LEVENE
Comparación Múltiple	----	0,019
Levene	4,550	0,021

Fuente: elaboración propia, empleando Software Minitab 17.

Apéndice 40. **Resumen de análisis ANOVA para la determinación de la densidad vs tiempo de extracción en la obtención del extracto etanólico de hoja de tilo (*Tilia platyphyllos Scop.*)**

TIEMPO (min)	TRATAMIENTOS	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	MÁXIMO
120	9	0,0003	0,0065
180		0,0008	0,0068
240		0,0008	0,0062

Fuente: elaboración propia, empleando Software Minitab 17.

Apéndice 41. **Resumen estadístico de análisis ANOVA para varianzas equivalentes correspondientes a la determinación de la densidad vs tiempo de extracción en la obtención de extracto etanólico de hoja de tilo (*Tilia platyphyllos Scop.*)**

MÉTODO	VALOR p	CRITERIO LEVENE
Comparación Múltiple	---	0,942
Levene	0,030	0,975

Fuente: elaboración propia, empleando Software Minitab 17.

Apéndice 42. **Resumen de análisis ANOVA para la determinación del índice de refracción vs tiempo con la concentración del solvente en la obtención del extracto etanólico de flor de tilo (*Tilia platyphyllos Scop.*)**

CONCENTRACIÓN	TRATAMIENTOS	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	MÁXIMO	MÍNIMO
30	9	0,00040	0,0001	0,0023
60		0,00050	0,0004	0,0009
90		0,00090	0,0009	0,0024

Fuente: elaboración propia, empleando Software Minitab 17.

Apéndice 43. **Resumen estadístico de análisis ANOVA para varianzas equivalentes correspondientes a la determinación de la densidad vs tiempo de extracción en la obtención de extracto etanólico de flor de tilo (*Tilia platyphyllos Scop.*)**

MÉTODO	VALOR p	CRITERIO LEVENE
Comparación Múltiple	----	0,174
Levene	4,550	0,273

Fuente: elaboración propia, empleando Software Minitab 17.

Apéndice 44. **Resumen de análisis ANOVA para la determinación de la densidad vs tiempo de extracción en la obtención del extracto etanólico de flor de tilo (*Tilia platyphyllos Scop.*)**

TIEMPO (min)	TRATAMIENTOS	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	MÁXIMO	MÍNIMO
120	9	0,0110	0,0065	0,0258
180		0,0112	0,0068	0,0249
240		0,0102	0,0062	0,0228

Fuente: elaboración propia, empleando Software Minitab 17.

Apéndice 45. **Resumen estadístico de análisis ANOVA para varianzas equivalentes correspondientes a la determinación del índice de refracción vs tiempo de extracción en la obtención de extracto etanólico de flor de tilo (*Tilia platyphyllos Scop.*)**

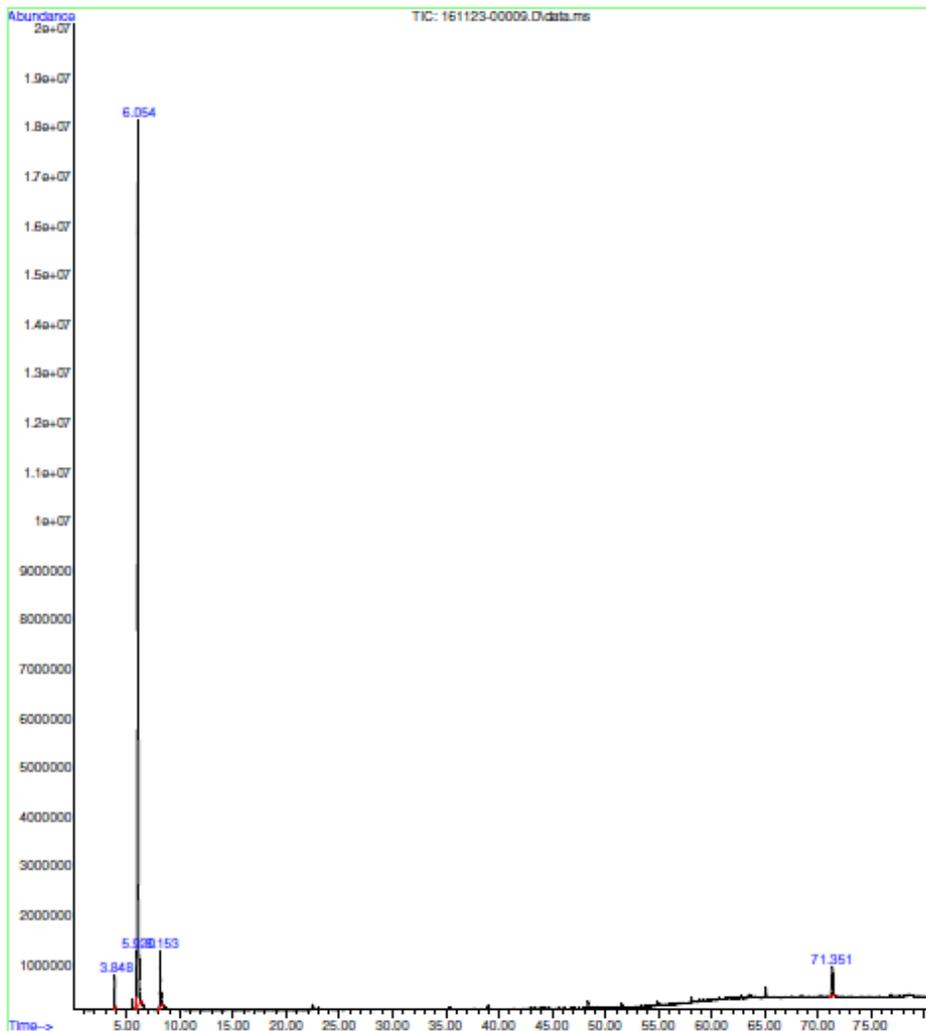
MÉTODO	VALOR p	CRITERIO LEVENE
Comparación Múltiple	---	0,942
Levene	0,030	0,975

Fuente: elaboración propia, empleando Software Minitab 17.

Apéndice 46. **Cromatografía de extractos etanólicos de hoja y flor de tilo**

Cromatografía de gases con acoplamiento a espectrometría de masas  
GC-MS para extracto etanólico de flor de tilo

```
File       :C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\USAC\Tesis extractos\161123-00009
...       .D
Operator   : AdaM
Instrument  : GC-MSD
Acquired   : 24 Nov 2016  1:41    using AcqMethod ACEITES ESENCIALES MCS DB-WAX SCAN 2.M
Sample Name: Flor tilo etanol anh
Misc Info  : Flor tilo etanol anh
```



Continuación del apéndice 46.

LIQA Library Search Report

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\USAC\Tesis extractos\  
 Data File : 161123-00009.D  
 Title :  
 Acq On : 24 Nov 2016 1:41  
 Operator : AdeM  
 Sample : Flor tilo etanol anh  
 Misc : Flor tilo etanol anh  
 ALS Vial : 9 Sample Multiplier: 1

Search Libraries: C:\Database\NIST05a.L Minimum Quality: 0

Unknown Spectrum: Apex  
 Integration Events: ChemStation Integrator - autointA.e

Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
1	3.849	1.31	C:\Database\NIST05a.L			
			2-Propanamine, 1-methoxy-	2162	037143-54-7	5
			Nitrous Oxide	82	010024-97-2	5
			sec-Butylamine	738	013952-84-6	5
2	5.919	3.06	C:\Database\NIST05a.L			
			Isopropyl Alcohol	289	000067-63-0	91
			Isopropyl Alcohol	288	000067-63-0	86
			2,3-Butanediol, [S-(R*,R*)]-	2271	019132-06-0	72
3	6.055	83.97	C:\Database\NIST05a.L			
			Ethyl alcohol	94	000064-17-5	91
			Ethyl alcohol	93	000064-17-5	91
			Ethyl alcohol	95	000064-17-5	90
4	8.152	7.41	C:\Database\NIST05a.L			
			Ammonia	6	007664-41-7	2
			Water	7	007732-18-5	1
5	71.351	4.26	C:\Database\NIST05a.L			
			n-Hexadecanoic acid	96234	000057-10-3	95
			n-Hexadecanoic acid	96235	000057-10-3	94
			n-Hexadecanoic acid	96233	000057-10-3	66

ACEITES ESE...WAX SCAN 2.M Fri Nov 25 09:52:47 2016

Continuación del apéndice 46.

```

                                LIQA      Area Percent Report

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\USAC\Tesis extractos\
Data File : 161123-00009.D
Acq On    : 24 Nov 2016   1:41
Operator  : AdeM
Sample    : Flor tilo etanol anh
Misc     : Flor tilo etanol anh
ALS Vial  : 9   Sample Multiplier: 1

Integration Parameters: autointA.e
Integrator: ChemStation

Method    : C:\msdchem\1\METHODS\ACEITES ESENCIALES MCS DB-WAX SCAN 2.M
Title     :

Signal    : TIC: 161123-00009.D\data.ms

peak  R.T.  first  max  last  PK  peak  corr.  corr.  % of
#     min   scan  scan scan  TY  height area  % max. total
-----
1   3.848   814   827   852  BB 2   658447 13979213  1.56%  1.308%
2   5.920  1265  1282  1292  BV   1166688 32679091  3.64%  3.059%
3   6.054  1292  1312  1382  VB   17906278 897184316 100.00% 83.971%
4   8.153  1737  1773  1829  BB   1137367 79127100  8.82%  7.406%
5  71.351 15624 15667 15712  BB 7   581960 45481937  5.07%  4.257%

Sum of corrected areas: 1068451657

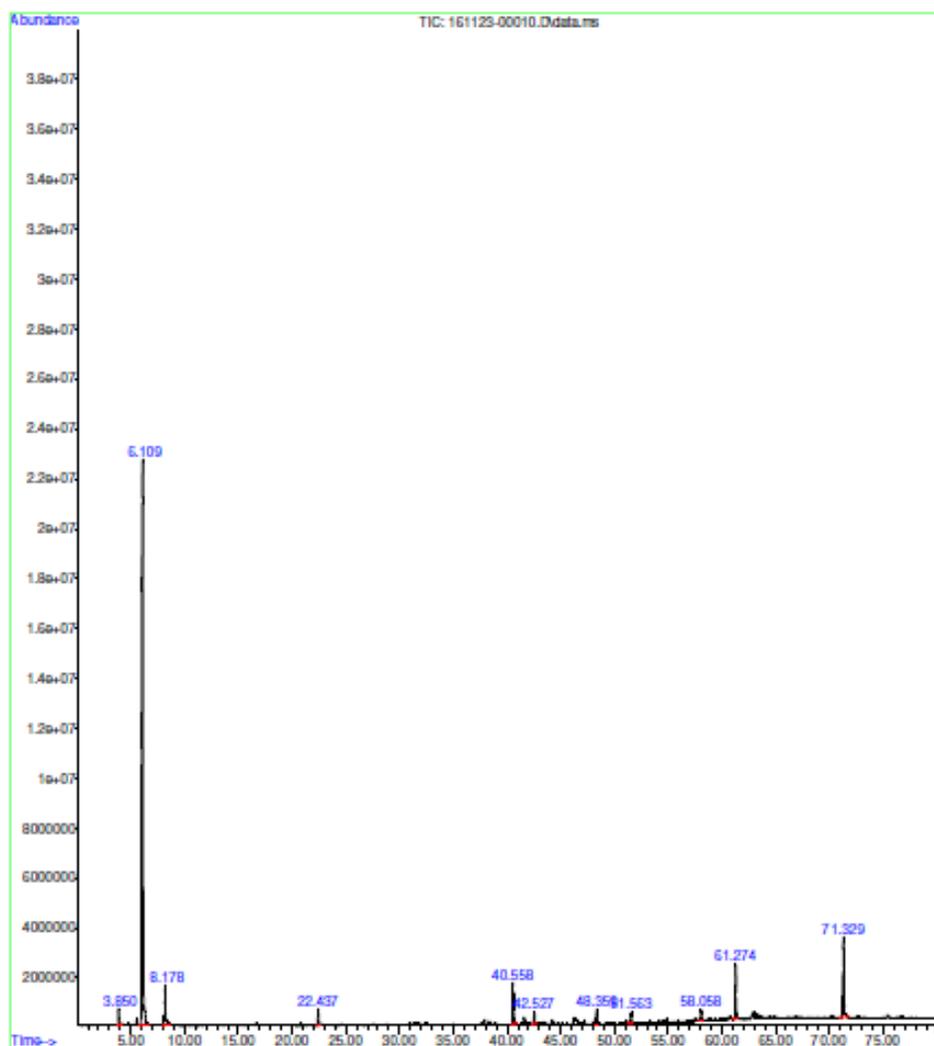
ACEITES ESE...WAX SCAN 2.M Fri Nov 25 09:56:25 2016

```

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 47. **Cromatografía de gases con acoplamiento a espectrometría de masas GC-MS para extracto etanólico de hoja de tilo**

```
File       : C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\USAC\Tesis extractos\161123-00010
...
Operator   : AdaM
Instrument  : GC-MSD
Acquired   : 24 Nov 2016  3:08      using AcqMethod ACEITES ESENCIALES MCS DB-WAX SCAN 2.M
Sample Name: Hoja tilo etanol anh
Misc Info  : Hoja tilo etanol anh
```



Continuación del apéndice 47.

LIQA Library Search Report

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\USAC\Tesis extractos\  
 Data File : 161123-00010.D  
 Title :  
 Acq On : 24 Nov 2016 3:08  
 Operator : Adm  
 Sample : Hoja tilo etanol anh  
 Misc : Hoja tilo etanol anh  
 ALS Vial : 10 Sample Multiplier: 1

Search Libraries: C:\Database\NIST05a.L Minimum Quality: 0  
 Unknown Spectrum: Apex  
 Integration Events: ChemStation Integrator - autointA.e

PK#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
1	3.849	0.97	C:\Database\NIST05a.L Carbon dioxide	80	000124-38-9	4
			Carbon dioxide	81	000124-38-9	3
			Ethyne, fluoro-	76	002713-09-9	3
2	6.110	72.11	C:\Database\NIST05a.L Ethyl alcohol	95	000064-17-5	90
			Ethyl alcohol	94	000064-17-5	64
			Ethyl alcohol	93	000064-17-5	43
3	8.179	4.83	C:\Database\NIST05a.L Ammonia	6	007664-41-7	2
			Water	7	007732-18-5	2
4	22.435	1.15	C:\Database\NIST05a.L Acetic acid	258	000064-19-7	94
			Acetic acid	254	000064-19-7	91
			Acetic acid	256	000064-19-7	91
5	40.557	4.16	C:\Database\NIST05a.L Bicyclo[3.1.1]heptane, 2,6,6-trime thyl-, (1.alpha.,2.beta.,5.alpha.)	16444	006876-13-7	64
			Bicyclo[3.1.1]heptane, 2,6,6-trime thyl-	16398	000473-55-2	64
			Bicyclo[3.1.1]heptane, 2,6,6-trime thyl-, [1R-(1.alpha.,2.beta.,5.alp ha.)]-	16447	004795-86-2	55
6	42.526	1.06	C:\Database\NIST05a.L Cyclohexanol, 1-ethynyl-	10171	000078-27-3	50
			3,7,11,15-Tetramethyl-2-hexadecen- 1-ol	122418	102608-53-7	49
			Bicyclo[3.1.1]heptane, 2,6,6-trime thyl-	16407	000473-55-2	30
7	48.357	0.80	C:\Database\NIST05a.L Eugenol	31714	000097-53-0	98
			Phenol, 2-methoxy-3-(2-propenyl)-	31835	001941-12-4	98
			3-Allyl-6-methoxyphenol	31757	000501-19-9	96
8	51.564	0.73	C:\Database\NIST05a.L 4H-Pyran-4-one, 2,3-dihydro-3,5-di hydroxy-6-methyl-	19887	028564-83-2	93
			4H-Pyran-4-one, 2,3-dihydro-3,5-di hydroxy-6-methyl-	19886	028564-83-2	87
			Propanamide, N,N-dimethyl-	4014	000758-96-3	46
9	58.060	0.74	C:\Database\NIST05a.L 2-Furancarboxaldehyde, 5-(hydroxym ethyl)-	10777	000067-47-0	83
			2-Furancarboxaldehyde, 5-(hydroxym ethyl)-	10778	000067-47-0	83
			2-Pyrazoline, 5-ethyl-1,4-dimethyl	10890	014339-23-2	43
10	61.276	3.84	C:\Database\NIST05a.L Phytol	122406	000150-86-7	90
			Isophytol	122412	000505-32-8	87

ACEITES ESE...MAX SCAN 2.M Fri Nov 25 09:57:22 2016

Continuación del apéndice 47.

LIQA Library Search Report

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\USAC\Tesis extractos\  
 Data File : 161123-00010.D  
 Title :  
 Acq On : 24 Nov 2016 3:08  
 Operator : AdM  
 Sample : Hoja tilo etanol anh  
 Misc : Hoja tilo etanol anh  
 ALS Vial : 10 Sample Multiplier: 1

Search Libraries: C:\Database\NIST05a.L Minimum Quality: 0

Unknown Spectrum: Apex  
 Integration Events: ChemStation Integrator - autointA.e

Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
			Phytol	122407	000150-86-7	58
11	71.328	9.61	C:\Database\NIST05a.L n-Hexadecanoic acid	96235	000057-10-3	99
			n-Hexadecanoic acid	96234	000057-10-3	96
			n-Hexadecanoic acid	96233	000057-10-3	94

Continuación del apéndice 47.

```

LIQA      Area Percent Report

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\USAC\Tesis extractos\
Data File : 161123-00010.D
Acq On    : 24 Nov 2016   3:08
Operator  : AdaM
Sample    : Hoja tilo etanol anh
Misc      : Hoja tilo etanol anh
ALS Vial  : 10   Sample Multiplier: 1

Integration Parameters: autointA.e
Integrator: ChemStation

Method    : C:\msdchem\1\METHODS\ACRITES ESENCIALES MCS DB-WAX SCAN 2.M
Title     :

Signal    : TIC: 161123-00010.D\data.ms

peak  R.T.  first max last  PK   peak   corr.  corr.  % of
#     min   scan scan scan  TY  height area   % max. total
-----
1    3.850   811  827  876  BB 2  655639 25497084  1.34%  0.967%
2    6.109  1247 1324 1432  BB 2 22539688 1900848887 100.00% 72.114%
3    8.178  1736 1779 1868  BB  1604720 127263428  6.70%  4.828%
4   22.437  4892 4913 4954  BB  645472  30273445  1.59%  1.149%
5   40.558  8866 8897 8966  BB 3 1637673 109773746  5.77%  4.165%

6   42.527  9287 9330 9374  BB 4  480832  28033160  1.47%  1.064%
7   48.359 10595 10612 10633  VV 2  574340  21159704  1.11%  0.803%
8   51.563 11273 11317 11340  BB 2  436386  19265345  1.01%  0.731%
9   58.058 12706 12745 12779  BB 4  436607  19374592  1.02%  0.735%
10  61.274 13409 13452 13487  BB 2 2169883 101134397  5.32%  3.837%

11  71.329 15592 15662 15745  BB 4 3213697 253279172 13.32%  9.609%

Sum of corrected areas: 2635902961

ACRITES ESE...WAX SCAN 2.M Fri Nov 25 09:58:05 2016

```

Fuente: elaboración propia.