



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

**EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA DEL ACEITE ESENCIAL OBTENIDO  
DE LAS HOJAS Y FLAVEDO DEL FRUTO DEL LIMÓN PERSA (*Citrus latifolia* Tanaka),  
CULTIVADO EN LOS DEPARTAMENTOS DE SUCHITEPÉQUEZ, ESCUINTLA Y SANTA  
ROSA GUATEMALA, A ESCALA LABORATORIO Y A ESCALA PLANTA PILOTO**

**Gerson Joél Ortega Morales**

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

Guatemala, octubre de 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA DEL ACEITE ESENCIAL OBTENIDO  
DE LAS HOJAS Y FLAVEDO DEL FRUTO DEL LIMÓN PERSA (*Citrus latifolia* Tanaka),  
CULTIVADO EN LOS DEPARTAMENTOS DE SUCHITEPÉQUEZ, ESCUINTLA Y SANTA  
ROSA GUATEMALA, A ESCALA LABORATORIO Y A ESCALA PLANTA PILOTO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**GERSON JOÉL ORTEGA MORALES**

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

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO QUÍMICO**

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2018

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. Oscar Humberto Galicia Nuñez
VOCAL V	Br. Carlos Enrique Gómez Donis
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Mario José Mérida Meré
EXAMINADOR	Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía
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:

**EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA DEL ACEITE ESENCIAL OBTENIDO DE LAS HOJAS Y FLAVEDO DEL FRUTO DEL LIMÓN PERSA (*Citrus latifolia* Tanaka), CULTIVADO EN LOS DEPARTAMENTOS DE SUCHITEPEQUEZ, ESCUINTLA Y SANTA ROSA GUATEMALA, A ESCALA LABORATORIO Y A ESCALA PLANTA PILOTO**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química con fecha 26 de mayo de 2016.



**Gerson Joél Ortega Morales**



Guatemala, 08 de agosto de 2018

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

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 **“EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL ACEITE ESENCIAL OBTENIDO DE LAS HOJAS Y FLAVEDO DEL FRUTO DEL LIMÓN PERSA (*Citrus latifolia* Tanaka), CULTIVADO EN LOS DEPARTAMENTOS DE SUCHITEPÉQUEZ, ESCUINTLA Y SANTA ROSA GUATEMALA, A ESCALA LABORATORIO Y A ESCALA PLANTA PILOTO”**, del estudiante de Ingeniería Química Gerson Joél Ortega Morales quien se identifica con CUI No. 2389 23339 0207 y registro académico número 2012-12799.

Sin otro particular nos suscribimos de usted.

Atentamente,

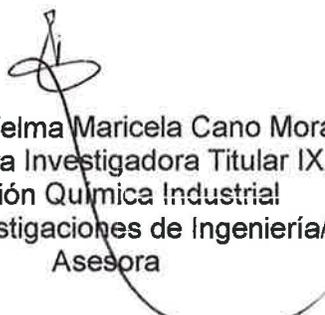


Ing. Qco. Mario José Mérida Meré  
PROFESOR INVESTIGADOR  
Escuela de Ingeniería Química/USAC



INGENIERO QUÍMICO  
Mario José Mérida Meré  
Colegiado 1411

JEFE  
Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales –LIEXVE-  
Sección Química Industrial CII / USAC  
Asesor



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



INGENIERA QUÍMICA  
Telma Maricela Cano M.  
Colegiada 433



Guatemala, 27 de agosto de 2018.  
Ref. EIQ.TG-IF.034.2018.

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 **015-2016** 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  
-Modalidad Seminario de Investigación-**

Solicitado por el estudiante universitario: **Gerson Joél Ortega Morales**.  
Identificado con número de carné: **2389 23339 0207**.  
Identificado con registro académico: **2012-12799**.  
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:

**EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN FISCOQUÍMICA DEL ACEITE ESENCIAL OBTENIDO DE LAS HOJAS Y FLAVEDO DEL FRUTO DEL LIMÓN PERSA (*Citrus latifolia* Tanaka), CULTIVADO EN LOS DEPARTAMENTOS DE SUCHITEPÉQUEZ, ESCUINTLA Y SANTA ROSA GUATEMALA, A ESCALA LABORATORIO Y A ESCALA PLANTA PILOTO**

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



Ref.EIQ.TG.034.2018

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 (la) estudiante, **GERSON JOÉL ORTEGA MORALES** titulado: **“EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL ACEITE ESENCIAL OBTENIDO DE LAS HOJAS Y FLAVEDO DEL FRUTO DEL LIMÓN PERSA (*Citrus latifolia* Tanaka), CULTIVADO EN LOS DEPARTAMENTOS DE SUCHITEPÉQUEZ, ESCUINTLA Y SANTA ROSA GUATEMALA, A ESCALA LABORATORIO Y A ESCALA PLANTA PILOTO”**.  
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 Davi  
Director  
Escuela de Ingeniería Química

Guatemala, octubre de 2018

FACULTAD DE INGENIERIA USAC  
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA  
DIRECTOR

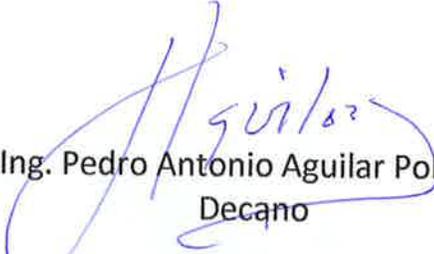
Cc: Archivo  
CSWD/ale



DTG. 399.2018

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: **EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA DEL ACEITE ESENCIAL OBTENIDO DE LAS HOJAS Y FLAVEDO DEL FRUTO DEL LIMÓN PERSA (*Citrus latifolia* Tanaka), CULTIVADO EN LOS DEPARTAMENTOS DE SUCHITEPÉQUEZ, ESCUINTLA Y SANTA ROSA GUATEMALA, A ESCALA LABORATORIO Y A ESCALA PLANTA PILOTO,** presentado el estudiante universitario: **Gerson Joél Ortega Morales,** 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, octubre de 2018

/gdech



## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Por darme la vida, inteligencia y salud.
<b>Mis padres</b>	José Fidel Ovalle García y Ester del Carmen Morales de Ovalle por ser los modelos de mi vida, mi inspiración y los mejores padres.
<b>Mis hermanos</b>	Lubin Ortega y Erny Arriaza por estar constantemente animándome y apoyándome en esta etapa de mi vida.
<b>Tío Leonel</b>	Por ser como un padre, por su entrega, amor y apoyo constante en esta etapa de mi vida.
<b>Mis tíos</b>	Por brindarme su apoyo en este logro.
<b>Mis mejores amigos</b>	Osber Carías y Derick Carrera, por estar siempre en las buenas y en las malas, por brindarme su amistad, su aprecio y apoyo desde siempre.

**Mis amigos del colegio**

Daniel Cardona y Dodanin García por todas las experiencias vividas juntas durante muchos años.

**Amigos de carrera**

Emilio García, Aarón Bendfeldt, Pablo Rosales, Eduardo De Paz, Eduardo Letona, Natalia Valdés, Alejandra Sosa, Cesar Quiroz, Ing. Pablo Letona, Ing. Gabriel Solórzano, Fernando Villagrán, Diana Cermeño y Luis Pedro Rivas.

**Mis asesores**

Ing. Mario Mérida e Inga. Telma Cano, no solo por ser mis asesores sino por ofrecerme su amistad junto con las invaluable experiencias personal y profesional.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<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>	Por darme la oportunidad de formar parte del gran equipo de trabajo, como mis jefes Inga. Telma Cano e Ing. Mario Mérida. Siempre estaré agradecido por su apoyo en esta etapa de mi vida.
<b>Departamento de Química</b>	Por ser una importante influencia en mi carrera, por permitirme ser mejor en la docencia; agradezco el apoyo de la coordinadora, Doctora Casta Zeceña, y el gran equipo de trabajo.
<b>Ing. César Villela</b>	Por su apoyo y tiempo en la fase de revisión de mi trabajo de graduación.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS .....	XXI
GLOSARIO .....	XXIII
RESUMEN .....	XXV
OBJETIVOS .....	XXIX
INTRODUCCIÓN .....	XXXIII
1. ANTECEDENTES .....	1
2. MARCO TEÓRICO.....	3
2.1. Aceites esenciales .....	3
2.2. Composición química de un aceite esencial.....	5
2.3. Monoterpenos y sesquiterpenos.....	7
2.4. Biosíntesis .....	8
2.4.1. Biosíntesis del ácido mevalónico .....	8
2.4.2. Biogénesis de IPP y DMAPP .....	9
2.4.3. Condensación cabeza-cola de IPP Y DMAP .....	10
2.5. Propiedades Físicas .....	12
2.6. Uso de los aceites esenciales .....	12
2.6.1. Industria alimentaria .....	12
2.6.2. Industria farmacéutica .....	13
2.6.3. Cosméticos .....	13
2.6.4. Desodorantes industriales .....	13
2.7. Métodos de extracción de aceites esenciales .....	14
2.7.1. Destilación por arrastre de vapor.....	14

2.7.2.	Hidrodestilación.....	15
2.7.3.	Expresión en frío .....	16
2.7.4.	Enflorado.....	17
2.7.5.	Extracción con disolventes.....	17
2.7.6.	Extracción por fluidos supercríticos.....	18
2.8.	Análisis fisicoquímicos de aceites esenciales .....	19
2.8.1.	Cromatografía gaseosa.....	19
2.8.2.	Cromatografía gaseosa acoplada a espectrometría de masas.....	20
2.8.3.	Densidad.....	21
2.8.4.	Índice de refracción.....	21
2.8.5.	Potencial de hidrogeno.....	21
2.9.	Factores que afectan el rendimiento de los aceites esenciales.....	22
2.9.1.	Tipo de materia prima .....	22
2.9.2.	Tiempo de secado.....	22
2.9.3.	Tamaño de la partícula.....	22
2.9.4.	Tiempo de extracción .....	23
2.9.5.	Método de extracción .....	23
2.10.	Materia prima .....	23
2.10.1.	Origen.....	23
2.10.2.	Características generales.....	24
2.10.3.	Características del fruto de limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka).....	25
2.10.3.1.	Flavedo y albedo .....	26
2.10.3.2.	Endocarpio .....	26
2.10.4.	Partes de la hoja .....	27
2.10.4.1.	Limbo.....	28
2.10.4.2.	Haz.....	28

2.10.4.3.	Envés.....	28
2.10.4.4.	Pecíolo.....	28
2.10.5.	Aspectos técnicos.....	28
2.10.5.1.	Clima .....	28
2.10.5.1.1.	Temperatura .....	29
2.10.5.1.2.	Precipitación pluvial.....	29
2.10.5.1.3.	Vientos .....	29
2.10.5.1.4.	Luz.....	29
2.10.5.1.5.	Altitud .....	29
2.10.5.1.6.	Humedad relativa .....	30
2.10.5.1.7.	Suelos .....	30
2.10.5.1.8.	Características químicas .....	30
2.10.5.2.	Siembra o trasplante.....	31
2.10.5.3.	Poda .....	31
2.10.5.4.	Cosecha y recolección.....	32
3.	DISEÑO METODOLÓGICO .....	35
3.1.	Variables.....	35
3.1.1.	Variables independientes .....	35
3.1.2.	Variables dependientes .....	36
3.2.	Delimitación del campo de estudio .....	37
3.2.1.	Obtención de la materia prima.....	37
3.2.2.	Extracción del aceite esencial.....	37
3.2.3.	Análisis cualitativo del aceite esencial .....	37
3.3.	Recursos Humanos disponibles .....	38
3.4.	Recursos materiales disponibles .....	38
3.5.	Técnica cuantitativa o cualitativa .....	40
3.5.1.	Técnica de muestreo .....	41

3.5.2.	Ordenamiento de las muestras: .....	41
3.5.3.	Preparación de muestras .....	43
3.5.4.	Escala laboratorio.....	43
3.5.5.	Escala planta piloto .....	43
3.5.6.	Métodos y modelos de los datos según tipo de variables.....	44
3.5.6.1.	Extracción de aceite esencial de las hojas de limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> T.) a escala laboratorio.....	44
3.5.6.2.	Extracción del aceite esencial de las hojas del limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> T.) a escala planta piloto. ....	45
3.5.6.3.	Determinación del porcentaje de rendimiento de las muestras recuperadas del aceite esencial de las hojas y flavedo del fruto del limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> T.) de las tres procedencias, a escala laboratorio.....	46
3.5.6.4.	Determinación del porcentaje de rendimiento de las muestras recuperadas del aceite esencial de las hojas y flavedo del fruto del limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> T.) de las tres procedencias, a planta piloto.....	47
3.5.6.5.	Determinación de la densidad del aceite esencial obtenido de las hojas y flavedo del fruto de limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> T.) de las tres	

	procedencias; a escala planta piloto y escala laboratorio.....	47
3.5.6.6.	Determinación experimental del índice de refracción del aceite esencial obtenido de las hojas y flavedo del fruto del limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> T.) de las tres procedencias, a escala planta piloto y escala laboratorio.....	48
3.5.6.7.	Determinación de los componentes activos del aceite esencial obtenido de las hojas y flavedo del fruto del limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> ( <i>Citrus latifolia</i> T.) de las tres procedencias, a escala planta piloto y escala laboratorio, por medio de cromatografía gaseosa. ....	49
3.5.6.8.	Programas por utilizar para el análisis de datos. ....	49
3.6.	Recolección y ordenamiento de la información .....	50
3.7.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información .....	72
3.8.	Análisis estadístico .....	81
3.8.1.	Media muestral .....	81
3.8.2.	Varianza .....	82
3.8.3.	Desviación estándar .....	82
3.8.4.	Análisis de varianza .....	83

4.	RESULTADOS.....	109
4.1.	Extracción del aceite esencial de limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka), en función del segmento de la planta utilizando el método de hidrodestilación, a escala laboratorio. ....	109
4.2.	Extracción del aceite esencial de limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka), en función del segmento de la planta utilizando el método de arrastre con vapor directo, a escala planta piloto. ....	117
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS .....	125
	CONCLUSIONES.....	135
	RECOMENDACIONES .....	137
	BIBLIOGRAFÍA.....	139
	APÉNDICES.....	145
	ANEXOS.....	155

# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1.	Monoterpenos y sesquiterpenos naturales.....	7
2.	Biosíntesis del ácido mevalónico. ....	9
3.	Biogénesis de las unidades isoprénicas básicas: Isopentenilpirofosfato (IPP) y $\gamma,\gamma$ -Dimetilalilpirofosfato (DMAPP). ....	10
4.	Formación biogenética de los terpenoides a partir de IPP Y DMAPP.....	11
5.	Esquema de Neoclevenger para el proceso de hidrodestilación a escala laboratorio. ....	16
6.	Limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka).....	24
7.	Partes del fruto cítrico. ....	25
8.	Partes de la hoja. ....	27
9.	Árbol de limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka) dos meses después de trasplante. ....	31
10.	Recolección de limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka).....	33
11.	Rendimiento extractivo del aceite esencial, a escala laboratorio. ....	110
12.	Densidad del aceite esencial extraído a escala laboratorio.....	111
13.	Índice de refracción del aceite esencial extraído a escala laboratorio... ..	112
14.	pH del aceite esencial extraído a escala laboratorio. ....	113
15.	Rendimiento extractivo del aceite esencial, a escala planta piloto.....	118
16.	Densidad del aceite esencial extraído a escala planta piloto. ....	119
17.	Índice de refracción del aceite esencial extraído a escala planta piloto.....	120
18.	pH del aceite esencial extraído a escala planta piloto.....	121

## TABLAS

I.	Parte de la planta utilizada para la obtención del aceite esencial.....	4
II.	Esquema global de la composición química de un aceite esencial.....	6
III.	Variables independientes para el proceso de extracción por arrastre con vapor en la planta piloto. ....	35
IV.	Variables dependientes para el proceso de extracción por arrastre de vapor e hidrodestilación. ....	36
V.	Materia prima y reactivos.....	38
VI.	Cristalería y equipo.....	39
VII.	Recursos generales.....	40
VIII.	Organización de las muestras para la extracción del aceite esencial de las hojas y flavedo del limón persa. ....	42
IX.	Rendimiento extractivo del aceite esencial, obtenido del flavedo del limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka) a escala laboratorio. ....	50
X.	Rendimiento extractivo del aceite esencial, obtenido de las hojas del limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka) a escala laboratorio.....	51
XI.	Rendimiento extractivo del aceite esencial, obtenido del flavedo del limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka) a escala planta piloto. ....	51
XII.	Rendimiento extractivo del aceite esencial, obtenido de las hojas del limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka) a escala planta piloto. ....	52
XIII.	Densidad del aceite esencial, obtenido del flavedo del limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka) a escala laboratorio.....	53
XIV.	Densidad del aceite esencial, obtenido de las hojas del limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka) a escala laboratorio.....	54

XV.	Densidad del aceite esencial, obtenido del flavedo del limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka) a escala piloto. ....	55
XVI.	Densidad del aceite esencial, obtenido de las hojas del limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka) a escala piloto.....	56
XVII.	Índice de refracción del aceite esencial, obtenido del flavedo del limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka) a escala laboratorio.....	57
XVIII.	Índice de refracción del aceite esencial, obtenido de las hojas del limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka) a escala laboratorio.....	57
XIX.	Índice de refracción del aceite esencial, obtenido del flavedo del limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka) a escala planta piloto. ....	58
XX.	Índice de refracción del aceite esencial, obtenido de las hojas del limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka) a escala planta piloto. ....	58
XXI.	pH del aceite esencial obtenido del flavedo del limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka) a escala laboratorio.....	59
XXII.	pH del aceite esencial obtenido de las hojas del limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka) a escala laboratorio. ....	59
XXIII.	pH del aceite esencial obtenido del flavedo del limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka) a escala laboratorio.....	59
XXIV.	pH del aceite esencial obtenido de las hojas del limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka) a escala planta piloto.....	60
XXV.	Composición química del aceite esencial, obtenido del flavedo del limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka.) proveniente de Suchitepéquez a escala laboratorio obtenida por GC-MS. ....	60
XXVI.	Composición química del aceite esencial, obtenido del flavedo del limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka) proveniente de Santa Rosa a escala laboratorio obtenida por GC-MS. ....	61
XXVII.	Composición química del aceite esencial, obtenido del flavedo del limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka.) proveniente de Escuintla a escala laboratorio obtenida por GC-MS. ....	62

XXVIII.	Composición química del aceite esencial, obtenido de las hojas del limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka) proveniente de Suchitepéquez a escala laboratorio obtenida por GC-MS. ....	63
XXIX.	Composición química del aceite esencial, obtenido de las hojas del limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka) proveniente de Santa Rosa a escala laboratorio obtenida por GC-MS. ....	64
XXX.	Composición química del aceite esencial, obtenido de las hojas del limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka) proveniente de Escuintla a escala laboratorio obtenida por GC-MS.....	65
XXXI.	Composición química del aceite esencial, obtenido del flavedo del limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka) proveniente de Suchitepéquez a escala planta piloto obtenida por GC-MS.....	66
XXXII.	Composición química del aceite esencial, obtenido del flavedo del limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka) proveniente de Santa Rosa a escala planta piloto obtenida por GC-MS.....	67
XXXIII.	Composición química del aceite esencial, obtenido del flavedo del limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka) proveniente de Escuintla a escala planta piloto obtenida por GC-MS. ....	68
XXXIV.	Composición química del aceite esencial, obtenido de las hojas del limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka) proveniente de Suchitepéquez a escala planta piloto obtenida por GC-MS.....	69
XXXV.	Composición química del aceite esencial, obtenido de las hojas del limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka) proveniente de Santa Rosa a escala planta piloto obtenida por GC-MS.....	70
XXXVI.	Composición química del aceite esencial, obtenido de las hojas del limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka) proveniente de Escuintla a escala planta piloto obtenida por GC-MS. ....	71
XXXVII.	Rendimiento extractivo del aceite esencial, obtenido del flavedo del limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka) a escala laboratorio. ....	72

XXXVIII.	Rendimiento extractivo del aceite esencial, obtenido de las hojas del limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka) a escala laboratorio.....	73
XXXIX.	Rendimiento extractivo del aceite esencial, obtenido del flavedo del limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka) a escala planta piloto. ....	73
XL.	Rendimiento extractivo del aceite esencial, obtenido del flavedo del limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka) a escala planta piloto. ....	74
XLI.	Rendimiento extractivo del aceite esencial, obtenido de las hojas del limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka) a escala planta piloto. ....	74
XLII.	Densidad del aceite esencial, obtenido del flavedo del limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka) a escala laboratorio. ....	75
XLIII.	Densidad del aceite esencial, obtenido de las hojas del limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka) a escala laboratorio. ....	75
XLIV.	Densidad del aceite esencial, obtenido del flavedo del limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka) a escala planta piloto.....	76
XLV.	Densidad del aceite esencial, obtenido de las hojas del limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka) a escala planta piloto.....	76
XLVI.	Índice de refracción del aceite esencial, obtenido del flavedo del limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka) a escala laboratorio.....	77
XLVII.	Índice de refracción del aceite esencial, obtenido de las hojas del limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka) a escala laboratorio.....	77
XLVIII.	Índice de refracción del aceite esencial, obtenido del flavedo del limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka) a escala planta piloto. ....	78
XLIX.	Índice de refracción del aceite esencial, obtenido de las hojas del limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka) a escala planta piloto. ....	78
L.	pH del aceite esencial, obtenido del flavedo del limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka) a escala laboratorio. ....	79
LI.	pH del aceite esencial, obtenido de las hojas del limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka) a escala laboratorio. ....	79

LII.	pH del aceite esencial, obtenido del flavedo del limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka) a escala planta piloto. ....	80
LIII.	pH del aceite esencial, obtenido de las hojas del limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka) a escala planta piloto. ....	80
LIV.	Experimento de un factor para el rendimiento del aceite esencial de limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka) obtenido del fruto a escala laboratorio en función de la procedencia. ....	84
LV.	Análisis de varianza de un factor para el rendimiento del aceite esencial de limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka) obtenido del fruto a escala laboratorio en función de la procedencia. ....	85
LVI.	Experimento de un factor para el rendimiento del aceite esencial de limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka) obtenido de las hojas a escala laboratorio en función de la procedencia. ....	85
LVII.	Análisis de varianza de un factor para el rendimiento del aceite esencial de limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka) obtenido de las hojas a escala laboratorio en función de la procedencia. ....	86
LVIII.	Experimento de un factor para el rendimiento del aceite esencial de limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka) obtenido del fruto a escala planta piloto en función de la procedencia. ....	86
LIX.	Análisis de varianza de un factor para el rendimiento del aceite esencial de limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka) obtenido del fruto a escala planta piloto en función de la procedencia. ....	87
LX.	Experimento de un factor para el rendimiento del aceite esencial de limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka) obtenido de las hojas a escala planta piloto en función de la procedencia. ....	87
LXI.	Análisis de varianza de un factor para el rendimiento del aceite esencial de limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka) obtenido de las hojas a escala planta piloto en función de la procedencia. ....	88

LXII.	Experimento de un factor para el rendimiento del aceite esencial de limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka) a escala laboratorio en función de las partes de la planta.....	88
LXIII.	Análisis de varianza de un factor para el rendimiento del aceite esencial de limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka) a escala laboratorio en función de las partes de la planta.....	89
LXIV.	Experimento de un factor para el rendimiento del aceite esencial de limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka) a escala planta piloto en función de las partes de la planta.....	89
LXV.	Análisis de varianza de un factor para el rendimiento del aceite esencial de limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka) a escala planta piloto en función de las partes de la planta. ....	90
LXVI.	Experimento de un factor para el rendimiento del aceite esencial de limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka) obtenido del fruto en función de la escala: planta piloto y laboratorio.....	90
LXVII.	Análisis de varianza de un factor para el rendimiento del aceite esencial de limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka) obtenido del fruto en función de la escala: planta piloto y laboratorio.....	91
LXVIII.	Experimento de un factor para el rendimiento del aceite esencial de limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka) obtenido de las hojas en función de la escala: planta piloto y laboratorio.....	91
LXIX.	Análisis de varianza de un factor para el rendimiento del aceite esencial de limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka) obtenido de las hojas en función de la escala: planta piloto y laboratorio. ....	92
LXX.	Experimento de un factor para la densidad del aceite esencial de limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka) obtenido del fruto a escala laboratorio en función de la procedencia. ....	92

LXXI.	Análisis de varianza de un factor para la densidad del aceite esencial de limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka) obtenido del fruto a escala laboratorio en función de la procedencia.....	93
LXXII.	Experimento de un factor para la densidad del aceite esencial de limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka) obtenido de las hojas a escala laboratorio en función de la procedencia.....	93
LXXIII.	Análisis de varianza de un factor para la densidad del aceite esencial de limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka) obtenido de las hojas a escala laboratorio en función de la procedencia. ....	94
LXXIV.	Experimento de un factor para la densidad del aceite esencial de limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka) obtenido del fruto a escala planta piloto en función de la procedencia.....	94
LXXV.	Análisis de varianza de un factor para la densidad del aceite esencial de limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka) obtenido del fruto a escala planta piloto en función de la procedencia. ....	95
LXXVI.	Experimento de un factor para la densidad del aceite esencial de limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka) obtenido de las hojas a escala planta piloto en función de la procedencia. ....	95
LXXVII.	Análisis de varianza de un factor para la densidad del aceite esencial de limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka) obtenido de las hojas a escala planta piloto en función de la procedencia.....	96
LXXVIII.	Experimento de un factor para la densidad del aceite esencial de limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka) a escala laboratorio en función de las partes de la planta. ....	96
LXXIX.	Análisis de varianza de un factor para la densidad del aceite esencial de limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka) a escala laboratorio en función de las partes de la planta. ....	97

LXXX.	Experimento de un factor para la densidad del aceite esencial de limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka) a escala planta piloto en función de las partes de la planta. ....	97
LXXXI.	Análisis de varianza de un factor para la densidad del aceite esencial de limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka) a escala planta piloto en función de las partes de la planta. ....	98
LXXXII.	Experimento de un factor para la densidad del aceite esencial de limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka) obtenido del fruto en función de la escala: planta piloto y laboratorio. ....	98
LXXXIII.	Análisis de varianza de un factor para la densidad del aceite esencial de limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka) obtenido del fruto en función de la escala: planta piloto y laboratorio. ....	99
LXXXIV.	Experimento de un factor para la densidad del aceite esencial de limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka) obtenido de las hojas en función de la escala: planta piloto y laboratorio. ....	99
LXXXV.	Análisis de varianza de un factor para la densidad del aceite esencial de limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka) obtenido de las hojas en función de la escala: planta piloto y laboratorio. ....	100
LXXXVI.	Experimento de un factor para el índice de refracción del aceite esencial de limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka) obtenido del fruto a escala laboratorio en función de la procedencia. ....	100
LXXXVII.	Análisis de varianza de un factor el índice de refracción del aceite esencial de limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka) obtenido del fruto a escala laboratorio en función de la procedencia. ....	101
LXXXVIII.	Experimento de un factor para el índice de refracción del aceite esencial de limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka) obtenido de las hojas a escala laboratorio en función de la procedencia. ....	101

LXXXIX.	Análisis de varianza de un factor para el índice de refracción del aceite esencial de limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka) obtenido de las hojas a escala laboratorio en función de la procedencia.....	102
XC.	Experimento de un factor para el índice de refracción del aceite esencial de limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka) obtenido del fruto a escala planta piloto en función de la procedencia. ....	102
XCI.	Análisis de varianza de un factor para el índice de refracción del aceite esencial de limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka) obtenido del fruto a escala planta piloto en función de la procedencia. ....	103
XCII.	Experimento de un factor para el índice de refracción del aceite esencial de limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka) obtenido de las hojas a escala planta piloto en función de la procedencia.....	103
XCIII.	Análisis de varianza de un factor para el índice de refracción del aceite esencial de limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka) obtenido de las hojas a escala planta piloto en función de la procedencia. ...	104
XCIV.	Experimento de un factor para el índice de refracción del aceite esencial de limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka) obtenido de las hojas a escala laboratorio en función de la procedencia. ....	104
XCV.	Análisis de varianza de un factor para el índice de refracción del aceite esencial de limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka) a escala laboratorio en función de las partes de la planta. ....	105
XCVI.	Experimento de un factor para el índice de refracción del aceite esencial de limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka) a escala planta piloto en función de las partes de la planta.....	105
XCVII.	Análisis de varianza de un factor para el índice de refracción del aceite esencial de limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka) a escala planta piloto en función de las partes de la planta. ....	106

XCVIII.	Experimento de un factor para el índice de refracción del aceite esencial de limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka) obtenido del fruto en función de la escala: planta piloto y laboratorio. ....	106
XCIX.	Análisis de varianza de un factor para el índice de refracción del aceite esencial de limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka) obtenido del fruto en función de la escala: planta piloto y laboratorio.....	107
C.	Experimento de un factor para el índice de refracción del aceite esencial de limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka) obtenido de las hojas en función de la escala: planta piloto y laboratorio. ....	107
CI.	Análisis de varianza de un factor para el índice de refracción del aceite esencial de limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka) obtenido de las hojas en función de la escala: planta piloto y laboratorio. ....	108
CII.	Rendimiento extractivo del aceite esencial limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka) obtenido a escala laboratorio. ....	109
CIII.	Densidad del aceite esencial del limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka) extraído a escala laboratorio.....	110
CIV.	Índice de refracción del aceite esencial del limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka) extraído a escala laboratorio.....	111
CV.	pH del aceite esencial del limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka) extraído a escala laboratorio.....	112
CVI.	Componentes químicos mayoritarios del aceite esencial obtenido del flavedo de limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka) de Suchitepéquez extraído a escala laboratorio .....	113
CVII.	Componentes químicos mayoritarios del aceite esencial, obtenido del flavedo del limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka) proveniente de Santa Rosa a escala laboratorio. ....	114
CVIII.	Componentes químicos mayoritarios del aceite esencial, obtenido del flavedo del limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka) proveniente de Escuintla a escala laboratorio.....	115

CIX.	Componentes químicos mayoritarios del aceite esencial, obtenido de las hojas del limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka) proveniente de Suchitepéquez a escala laboratorio. ....	115
CX.	Componentes químicos mayoritarios del aceite esencial, obtenido de las hojas del limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka) proveniente de Santa Rosa a escala laboratorio .....	116
CXI.	Componentes químicos mayoritarios del aceite esencial, obtenido de las hojas del limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka) proveniente de Escuintla a escala laboratorio. ....	116
CXII.	Rendimiento extractivo del aceite esencial limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka) obtenido a escala planta piloto. ....	117
CXIII.	Densidad del aceite esencial del limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka) extraído a escala planta piloto. ....	118
CXIV.	Índice de refracción del aceite esencial del limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka) extraído a escala planta piloto. ....	119
CXV.	pH del aceite esencial del limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka) extraído a escala planta piloto. ....	120
CXVI.	Componentes químicos mayoritarios del aceite esencial, obtenido del flavedo del limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka) proveniente de Suchitepéquez a escala planta piloto.....	121
CXVII.	Componente químicos mayoritarios del aceite esencial, obtenido del flavedo del limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka) proveniente de Santa Rosa a escala planta piloto. ....	122
CXVIII.	Componentes químicos mayoritarios del aceite esencial, obtenido del flavedo del limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka) proveniente de Escuintla a escala planta piloto. ....	122
CXIX.	Componentes químicos mayoritarios del aceite esencial, obtenido de las hojas del limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka) proveniente de Suchitepéquez a escala planta piloto.....	123

CXX.	Componentes químicos mayoritarios del aceite esencial, obtenido de las hojas del limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka) proveniente de Santa Rosa a escala planta piloto.....	123
CXXI.	Componentes químicos mayoritarios del aceite esencial, obtenido de las hojas del limón persa ( <i>Citrus latifolia</i> Tanaka) proveniente de Escuintla a escala planta piloto. ....	124



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
$\rho$	Densidad (g/mL)
$\sigma$	Desviación estándar
$^{\circ}\text{C}$	Grado Celsius
<b>g</b>	Gramos
<b>kg</b>	Kilogramo
<b>mL</b>	Mililitros
<b>min</b>	Minutos
<b>%</b>	Porcentaje
<b>t</b>	Tiempo



## GLOSARIO

<b>Alcohol</b>	Compuesto orgánico que contiene radicales hidroxilos (-OH) como grupos funcionales el cual les provee sus propiedades características.
<b>Aldehído</b>	Compuestos orgánicos constituidos por un grupo alquilo y un átomo de hidrogeno que se enlaza al grupo carbonilo.
<b>ANOVA</b>	Modelo estadístico utilizado para analizar las diferencias entre los medios del grupo en una muestra.
<b>Cetona</b>	Compuesto orgánico constituido por dos grupos alquilo enlazados al grupo carbonilo.
<b>Cromatograma</b>	Informe que muestra en forma de conjunto de picos y líneas base, el resultado de los compuestos eluidos que son transportados por la fase móvil a un detector en el cromatógrafo.
<b>Decantación</b>	Método de separación física de mezclas heterogéneas basado en la diferencia de densidades que constituyen a dicha mezcla.

<b>Hidrocarburo</b>	Son sustancias constituidas principalmente por átomos de carbono e hidrógeno. La mayoría son obtenidas por la transformación del petróleo.
<b>Neoclevenger</b>	Es un aparato utilizado para la extracción de aceites esenciales basado en el principio fisicoquímico de hidrodestilación.
<b>Número CAS</b>	Es un número de registro de identificación numérica única para los compuestos químicos, establecido por la Sociedad Americana de Química.
<b>Quimiotipo</b>	Es la variación en la composición química del aceite esencial, incluso dentro de la misma especie.

## RESUMEN

En la presente investigación se realizó la evaluación del rendimiento extractivo y caracterización fisicoquímica, como pH, índice de refracción, densidad y composición química del aceite esencial del limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) obtenido del flavedo del fruto y hojas de la planta, mediante el método de hidrodestilación a escala laboratorio y con arrastre por vapor directo a escala planta piloto para tres procedencias diferentes.

Para obtener el aceite esencial de limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka), se utilizó materia prima proveniente de Escuintla, Santa Rosa y Suchitepéquez. Para la fase experimental a escala laboratorio, el flavedo del fruto se mondó y se recortó en tamaños de 0,5 cm; las hojas se limpiaron y deshidrataron hasta garantizar una humedad menor al 10%. El método utilizado fue el de hidrodestilación con una relación materia prima/solvente, 1:15, utilizando 50 g de muestra y mezclada con 750 mL de agua desmineralizada. El tiempo de extracción utilizado fue de 4 horas; finalmente, el aceite se extrajo mediante decantación.

Para la escala planta piloto, las hojas se trabajaron en fresco reduciendo su tamaño, y al fruto se le extrajo el jugo y la cáscara se redujo de tamaño. Se utilizaron 3 kg de hojas y 5 kg de flavedo del fruto. El material fue colocado en la unidad y mediante la utilización de una trampa de hexano el sistema se expuso a 4 horas de extracción, finalmente el aceite se decantó y separó del solvente de captura mediante el equipo de rotaevaporación.

Se realizaron 3 repeticiones para cada departamento, con base en las hojas flavedo del fruto, y escala de operación para dar un total de 36 tratamientos.

Se determinó que existe diferencia significativa para el rendimiento extractivo del aceite esencial de limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) en función de las partes de la planta (flavedo y hojas); escala (laboratorio y planta piloto) y de las hojas y frutos a ambas escalas en función de la procedencia, a excepción del rendimiento del aceite esencial obtenido de las hojas a escala planta piloto.

Se determinó que, de acuerdo con las características fisicoquímicas, se determinó que existe diferencia significativa para la densidad del aceite esencial de limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) en función de las partes de la planta (flavedo y hojas) y para el fruto en función de la escala, mientras que no existe diferencia significativa para la densidad del aceite esencial de las hojas y fruto obtenidos a escala laboratorio y planta piloto en función de la procedencia y para el aceite esencial obtenido de las hojas en función de la escala.

De acuerdo con el índice de refracción, se determinó que existe diferencia significativa para el aceite esencial de limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) obtenido de las hojas a ambas escalas en función de la procedencia; para la escala laboratorio en función de las partes de la planta y para el aceite esencial obtenido de las hojas en función de la escala, mientras que no existe diferencia significativa para el índice de refracción del aceite esencial del fruto a ambas escalas en función de la procedencia; para la escala planta piloto en función de las partes de la planta y para el fruto en función de la escala.

Mediante el análisis químico de cromatografía gaseosa con acoplamiento a espectrometría de masas, se determinó que los componentes químicos para los aceites esenciales extraídos a escala laboratorio y planta piloto presentaron quimiotipos diferentes, siendo los componentes mayoritarios, n-Octilfenil cetona, 1,2,4- Triazina y Alcohol 3-metoxibencílico, Heneicosano, ácido bromhídrico y selenometionina, octacosano, hexano, y ácido vanílico, 2-Pentalenol, octatrienoy 3-Hidroxipiridina.

Las condiciones a las cuales se trabajó son a presión atmosférica en Guatemala de 640 mmHg, a temperatura de 24-27 °C.



## OBJETIVOS

### General

Extraer y caracterizar fisicoquímicamente el aceite esencial obtenido de las hojas y flavedo del fruto del limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) a escala laboratorio y a escala planta piloto.

### Específicos

1. Evaluar el rendimiento del aceite esencial del limón persa en función de la parte de la planta donde fue extraído: hojas y flavedo.
2. Evaluar el rendimiento del aceite esencial del limón persa en función de las escalas de operación: planta piloto y laboratorio.
3. Evaluar el rendimiento del aceite esencial del limón persa en función de la procedencia de la materia prima.
4. Realizar la caracterización fisicoquímica del aceite esencial del limón persa obtenido en función de la parte de la planta de donde es extraído: flavedo y hojas.
5. Realizar la caracterización fisicoquímica del aceite esencial del limón persa en función de la procedencia de la planta.

6. Realizar la caracterización fisicoquímica del rendimiento del aceite esencial del limón persa en función de las escalas de operación: planta piloto y laboratorio.

## **Hipótesis**

Es factible realizar el proceso extractivo del aceite esencial de limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) de las hojas y flavedo para realizar los análisis como sus características fisicoquímicas y composición química.

## **Hipótesis nula**

Ho<sub>1</sub>: No existe diferencia significativa en el rendimiento extractivo del aceite esencial del limón persa en función de las partes de la planta donde es extraído: flavedo y hojas.

Ho<sub>2</sub>: No existe diferencia significativa en el rendimiento extractivo del aceite esencial del limón persa en función de las escalas de operación: laboratorio y planta piloto.

Ho<sub>3</sub>: No existe diferencia significativa en el rendimiento extractivo del aceite esencial de limón persa en función de la procedencia.

Ho<sub>4</sub>: No existe diferencia significativa de las características fisicoquímicas (densidad, índice de refracción y composición del aceite) varían significativamente en función de las partes de la planta: flavedo y hojas.

Ho<sub>5</sub>: No existe diferencia significativa de las características fisicoquímicas (densidad, índice de refracción y composición del aceite) en función de la procedencia del fruto.

### **Hipótesis alternativa**

Hi<sub>1</sub>: Existe diferencia significativa en el rendimiento extractivo del aceite esencial del limón persa en función de las partes de la planta donde es extraído: flavedo y hojas.

Hi<sub>2</sub>: Existe diferencia significativa en el rendimiento extractivo del aceite esencial del limón persa en función de las escalas de operación: laboratorio y planta piloto.

Hi<sub>3</sub>: Existe diferencia significativa en el rendimiento extractivo del aceite esencial de limón persa en función de la procedencia.

Hi<sub>4</sub>: Existe diferencia significativa de las características fisicoquímicas (densidad, índice de refracción y composición del aceite) varían significativamente en función de las partes de la planta: flavedo y hojas.

Hi<sub>5</sub>: Existe diferencia significativa de las características fisicoquímicas (densidad, índice de refracción y composición del aceite) en función de la procedencia del fruto.



## INTRODUCCIÓN

El limón persa, (*Citrus latifolia* Tanaka), pertenece a la familia de las rutáceas, es considerado como un híbrido entre *Citrus Aurantifolia* Swingle con algún otro Citrus especie. Se desarrolla en áreas tropicales y subtropicales; en Guatemala se cultiva desde el nivel del mar hasta los 1500 metros de altitud. Las zonas con mayor excelencia en producción son la planicie Costera del Pacífico, Meseta Central, Zona Cafetalera, Bosque espinoso Zona Oriental, Cuenca del Polochic y otras con las condiciones climáticas semejantes.

Su pulpa es de color entre verde y amarillo y carece de semillas o tiene muy pocas. Está constituida de tres partes bien diferenciadas: el delgado y suave flavedo o cáscara, el cual contiene una abundante cantidad de glándulas embebidas del aceite esencial; el albedo que es la parte intermedia adherida a la anterior, que es de color blanquecina y esponjosa y, finalmente, su interior denominado endocarpio, el cual está constituido por varios segmentos o gajos que contiene las vesículas repletas de zumo, además, posee un aroma especial que lo hace atractivo para usos culinarios.

Los aceites esenciales son líquidos volátiles, insolubles en agua, pero fácilmente solubles en alcohol, grasas, ceras y aceites vegetales. La constitución mayoritariamente de estos aceites son los compuestos terpénicos, particularmente monoterpenos y los sesquiterpenos. El aceite esencial del limón persa contiene como componente mayoritario el d-limoneno.

En la actualidad, tanto en el ámbito internacional como en el nacional este cítrico ha mostrado una creciente demanda como producto de exportación en

fresco. Sin embargo, no han sido aprovechados los desechos de este cuando se utiliza como materia prima para consumo en fresco y uso industrial. Por lo tanto, surge este trabajo con el propósito de utilizar las partes de la fruta (hojas y flavedo) para extraer por medio de hidrodestilación y por medio de destilación por arrastre con vapor, el aceite esencial para darle un valor agregado y seguimiento para aplicaciones futuras.

## 1. ANTECEDENTES

Existe una variedad de estudios enfocados en la obtención del aceite esencial y en la evaluación de las propiedades que presenta el limón persa dada su versatilidad para aplicarlo en la industria farmacéutica, cosmética y alimentaria. Un estudio llevado a cabo por Ana Cristina Atti-Santos, Marcelo Rossato, Luciana Atti Serafini, Eduardo Casset y Patrick Moyna, apoyado por la Universidad de Caxias do Sul, Pontificia Universidad Católica de Rio Grande do Sul y Secretaría de Estado de Ciencia y Tecnología - RS. (2005) centra su interés en la extracción del aceite esencial del limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) utilizando dióxido de carbono supercrítico e hidrodestilación con el propósito de evaluar los rendimientos obtenidos por ambos métodos, ya que los aceites obtenidos por destilación se deterioran fácilmente y desarrollan malos sabores debido a la inestabilidad de los compuestos terpénicos presentes, particularmente el limoneno.<sup>1</sup>

Los investigadores Carolina Neto Rangel, Lucia María Jaeger de Carvalho, Renata BorchettaFernandes Fonseca, Antonio Gomes Soares y Edgar Oliveira de Jesús (2011) realizaron un estudio en la Sociedad Brasileña de Ciencia y Tecnología de alimentos. Esta investigación consiste en analizar la composición nutricional del jugo extraído del limón persa (*Citrus latifolia* T.) ya que se utiliza como fruta fresca o como jugo para aumentar el sabor de las bebidas, por lo tanto, este estudio evalúa si existen diferencias importantes entre los producidos convencionalmente.

---

<sup>1</sup>YAMAUCHI, Y. and SATO, M. *Fractionation of lemon-peel oil by semi-preparative supercritical fluid chromatography*. p. 237

El Fondo Nacional de Ciencia y Tecnología (FODECYT), llevó a cabo un estudio sobre la optimización de variables de proceso de extracción de aceites esenciales a nivel industrial de cinco especies de cítricos: limón persa (*Citrus latifolia*), limón criollo (*Citrus aurantifolia*), naranja valencia (*Citrus sinensis*), mandarina (*Citrus reticulata*) y naranja Washington (*Citrus sp*). Este estudio fue realizado por los Ingenieros Químicos José Eduardo Calderón García, Cesar Alfonso García Guerra y Ramón Benjamín PiedrasantaBatz. (1998).

El trabajo de graduación de Carmen Juan Andrés, denominado *Estudio de factibilidad de la extracción del aceite esencial del epicarpio de limón persa (Citrus latifolia, Tanaka), a escala laboratorio y escala planta piloto, realizado en el centro de investigaciones de ingeniería, Usac (2004)*. Este estudio enfoca el aceite esencial del limón persa como función de los rendimientos mediante los procesos extractivos.

## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Aceites esenciales**

Se considera que los aceites esenciales son fracciones líquidas volátiles insolubles en agua, pero presentan una solubilidad relativamente mayor en solvente no polares, como en alcohol, éter, aceites vegetales y minerales. Estos no están relacionados con ácidos grasos por lo que no se enrancian. Presentan composiciones químicas complejas que les otorgan propiedades odoríferas. La mayoría están constituidos por hidrocarburos terpénicos, terpenos oxigenados y sesquiterpenos que poseen presiones de vapor altas (alta volatilidad), con densidad relativamente baja (aunque hay excepciones) y son los responsables de brindarle las propiedades y características particulares a los aceites esenciales.

Los aceites esenciales son metabolitos secundarios de las plantas. Cumplen un papel importante en las interacciones ecológicas de una planta y su entorno. El aceite producido por la planta se distribuye en distintos órganos de esta confinándose en el tejido al cual se le denomina micela. Son parte de la estructura celular y con una consistencia rígida. La extracción del aceite esencial se efectúa utilizando la planta en su totalidad o por segmentos como hojas, flores, frutos o raíces, dependiendo del tipo de planta que se esté tratando. Así, para la albahaca, hierbabuena, menta, romero o salvia se utilizan las hojas, mientras que para la angélica, valeriana o vetiver se usan las raíces; los frutos, para pimienta y nuez moscada. Para el anís, comino e hinojo se usan las semillas y las flores, para la rosa, manzanilla o lavanda. En la tabla I. se

adjunta algunos ejemplos de las partes de las plantas utilizadas para obtener aceite esencial.

Existen millones de plantas en el planeta, de las cuales solo se encuentra identificados alrededor de 4000 aceites esenciales distintos; sin embargo, no todas las plantas contienen aceites esenciales y si los contienen están presentes en cantidades considerablemente bajas para extraerse por medios prácticos. Se estima que para los aceites esenciales extraíbles se encuentran en cantidades bajas entre el 1-3% de material lo cual los convierte en productos de alto valor, dado que tienen un sinnúmero de aplicaciones dadas sus propiedades.<sup>2</sup>

Tabla I. **Parte de la planta utilizada para la obtención del aceite esencial**

<b>Aceite esencial</b>	<b>Parte de la planta utilizada</b>
Ciprés, jara	Ramas
Lavanda, lavandín	Sumidades floridas
Menta, hierba limón, eneldo	Planta entera
Geranio, petitgrain	Hojas
Neroli, rosa, ylang y lang	Flor
Limón, naranja, mandarina	Flavedo (capa externa del fruto)
Romero, tomillo, ajedrea, mejorana	Planta entera con flor
Melisa	Planta fresca
Abeto de Siberia	Acículas
Manzanilla	Flor seca
Canela	Corteza
Cedro	Madera
Lima	Fruto entero
Clavo	Botones florales
Vetiver	Raíz
Mostaza	semillas

Fuente: elaboración propia.

<sup>2</sup> ORTUÑO SÁNCHEZ, Manuel Fco. *Manual práctico de aceites esenciales, aroma y perfumes*. p. 7.

## 2.2. Composición química de un aceite esencial

Los aceites esenciales son una mezcla de incontables sustancias que se encuentran en distintas proporciones y que, en conjunto, proporcionan al aceite esencial sus características particulares. Los compuestos mayoritarios son los terpénicos, alcanzando concentraciones del 75% al 90% del peso total del aceite esencial, como los de los cítricos (limón, naranja, lima, mandarina, etc.); sin embargo, los terpenos no son los que le atribuyen a los aceites esenciales sus aromas característicos, ya que estos no presentan propiedades odoríferas, sino que contribuyen muy poco al aroma global del aceite, su resaltada contribución es como diluyente base, proporcionándole las propiedades de inflamabilidad y volatilidad al aceite.<sup>3</sup>

El conjunto restante de sustancias constituye el acorde aromático característico del aceite esencial.

En la tabla II. Se muestra un esquema global generalizado de la composición química de un aceite esencial, donde los hidrocarburos terpénicos constituyen los componentes mayoritarios. Los principales son los monoterpenos y sesquiterpenos los cuales están basados en unidades del isopreno. El resto de las familias químicas constituyen los componentes minoritarios.

---

<sup>3</sup>ORTUÑO SÁNCHEZ, Manuel Fco. *Manual práctico de aceites esenciales, aroma y perfumes.* p. 10.

Tabla II. **Esquema global de la composición química de un aceite esencial**

<b>Familias químicas</b>	<b>Compuestos</b>	<b>Presencia</b>
Hidrocarburos terpénicos	terpenos	Mayoritarios
	terpenoides	
Aldehídos	aldehído benzoico	Minoritarios
	aldehído cinámico	
	Butanal	
	Propanal	
Ácidos	Acético	
	Palmítico	
Alcoholes	Linalol	
	Geraniol	
	Mentol	
Fenoles	Anetol	
	Eugenol	
Esteres	acetato de linalol	
	acetato de geranilo	
Cetona	Tuyona	
Otros	Éteres	
	derivados nitrogenados	
	Sulfuros	
	Tioéteres	
	Tioésteres	

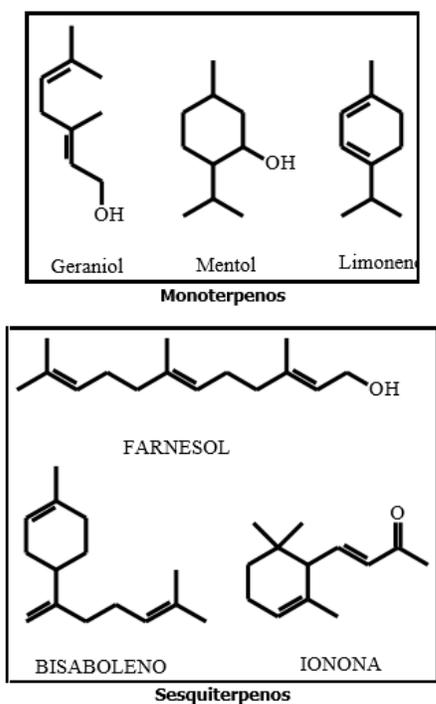
Fuente: elaboración propia.

### 2.3. Monoterpenos y sesquiterpenos

Son terpenos de 10 y 15 átomos de carbono derivados biosintéticamente de geranilpirofosfato (GPP) y farnesilpirofosfato (FPP) respectivamente; estos compuestos constituyen los componentes mayoritarios en los aceites esenciales.<sup>4</sup>

En la figura 1 se muestran algunos ejemplos de monoterpenos y sesquiterpenos naturales.

Figura 1. **Monoterpenos y sesquiterpenos naturales**



Fuente: MARTINEZ, Alejandro, *Aceites Esenciales, Universidad de Antioquia*. p. 4. Consulta: 22 de agosto de 2017.

<sup>4</sup> ADAM, K. P., Zapp, J. *Phytochemistry*. p. 953

## 2.4. Biosíntesis

Los monoterpenos y, en general, los compuestos terpenoides naturales se biosintetizan por la ruta de la acetilcoenzima a través de un intermedio común que es el ácido mevalónico. Sin embargo, recientemente se ha propuesto que algunos terpenoides no se originan por esta ruta, sino por una ruta alterna que puede involucrar piruvato, gliceraldehído-3-fosfato y un intermedio de 5 átomos de carbono: 1-desoxi-xilulosa-5-fosfato.<sup>5</sup>

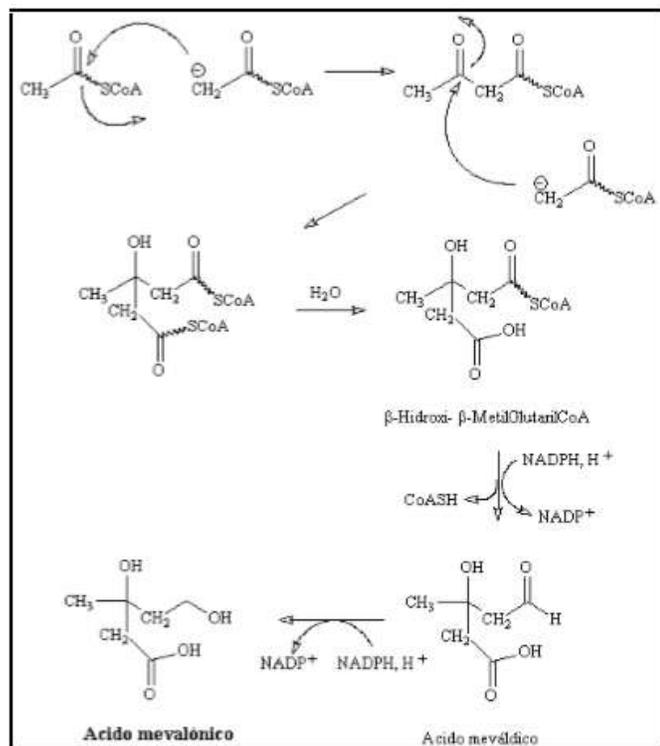
### 2.4.1. Biosíntesis del ácido mevalónico

Este proceso da lugar a la condensación de dos moléculas de acetilCoA, la participación hipotética de una  $\beta$ -cetotiolasa y una enzima condensante. Posteriormente, esta unidad es atacada por otra unidad de acetilCoA la cual ha perdido un H- $\alpha$ . Luego, se da una ruptura por hidrólisis en una de las dos funciones tioéster para producir  $\beta$ -hidroxi- $\beta$ -metilglutarilcoenzima-A. Se desencadena una segunda hidrólisis del otro grupo tioéster y seguida de dos reacciones sucesivas con una reductasa NADPH-dependiente se origina el ácido mevalónico. Este proceso se esquematiza en la figura 2.

---

<sup>5</sup> ADAM, K. P., Zapp, J. *Phytochemistry*. p. 954

Figura 2. **Biosíntesis del ácido mevalónico**



Fuente: MARTINEZ, Alejandro, *Aceites Esenciales. Universidad de Antioquia*. p. 6. Consulta: 22 de agosto de 2017.

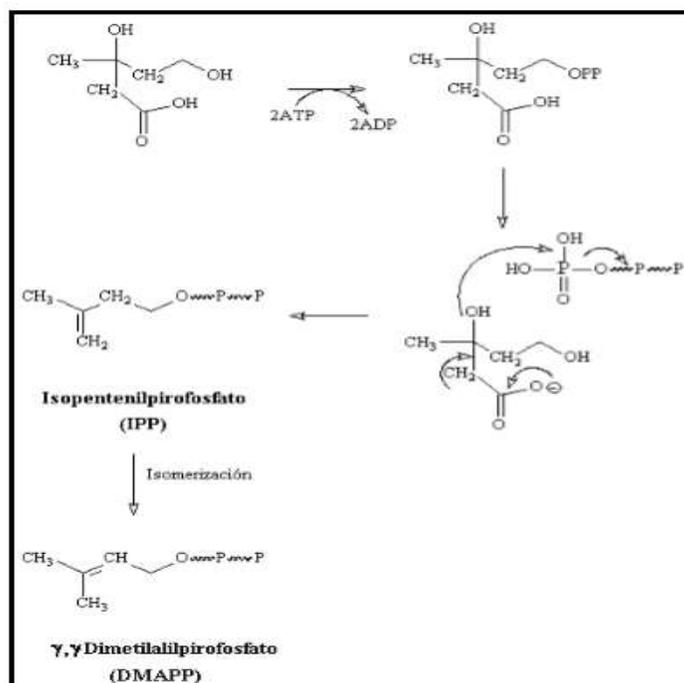
### 2.4.2. Biogénesis de IPP y DMAPP

El ácido mevalónico descrito, ahora es el precursor de las dos unidades básicas subsiguientes, que darán origen a los terpenoides: Isopentenilpirofosfato (IPP) y gama,gama-dimetilalilpirofosfato (DMAPP).

El proceso inicia cuando una molécula de ácido mevalónico es pirofosfatada por dos unidades de ATP para originar mevalonil-pirofosfato. A su vez, dicha molécula sufre un proceso de descarboxilación con la participación de otra molécula de ATP y se obtiene isopentenilpirofosfato (IPP) al

isomerizarse el doble enlace de molécula, da origen a la unidad de DMAPP. El proceso de biogénesis se muestra en la figura 3.

Figura 3. **Biogénesis de las unidades isoprénicas básicas: Isopentenilpirofosfato (IPP) y  $\gamma,\gamma$ -Dimetilalilpirofosfato (DMAPP)**



Fuente: MARTINEZ, Alejandro, *Aceites Esenciales. Universidad de Antioquia*. p. 6. Consulta: 22 de agosto de 2017.

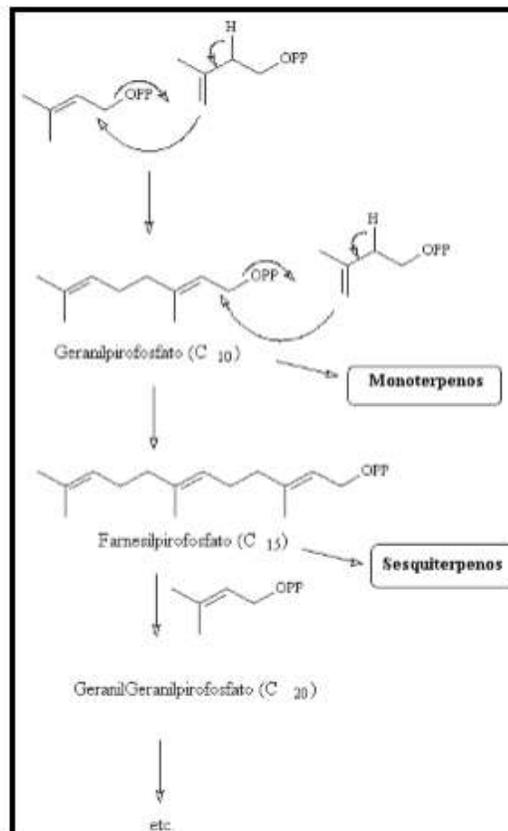
### 2.4.3. Condensación cabeza-cola de IPP Y DMAP

En el proceso de condensación “cabeza-cola” se une una unidad de IPP con muchas unidades de DMAPP, donde la cabeza es la función pirofosfato y la cola el extremo donde están ubicados los metilos. Dicha reacción da lugar a la

formación de una molécula de 10 átomos de carbono, geranilpirofosfato que es el precursor inmediato de todos los monoterpenos naturales.

La condensación de esta molécula con una nueva unidad IPP da origen al farnesilpirofosfato, el cual es el precursor de todos los sesquiterpenos naturales. Este proceso de condensación se esquematiza en la figura 4.

Figura 4. **Formación biogénica de los terpenoides a partir de IPP Y DMAPP**



Fuente: MARTINEZ, Alejandro, *Aceites Esenciales. Universidad de Antioquia*. p. 7. Consulta: 22 de agosto de 2017.

## **2.5. Propiedades físicas**

Los aceites esenciales son líquidos a temperatura ambiente, pero son volátiles, tienen una densidad relativamente menor a la del agua y presentan un índice de refracción elevado. Los aceites esenciales son poco solubles en agua (pero algunos componentes aromáticos del aceite esencial se disuelven en el agua) y solubles en alcoholes, aceites fijos y grasas.

## **2.6. Uso de los aceites esenciales**

Los aceites esenciales se usan ampliamente en las industrias porque poseen propiedades particulares por lo cual son ingredientes sustanciales para la formulación de productos.

### **2.6.1. Industria alimentaria**

En la industria alimentaria se emplea un amplio abanico de esencias y sabores, cuyos ingredientes sustanciales son los aceites esenciales. Se emplean en productos, como bombones, galletas, helados, dulces, golosinas, turrónes, y pasteles; contienen toda una gama de esencias de limón, naranja, mandarina, fresa, menta, anís, vainilla, cola, cacao. Los aceites esenciales también se utilizan para preparar sabores de anchoa, ahumados, caviar, las esencias líquidas que incluyen aceites esenciales de especias para todo tipo de aperitivos, frutos secos, patatas fritas; sabores a pescado, a jamón, vinagreta, productos para encurtidos y conservas.

### **2.6.2. Industria farmacéutica**

Su utilización como medicinas en el tratamiento de gran cantidad de dolencias y enfermedades. Con estos fines se utilizaron desde la antigüedad, pero fueron abandonados a principios del siglo XX con el nacimiento de la química orgánica sintética. Sus propiedades saporíferas se utilizan para modificar el sabor desagradable de medicamentos. Poseen propiedades antisépticas y bactericidas, por lo cual se utilizan contra afecciones de las vías respiratorias y como antiséptico bucal o en pasta dental, para combatir las infecciones urinarias, de la epidermis y en odontología. Por sus propiedades antihelmíntica o antiparasitaria se utilizan en veterinaria. Además, se utilizan como vehículos o coadyuvantes para facilitar la absorción de medicamentos, como antibióticos y alcaloides.

### **2.6.3. Cosméticos**

Esta industria utiliza los aceites esenciales en la producción de jabones, colonias, perfumes, cremas, talcos, y maquillaje. Entre los aceites esenciales empleados en este campo están la lavanda, rosas, pinabete, eucalipto, citronela, bergamota, vetiver y pachuli.

### **2.6.4. Desodorantes industriales**

En la actualidad, se usan esencias para reducir, enmascarar o eliminar el olor desagradable de algunos productos industriales, como el caucho, los plásticos y las pinturas. La industria de las pinturas emplea limoneno como disolvente biodegradable.

## **2.7. Métodos de extracción de aceites esenciales**

Existen varios métodos de extracción de aceites esenciales entre los cuales se pueden mencionar:

- Destilación por arrastre con vapor directo
- Hidrodestilación
- Expresión en frío
- *Enflorage*
- Extracción con solventes
- Extracción con fluidos supercríticos

### **2.7.1. Destilación por arrastre de vapor**

En este proceso se inyecta vapor de agua directamente en el seno de la mezcla para condensar el componente volátil y formar una fase inmiscible que cederá su calor latente a la mezcla por destilar para que se evapore. La mezcla obtenida generará un sistema bifásico a lo largo de la destilación (fase oleosa y fase acuosa), donde cada líquido se comportará como si el otro no estuviera presente. Esto significa que cada uno ejercerá su propia presión de vapor y corresponderá a la del líquido puro a una temperatura de referencia.

Para que este tipo de destilación se aplique efectivamente, el tamaño de la partícula no debe ser muy pequeño para que el vapor no arrastre el material. El componente volátil, como las impurezas, deben ser insolubles en agua, ya que el producto destilado (volátil) formará dos fases al condensarse, lo que permitirá la separación del producto y del agua fácilmente. Las ventajas de este método son, por ejemplo:

- El costo del vapor de agua es muy económico si se compara con el de los disolventes orgánicos.
- Asegura que no se recaliente el aceite esencial.
- No requiere uso de equipos sofisticados.

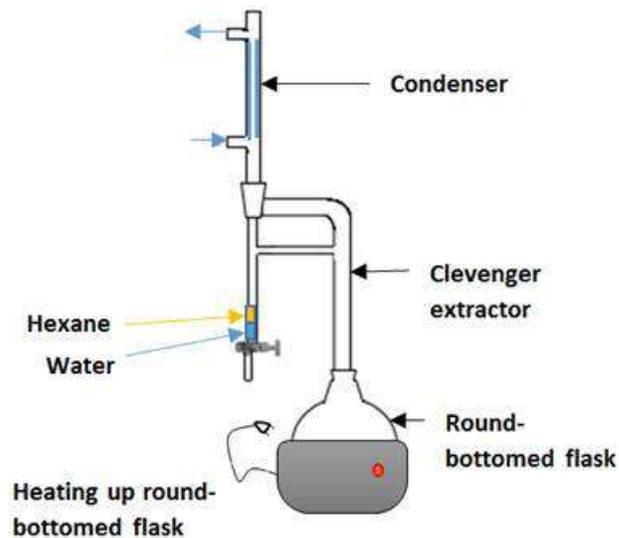
### **2.7.2. Hidrodestilación**

Este método consiste en poner en contacto íntimo la materia prima con agua por medio del uso de vapor saturado a presión atmosférica el cual es posteriormente condensado.

El vapor de agua es inyectado mediante un distribuidor interno, próximo a su base y con la presión suficiente para vencer la resistencia hidráulica del lecho. El vapor, al entrar en contacto con la materia prima, se calienta y libera el aceite esencial contenido y éste, a su vez debido a su alta volatilidad, se evapora y solubiliza con el vapor de agua. La mezcla, vapor saturado y aceite esencial, se dirige hasta un condensador, mediante una prolongación curvada del conducto de salida del destilador. La mezcla es finalmente condensada y enfriada en el condensador, hasta que la temperatura ambiente separada y estabiliza la formación de fases en la mezcla en un decantador dinámico o florentino.

Para este estudio, el equipo por utilizar para la escala laboratorio es el Neoclevenger, el cual está constituido de un balón, donde se deposita la materia y una cantidad conocida de agua desionizada. Cabe mencionar que el contacto directo entre la materia prima y el balón puede ocasionar que la misma se carbonice, por lo cual siempre es recomendable sumergir la materia prima en el balón hasta un volumen apropiado para evitar este incidente.

Figura 5. **Esquema de Neoclevenger para el proceso de hidrodestilación a escala laboratorio**



Fuente: Clavenger extractor assembly.

<http://article.sciencepublishinggroup.com/journal/227/2271073/image001.jpg>. Consulta: 22 de agosto de 2017.

### 2.7.3. **Expresión en frío**

Este método se limita a los cítricos cuya esencia se encuentra en la cáscara (flavedo). Se basa en la ruptura de las glándulas secretoras de aceite y en recolectar, en forma inmediata, la esencia para evitar que la corteza esponjosa que resulta después del proceso la adsorba.

Se inicia con la laceración de la epidermis y de las células que contienen el aceite esencial. Se crean en la cáscara áreas con presión mayor que sus circundantes, con el objetivo de hacer fluir el aceite al exterior y, finalmente, se aplica abrasión al flavedo, formando pequeñas partículas de raspadura.

El proceso extractivo se realiza sobre la fruta entera o sobre la cáscara, y en ambos procesos se puede realizar un proceso manual o mecánico. Una de las desventajas de este método es que el rendimiento extractivo es relativamente bajo.

#### **2.7.4. Enflorado**

Conocido también como *enfleurage* es uno de los métodos más antiguos y se limita a las flores, las partes más frágiles de las plantas. Consiste en poner el material vegetal en contacto con grasa inodora. Los fragantes compuestos exudados por las plantas son solubilizados en el material graso la cual se satura con dicha fragancia.

Este método es altamente ineficiente y costoso, además se debe evitar que el material graso se enrancie rápidamente y altere el rendimiento extractivo. Actualmente, técnicas más eficientes como extracción con solventes, arrastre de vapor o con fluidos supercríticos han reemplazado este método.

#### **2.7.5. Extracción con disolventes**

Este método consiste en colocar la muestra seca y molida en contacto con disolventes orgánicos, como alcohol y hexano, entre otros. Estos disolventes tienen la capacidad de solubilizar y extraer otras sustancias tales como grasas y ceras, obteniendo al final una oleoresina o un extracto impuro. Es más conveniente utilizarla a escala laboratorio que industrial, por el alto valor comercial de los disolventes, ya que otro tipo de solventes contaminarían las esencias y se corre el riesgo de explosiones e incendios provocados por muchos disolventes volátiles.

El resultado con este método son masas viscosas, dependiendo del material vegetal, que contiene el aceite esencial, grandes cantidades de cera, resinas y pigmentos que se eliminan realizando extracciones con alcohol, enfriando a -13 C, filtrando y evaporando el alcohol. Los métodos más usados a nivel laboratorio son, extracción por reflujo y mediante equipo Soxhlet. A nivel laboratorio, también se utiliza la maceración o extracción alcohólica, el cual es otro tipo de extracción por disolvente. Con este método, la materia orgánica reposa en soluciones de alcohol por periodos de tiempo definidos. Los aceites esenciales son recuperados mediante la evaporación del alcohol utilizando rotaevaporadores.

La extracción con disolventes presenta algunos inconvenientes, además, requieren de periodos de tiempo relativamente largos, los extractos obtenidos, contienen trazas de disolventes utilizados, limitando su uso en las industrias de los alimentos, cosmética, farmacéutica, entre otros.

#### **2.7.6. Extracción por fluidos supercríticos**

Es una operación unitaria que explota el poder disolvente de fluidos supercríticos en condiciones por arriba de su temperatura y presiones críticas. La ventaja de este método es que se obtienen extractos libres de disolvente usando fluidos supercríticos y la extracción es más rápida que cuando se usan disolventes orgánicos convencionales. Estas ventajas se deben a la alta volatilidad de estos gases en condiciones ambientales normales y a la alta difusividad y baja viscosidad.

En este método, generalmente se usa el gas dióxido de carbono. Se trata a temperatura moderada y se obtiene una alta selectividad de microcomponentes valiosos en productos naturales. La selectividad del

CO<sub>2</sub> también es apropiada para la extracción de aceites esenciales, pigmentos, carotenoides antioxidantes, antimicrobianos y sustancias relacionadas, que se usan como ingredientes para alimentos, medicinas y productos de perfumería y que son obtenidas de especias, hierbas y otros materiales biológicos.

## **2.8. Análisis fisicoquímicos de aceites esenciales**

Es importante someter a un análisis fisicoquímico a los extractos de aceites esenciales ya que con ello se evalúa la calidad, rendimiento y eficiencia del proceso extractivo.

### **2.8.1. Cromatografía gaseosa**

Con esta técnica se separan sustancias volátiles mediante la diferencia de afinidad entre la fase estacionaria y la fase móvil. La muestra es introducida en una columna que contiene la fase estacionaria, a través del sistema de inyección. Temperaturas apropiadas en el sitio de la inyección y en la columna, posibilitan la volatilización de los componentes de la muestra los cuales, de acuerdo con sus propiedades y la de la fase estacionaria, son retenidos por tiempos variables y llegan al final de la columna en tiempos diferentes. Un detector apropiado, a la salida de la columna, permite la detección y la identificación de las sustancias.

La cromatografía de gases solo realiza la separación de componentes no cuantifica ni identifica la sustancia, a menos que disponga de un detector para la identificación de sustancias; si lo que se desea es cuantificar un componente de una muestra, se deben realizar curvas de calibración para la cuantificación de los mismo.

### **2.8.2. Cromatografía gaseosa acoplada a espectrometría de masas**

La ventaja del acoplamiento de un dispositivo cromatográfico a un espectrómetro es que, las mezclas tan complejas como los aceites esenciales, pueden ser analizadas en forma más detallada y con mayor resolución.

Esta es la técnica más utilizada y mejor establecida para el análisis de los aceites esenciales. Cuando la mezcla de sustancias es ingresada al cromatógrafo de gases es separada en la columna cromatográfica. Así se obtiene la dilución de los componentes individuales aislados. Posteriormente, estos pasan al espectrómetro de masas, donde son identificados y comparados con la base de datos de la biblioteca virtual.

La ventaja de la cromatografía de masas (GC) es que puede identificar de manera casi inequívoca cualquier sustancia pura, pero normalmente, no es capaz de identificar los componentes individuales de una mezcla sin separar previamente sus componentes, debido a la extrema complejidad del espectro obtenido por superposición de los espectros particulares de cada componente.

La asociación de las dos técnicas da lugar a una técnica combinada (GC-MS) que permite la separación e identificación de mezclas complejas.

### **2.8.3. Densidad**

La densidad es la cantidad de masa que ocupa un determinado volumen a una temperatura dada. Al determinar la densidad de un aceite esencial es necesario que se establezca a que temperatura se efectuó el procedimiento ya que la densidad es función de la temperatura, esto quiere decir que, cualquier variación de la temperatura influirá en la misma.

Entre los aceites esenciales se encuentran los que poseen una densidad menor que la del agua excepto (tomillo y clavo de olor), este factor y su baja solubilidad en el agua provoca que estos aceites formen un sistema de dos fases al momento de su decantación.

### **2.8.4. Índice de refracción**

Cuando un haz de luz que se propaga por un medio ingresa a otro distinto, una parte del haz se refleja mientras que la otra sufre una refracción, que consiste en el cambio de dirección del haz. Para esto, el índice de refracción del material, que sirve para determinar la diferencia entre el ángulo de incidencia y el de refracción del haz (antes y después de ingresar al nuevo material). El índice de refracción es una magnitud exclusiva de cada aceite esencial y que cambia si se diluye o mezcla con otras soluciones.

### **2.8.5. Potencial de hidrógeno**

El pH es una escala logarítmica que se emplea para determinar el grado de acidez de una sustancia mediante la concentración de los iones hidronio. Esta propiedad puede ser medida en el aceite esencial mediante un potenciómetro y será la variable respuesta para el presente estudio.

## **2.9. Factores que afectan el rendimiento de los aceites esenciales**

Entre los factores que intervienen directamente en el rendimiento de la producción de aceites esenciales crudos se pueden mencionar los siguientes:

### **2.9.1. Tipo de materia prima**

Se refiere a las características de la planta. Están condicionadas por el clima, tipo de lugar, humedad del suelo, etc. Estos factores afectan significativamente las propiedades y características del aceite esencial. Además, influyen la maduración o edad de la planta, hojas y la limpieza en el corte, enfermedades de la planta, etc.

### **2.9.2. Tiempo de secado**

El tiempo es sustancial para la planta, debido a que, dependiendo del tiempo de secado, tendrá más o menos contenido de humedad y esto afectará al rendimiento extractivo, ya que el aceite esencial está contenido en las paredes celulares del material vegetal y una mayor humedad impedirá la ruptura de las micelas que contienen la esencia en la planta.

### **2.9.3. Tamaño de la partícula**

El área de transferencia y la cantidad de compartimientos abiertos depende de este factor, así como el flujo de vapor en los métodos de arrastre con vapor.

#### **2.9.4. Tiempo de extracción**

Hace referencia al tiempo del proceso de extracción, donde el aceite de la planta es extraído paulatinamente.

#### **2.9.5. Método de extracción**

Se refiere al tipo de método utilizado. El proceso extractivo puede ser más eficiente respecto a otros métodos.

### **2.10. Materia prima**

Es el producto en bruto que se adecuará, preparará y convertirá en el producto final que, en este caso, es el aceite esencial de limón persa (*Citrus latifolia Tanaka*) que será extraído del flavedo y hojas del árbol.

#### **2.10.1. Origen**

El limón pérsico, también conocido como lima Tahití o Tahití lime en inglés, es de origen desconocido. Se considera un híbrido entre lima mexicana (*Citrus aurantifolia* Swingle) y la cidra (*Citrus medica* Linn) puesto que las flores están desprovistas de granos de polen u óvulos viables y los frutos raras veces tienen semilla.

Es una fruta relativamente nueva. Se encuentra en los huertos de California en el siglo XIX, presumiblemente, procedente de Tahití en Oceanía. El cultivo se ha extendido a todos los países tropicales del mundo.

Figura 6. **Limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka)**



Fuente: Fruto limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) <http://sistemaagricola.com.mx/wp-content/uploads/2016/02/Se-consolidan-1024x808.jpg>. Consulta: 23 de agosto de 2017.

### **2.10.2. Características generales**

- Clase: Dicotiledóneas.
- Sub-clase: Arquiclamídeas.
- Orden: Geraniales.
- Sub-orden: Geranineas.
- Familia: Rutaceae.
- Sub-familia: Aurantioideas.
- Género: *Citrus*.
- Especie: *latifolia*.
- Árbol: Pequeño (5 m) de altura. Copa redondeada que se extiende hasta el suelo.
- Hojas: Color verde oscuro, ovals (9-13 cm) con persistencia de 3 años en el árbol; ala de peciolo usualmente estrecha.

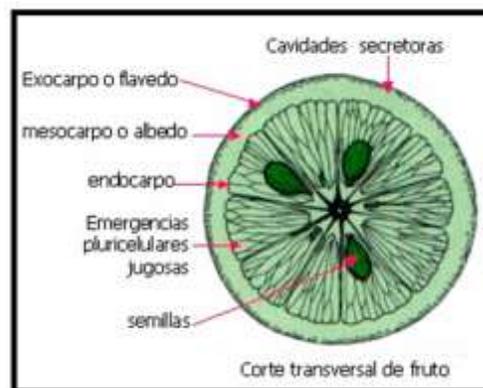
- Flores: Blancas, fragantes con diámetro de 2.5 cm. Dispuestas en grupos de 5 a 10 en ramas nuevas.
- Frutos: Ovais, con longitud de 5.5-7 cm, diámetro de 4.7-6.3 cm; color verde claro u oscuro, con color amarillo si se dejan madurar, no poseen semillas.

### 2.10.3. Características del fruto de limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka)

Este cultivo es una fuente primordial para este estudio de investigación por el aceite esencial contenido en su cáscara y hojas. Las glándulas del flavedo, que es la parte externa de la cáscara, poseen células epidérmicas que contienen las vesículas embebidas del aceite esencial.

A continuación, se presentan ilustraciones correspondientes a las partes de la cáscara y las hojas del fruto de limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka).

Figura 7. Partes del fruto cítrico



Fuente: Partes de un fruto cítrico. <http://citricoslapaz.com/blog/wp-content/uploads/2014/07/blog-1.jpg>. Consulta: 23 de agosto de 2017.

### **2.10.3.1. Flavedo y albedo**

En el flavedo se encuentra el pigmento y los aceites esenciales. Los pigmentos otorgan el color amarillo, verde o anaranjado al fruto. En el pre-maduramiento predomina el color verde, el pigmento de la clorofila el que poseen las hojas. Cuando el fruto inicia la etapa de maduración, la clorofila sufre el proceso denominado desverdización el cual consiste en reacciones bioquímicas que destruyen a la clorofila para producirse carotenoides produciendo caroteno, xantofila y criptoxantina, colorantes que son los responsables de los colores anteriormente mencionados.

En los cítricos el contenido mayoritario de caroteno se encuentra en naranjas, luego mandarinas y es muy pequeño en limas, limones y pomelos.

Los aceites esenciales se localizan en células especiales de la corteza. En las naranjas y mandarinas predomina el limoneno, sin embargo, en los limones además, existen otros terpenos.

La composición distintiva o quimiotipo de cada aceite esencial es lo que le da el aroma característico a cada fruta.

### **2.10.3.2. Endocarpio**

En los cítricos es la parte del fruto que puede consumirse. En las mandarinas, naranjas y pomelos constituye el 80% del peso de la fruta y en el limón del 65% al 70%. El contenido de proteína y lípidos es sumamente bajo en los cítricos. Los sólidos presentes en el jugo de los cítricos están constituidos, cuando inicia la etapa de maduración, por ácidos y en menor grado de

azúcares. Sin embargo, a medida que avanza el proceso madurativo, el contenido de los primeros se reduce y aumenta el contenido de los segundos.

Uno de los ácidos mayoritarios es el ácido cítrico que tiende a un 90% de los ácidos globales como cítrico, málico, oxálico y ascórbico, dependiendo de la especie y variedad. El contenido de ácidos en lo que es naranja y mandarina oscila en el 1% mientras que en limones alcanza hasta un 6%.

Figura 8. Partes de la hoja



Fuente: partes de la hoja. <http://roble.pntic.mec.es/acrl0005/ejercicios/partes-de-la-hoja.jpg>. Consulta: 23 de agosto de 2017.

#### 2.10.4. Partes de la hoja

Las hojas son extensiones en formas de láminas, generalmente de color verde, que salen del tronco o de las ramas.

Se compone de las siguientes partes:

#### **2.10.4.1. Limbo**

Es la parte laminar de la hoja.

#### **2.10.4.2. Haz**

Se le denomina así a la cara superior de la hoja.

#### **2.10.4.3. Envés**

Es la cara inferior de la hoja. En ella se dibujan surcos de nervios, los cuales son vasos por donde discurre la savia bruta y elaborada.

#### **2.10.4.4. Pecíolo**

Rabillo por el que la hoja se fija al tallo.

### **2.10.5. Aspectos técnicos**

Entre los aspectos técnicos se encuentran una diversidad de parámetros que deben considerarse durante el proceso de siembra y producción del árbol de limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka).

#### **2.10.5.1. Clima**

Germina en áreas tropicales y subtropicales, demanda condiciones climáticas como:

#### **2.10.5.1.1. Temperatura**

Las temperaturas deben oscilar entre 28 °C ya que a temperaturas inferiores el cultivo presenta termosensibilidad.

#### **2.10.5.1.2. Precipitación pluvial**

Para que se produzca una etapa apropiada de desarrollo en el fruto es preferible que el cultivo se efectúe en lugares donde la precipitación pluvial se encuentre en 400 a 1200 mm anuales.

#### **2.10.5.1.3. Vientos**

El cultivo debe situarse en lugares donde existan vientos moderados dado que eso favorecerá el desarrollo de la planta; sin embargo, los vientos fuertes pueden repercutir en la caída de las hojas y flores, así como tronchar las ramas, deformación en el árbol y sobretodo en daños en el fruto.

#### **2.10.5.1.4. Luz**

El cultivo debe plantarse en áreas con la mayor cantidad de luz posible. No se debe sembrar en laderas orientadas hacia el oeste o hacia el norte donde se puede minimizar la fuente de luz lo que repercutiría en la integridad del fruto, principalmente, en el sabor y color.

#### **2.10.5.1.5. Altitud**

Altitudes entre 50 a 1500 msnm, afectan significativamente la apariencia física del fruto; a mayor altitud la consistencia es más rugosa y la coloración

verde intensa, mientras que con una menor altitud la consistencia es lisa y las coloraciones son más apagadas.

Para este estudio se evaluaron frutos de Escuintla cuya altitud es de 347 msnm; Suchitepéquez, con una altitud media de 371 msnm y Santa Rosa con una altura media de 1200 msnm. Todos ubicados al Noreste del país de Guatemala.

#### **2.10.5.1.6. Humedad relativa**

Este parámetro influye significativamente en el cultivo. Se requiere que la humedad del ambiente sea elevada porque favorece el desarrollo del fruto, mientras que una humedad relativamente baja puede provocar cambios adversos.

#### **2.10.5.1.7. Suelos**

Al cultivo le favorece cualquier tipo de suelos, principalmente, los suelos profundos y muy bien drenados, con alto contenido de material orgánico (3 a 6%), se debe evitar cultivar en suelos arcillosos.

#### **2.10.5.1.8. Características químicas**

El pH requerido para el desarrollo apropiado del cultivo es de 5,6 a 6,8, porque se requiere una buena capacidad de cambio catiónico para suministrarle los elementos químicos necesarios.

### 2.10.5.2. Siembra o trasplante

El trasplante se lleva a cabo durante la época lluviosa que va de mayo a junio. Sin embargo, si se dispone de un sistema de riego para asegurar la humedad onde se establecerá el cultivo es posible sembrar en otras épocas del año..

Figura 9. **Árbol de limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) dos meses después de trasplante**



Fuente: *Planta de limón persa injertada*. <http://centa.gob.sv/docs/guias/frutales/Limon.pdf>.

Consulta: 23 de agosto de 2017.

### 2.10.5.3. Poda

Esta práctica protege el cultivo. Le da forma y resistencia mecánica al árbol para que se forme un esqueleto o armazón que resista mejor los embates del viento y que pueda soportar el peso de las ramas y de los frutos en temporadas de mucha producción.

Para el estudio de investigación se evaluó el tiempo de poda para poder conseguir las hojas y fruto buen estado para obtener el aceite esencial de los mismos.

#### **2.10.5.4. Cosecha y recolección**

Para la recolección de este cítrico se emplea mano de obra local no clasificada.

Según los datos obtenidos por Anacafé, el limón persa tiene varias floraciones al año, aunque, su volumen de producción no se reparte de forma uniforme, sino que es sesgado en una producción alta y una producción de menor volumen, siendo la primera del 70% total establecida durante los meses de mayo a septiembre y la segunda con un 30% de la producción ocurrida de octubre a abril.

Los frutos alcanzan su madurez comercial a los 100 a 120 días después que el cultivo florece, alcanzando un diámetro de 4,5 cm con una cantidad de juego de aproximadamente el 42% del peso total.

Figura 10. **Recolección de limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka)**



Fuente: cosecha de limón persa.

[https://www.anacafe.org/glifos/index.php/Cultivo\\_de\\_limón\\_persa](https://www.anacafe.org/glifos/index.php/Cultivo_de_limón_persa). Consulta 24 de agosto de 2017.



### 3. DISEÑO METODOLÓGICO

#### 3.1. Variables

Son características que pueden variar y cuya fluctuación puede ser medida u observada, se clasifican en variables independientes y variables dependientes.

##### 3.1.1. Variables independientes

A continuación se presentan la distribución de las variables independientes para el proceso de extracción por arrastre con vapor directo a escala planta piloto.

Tabla III. **Variables independientes para el proceso de extracción por arrastre con vapor en la planta piloto**

No.	Variable	Dimensional	Descripción
1	Parte de la planta	adimensional	La parte de la planta extraída será el flavedo y las hojas.
2	Procedencia de la materia prima	adimensional	La procedencia de la materia prima será de tres departamentos: Escuintla, Suchitépéquez y Santa Rosa.
3	Escala a la que se realiza la extracción	adimensional	Las escalas a las que se realizará la extracción son: Laboratorio y planta piloto.

Fuente: elaboración propia.

### 3.1.2. Variables dependientes

A continuación se presentan la distribución de las variables dependientes para el proceso de extracción por arrastre con vapor directo a escala planta piloto y escala laboratorio.

Tabla IV. **Variables dependientes para el proceso de extracción por arrastre de vapor e hidrodestilación**

No.	Variable	Unidades	Descripción
1	% de rendimiento	%	Depende del lote a utilizar para la extracción.
2	Densidad	g/mL	La densidad del aceite esencial se mantendrá constante
3	Índice de refracción	Adimensional	Depende del lote a utilizar para la extracción.
4	Volumen de aceite extraído	mL	Depende del lote a utilizar para la extracción.
5	Componentes activos del aceite esencial	%	Depende del lote a utilizar para la extracción.

Fuente: elaboración propia.

### **3.2. Delimitación del campo de estudio**

A continuación se presentan los parámetros utilizados para delimitar el campo de estudio.

#### **3.2.1. Obtención de la materia prima**

El limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka), como materia prima en bruto, se recolectó de los departamentos de Suchitepéquez, Santa Rosa y Escuintla.

#### **3.2.2. Extracción del aceite esencial**

Las partes del fruto que se utilizaron fueron el flavedo y las hojas. El primero se cortó en forma de ralladura, y el segundo se recolectó y se le dio el tamaño apropiado para llevar a cabo el proceso extractivo. Ambas partes se sometieron a métodos de extracción de destilación en arrastre con vapor directo e hidrodestilación. Dicho procedimiento se efectuó en el Laboratorio de Extractos Vegetales, en la sección de Química Industrial de la Universidad de San Carlos, ciudad universitaria zona 12.

#### **3.2.3. Análisis cualitativo del aceite esencial**

La cromatografía gaseosa con acoplamiento a espectrometría de masas se realizó en el Departamento de Toxicología de la Escuela de Química Farmacéutica, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos. 3a calle 6-47 zona 1, Ciudad de Guatemala, antigua Facultad de Farmacia, Barrio San Sebastián.

### 3.3. Recursos humanos disponibles

- Investigador: Br. Gerson Joel Ortega Morales
- Asesor: Ing. Qca. Telma Maricela Cano Morales
- Asesor: Ing. Qco. Mario José Mérida Meré

### 3.4. Recursos materiales disponibles

Tabla V. **Materia prima y reactivos**

<b>Materia Prima</b>	Flavedo de limón persa
	Hojas de limón persa
<b>Reactivos</b>	Agua
	Agua desionizada
	Glicerol
	Etanol 95%

Fuente: elaboración propia.

Tabla VI. **Cristalería y equipo**

<b>Equipo</b>	Marmita
	Campana de extracción de gases
	Balanza analítica marca VWR
	Cromatógrafo de gases con acoplamiento a espectrometría de masas, CG-EM.
	Papel pH
	Refractómetro "Fisher Scientific" de 60 Hertz
	Plancha de calentamiento marca VWR de 60 Hertz
	Balanza analítica marca VWR
	Refrigeradora
	Homogeneizador
	Termómetro (0-100 ° C)
<b>Cristalería</b>	Frascos de color ámbar de 250 mL
	Caldera
	Condensador
	Balón de 250 mL
	Beaker 200 mL
	Probeta de 1000 mL y 25 mL
	Micropipeta de 1 mL
	Picnómetro 1 mL
	Ampolla de decantación 500 mL
	Erlenmeyer 500 mL
	Jeringa plástica (10 mL)
	Agitador magnético
	Vidrio de reloj
	Balón aforado de 100 mL
	Frascos de color ámbar de 5 mL
	Frasco de plástico
	Cronómetro

Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. **Recursos generales**

<b>Útiles de oficina</b>	Papel bond
	Lapiceros
	Cuaderno de bitácora
	Cartucho para tinta
<b>Indumentaria de seguridad</b>	Zapatos industriales
	Bata
	Mascarilla
	Guantes de látex
<b>Artículos de Limpieza</b>	Cofia
	Jabón para manos
	Jabón en gel para limpieza de cristalería
	Papel mayordomo
	Botiquín de emergencias

Fuente: elaboración propia.

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

En el presente estudio de investigación se llevó a cabo la determinación cuantitativa del rendimiento, la densidad, el índice de refracción y potencial de hidrogeno para las dos escalas extractivas del aceite esencial presente en las hojas y flavedo del limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka).

Para la determinación cualitativa se realizó la identificación de los componentes químicos mediante cromatografía gaseosa al aceite esencial extraído.

### **3.5.1. Técnica de muestreo**

Para el aceite esencial se realizaron 3 lotes de extracción para determinar sus propiedades fisicoquímicas y un análisis cuantitativo de sus componentes, asimismo, se evaluaron los rendimientos obtenidos por las dos escalas extractivas del aceite esencial obtenido en las hojas y flavedo del limón persa (*Citrus Latifolia* T.)

### **3.5.2. Ordenamiento de las muestras**

Las muestras se organizaron en función de la procedencia, el segmento de la planta, el método utilizado y la repetición.

Se realizaron tres repeticiones por cada escala, siendo un total de 6 por cada segmento y 12 por cada procedencia para dar un total de 36 tratamientos.

A continuación en la tabla VIII se muestra la organización de las muestras para la extracción del aceite esencial de las hojas y flavedo del limón persa (*Citrus latifolia* T.).

Tabla VIII. **Organización de las muestras para la extracción del aceite esencial de las hojas y flavedo del limón persa**

Departamento	Segmento	método	Repetición
Suchitepéquez	Hojas	Escala laboratorio	1
			2
			3
		Escala Piloto	1
			2
			3
	Flavedo	Escala laboratorio	1
			2
			3
		Escala piloto	1
			2
			3
Santa Rosa	Hojas	Escala laboratorio	1
			2
			3
		Escala piloto	1
			2
			3
	Flavedo	Escala laboratorio	1
			2
			3
		Escala piloto	1
			2
			3
Escuintla	Hojas	Escala laboratorio	1
			2
			3
		Escala piloto	1
			2
			3
Escuintla	Flavedo	Escala laboratorio	1
			2
			3
		Escala piloto	1
			2
			3

Fuente: elaboración propia

### **3.5.3. Preparación de muestras**

Para el proceso extractivo utilizando el método de hidrodestilación a escala laboratorio y método de destilación por arrastre con vapor directo a escala piloto, se realizó con la relación de materia prima/ solvente de 1:15 m/v, es decir, 50g de materia prima con 750 mL de agua desmineralizada en un balón de 1000 mL.

Se efectuaron tres repeticiones para cada corrida realizada. El proceso extractivo consistió en dos corridas por cada parte del fruto (las hojas y flavedo) en función del lugar de procedencia, sumando un total de 36 tratamientos. Véase tabla IX.

### **3.5.4. Escala laboratorio**

El método por utilizar es el de Hidrodestilación; el equipo utilizado para este método fue el Neoclevenger. Se preparó paralelamente un lote de material de 50g para las hojas y flavedo del fruto, tratados previamente para realizar el proceso extractivo, con una relación de materia prima/solvente 1:10 utilizando agua desionizada como solvente.

### **3.5.5. Escala planta piloto**

Para este método, se coloca en la marmita de extracción-destilación de aceite esencial de la planta piloto paralelamente un lote de 10 lb de hojas y flavedo de fruto previamente tratados para realizar el proceso extractivo.

### **3.5.6. Métodos y modelos de los datos según tipo de variables**

A continuación se muestran los métodos y modelos de los datos según el tipo de variables de estudio.

#### **3.5.6.1. Extracción de aceite esencial de las hojas de limón persa (*Citrus latifolia* T.) a escala laboratorio**

- Lavar las secciones del Neoclevenger con etanol y agua.
- Colocar 50 g de hojas del fruto previamente lavadas, desmenuzadas y en un porcentaje de humedad menor al 10% en un balón de 1000 mL.
- Agregar 750 mL de agua destilada humedeciendo todo el material, en relación de materia prima/solvente de 1:15 m/v.
- Acoplar el balón que contiene el material vegetal con el Neoclevenger.
- Recircular el agua del condensador del manteniendo el agua de recirculación a una temperatura de 10<sup>0</sup> C.
- Transferir calor al balón de 1000 mL con la manta de calentamiento, hasta que dé inicio la ebullición.
- Iniciar el conteo del tiempo de extracción al momento de caer la primera gota de condensado en la ampolla del Neoclevenger; el tiempo estimado es de 4 horas.
- Al terminar el tiempo de destilación, suspender el calentamiento hasta que termine de obtenerse el condensado.
- Tarar la masa de un vial color ámbar.
- Transferir el aceite al vial; separar meticulosamente la fase oleosa del agua.

- Nuevamente tarar la masa del vial con el contenido recuperado, y finalmente diferenciar la masa del aceite obtenido por destilación.

#### **3.5.6.2. Extracción del aceite esencial de las hojas del limón persa (*Citrus latifolia* T.) a escala planta piloto**

- Encender la caldera para obtener producción de vapor.
- Preparar un lote de 10 lb de las hojas del fruto, éstas deben estar lavadas, desmenuzadas y en un porcentaje de humedad menor al 10%.
- Colocar la materia prima preparada en la marmita de extracción de la planta piloto, previamente humedecida.
- Encender el sistema de enfriamiento.
- Colocar el vaso florentino, en el cual se recuperará el aceite esencial junto con el hidrolato.
- Hacer pasar vapor directo a la marmita de extracción y recolectar la mezcla de aceite esencial e hidrolato.
- El tiempo estimado es de 4 horas, a partir de la primera gota condensada.
- Al terminar el tiempo de extracción, transferir la mezcla de aceite esencial e hidrolato a una ampolla de decantación.
- Separar el aceite y colocar un frasco color ámbar, debidamente tarado e identificado.
- Pesarse el aceite contenido en el frasco y calcular el porcentaje de rendimiento de este.
- Finalmente proceder a realizar los análisis correspondientes.

**3.5.6.3. Determinación del porcentaje de rendimiento de las muestras recuperadas del aceite esencial de las hojas y flavedo del fruto del limón persa (*Citrus latifolia* T.) de las tres procedencias, a escala laboratorio**

- Anotar en la bitácora el peso inicial de la materia prima 50 g.
- Tarar el frasco color ámbar a utilizar.
- Pesar el frasco con el contenido de aceite esencial en la balanza analítica.
- Determinar el rendimiento como la razón del peso del aceite esencial en función del peso de la materia prima inicial.
- Realizar dicho cálculo con la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{W - W_0}{W_T} * 100 \quad (\text{Ecuación No. 9})$$

Donde:

% Rendimiento: Porcentaje de extracto de aceite esencial (adimensional)

W: Peso del contenido de aceite esencial + recipiente (g)

W<sub>0</sub>: Peso de recipiente.

W<sub>T</sub>: Peso inicial de la materia prima.

**3.5.6.4. Determinación del porcentaje de rendimiento de las muestras recuperadas del aceite esencial de las hojas y flavedo del fruto del limón persa (*Citrus latifolia* T.) de las tres procedencias, a planta piloto**

- Anotar en la bitácora el peso inicial de la materia prima 10 lb.
- Tarar el frasco color ámbar a utilizar.
- Pesar el frasco con el contenido de aceite esencial en la balanza analítica.
- Determinar el rendimiento como la razón del peso del aceite esencial en función del peso de la materia prima inicial.
- Realizar dicho cálculo usando la ecuación No. 9 con  $W_T$ : peso inicial de la materia prima añadida a la marmita.

**3.5.6.5. Determinación de la densidad del aceite esencial obtenido de las hojas y flavedo del fruto de limón persa (*Citrus latifolia* T.) de las tres procedencias; a escala planta piloto y escala laboratorio**

- Limpiar el picnómetro con etanol y secar cuidadosamente.
- Tarar y anotar masa del picnómetro de 1 mL
- Agregar aceite esencial recuperado en micropipeta.
- Pesar el picnómetro con la muestra de aceite esencial.
- La ecuación por utilizar para determinar la densidad del aceite esencial es:

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (\text{Ecuación No. 10})$$

Donde:

$\rho$ = Densidad del aceite esencial (g/cm<sup>3</sup>)

$m$ = masa del aceite esencial (g)

$v$ = volumen de aceite esencial (cm<sup>3</sup>)

**3.5.6.6. Determinación experimental del índice de refracción del aceite esencial obtenido de las hojas y flavedo del fruto del limón persa (*Citrus latifolia* T.) de las tres procedencias, a escala planta piloto y escala laboratorio**

- Limpiar el lente del prisma cuidadosamente con xilolal 95%.
- Cubrir con aceite esencial el prisma de manera cuidadosa sin que la micropipeta raye el prisma.
- Agregar aceite esencial recuperado en micropipeta.
- Pesar el picnómetro con la muestra de aceite esencial.
- Encender la lámpara con interruptor del lado izquierdo y ajustar el brillo para que sea el adecuado para la medición.
- Girar la perilla de compensación de color hasta que aparezca una línea clara y definida en el campo de visión.
- Mover la palanca en la parte inferior izquierda.
- Leer y anotar la lectura del índice de refracción.

**3.5.6.7. Determinación de los componentes activos del aceite esencial obtenido de las hojas y flavedo del fruto del limón persa (*Citrus latifolia* (*Citrus latifolia* T.) de las tres procedencias, a escala planta piloto y escala laboratorio, por medio de cromatografía gaseosa**

- Las muestras de aceite esencial de hojas y fruto obtenidas mediante hidrodestilación y arrastre con vapor directo fueron colocadas en frascos ámbar y refrigeradas para preservar la integridad del aceite esencial.
- Se inyectó dentro del cromatógrafo de gases acoplado a espectrómetro de masas, 0.1 µL de aceite esencial.
- Se comparó el peso molecular de las sustancias que se encuentra en el aceite mediante un patrón, por medio de iones.
- Se asigna un área porcentual a cada pico del cromatograma con un nivel de confianza que indica la probabilidad de presencia de un determinado componente en la muestra para un tiempo de retención respectivo.
- Se identifica y nombra cada componente del aceite esencial, según la librería contenida en el programa del cromatógrafo.

**3.5.6.8. Programas por utilizar para el análisis de datos.**

Para el análisis estadístico y ordenamiento de los resultados obtenidos se utilizó el programa informático Microsoft Excel Office 2016 v15.0.

### 3.6. Recolección y ordenamiento de la información

Una vez establecidas las variables de estudio, se realizó la fase experimental la cual consistió en la extracción del aceite esencial del limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) a escala laboratorio tanto para hojas y flavedo con 3 repeticiones cada segmento sumando un total de 18 extracciones y asimismo la extracción a escala planta piloto para de hojas y flavedo con tres repeticiones cada segmento para hacer un total de 18 extracciones. Posteriormente, se determinaron sus propiedades fisicoquímicas y un análisis cualitativo de los componentes químicos presentes en los aceites para finalmente analizar y comparar la información obtenida.

La información se recolectó y organizó como se presenta a continuación:

Tabla IX. **Rendimiento extractivo del aceite esencial, obtenido del flavedo del limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) a escala laboratorio**

<b>Procedencia</b>	<b>Peso Vial (g)</b>	<b>Peso Vial + Aceite (g)</b>	<b>Masa Aceite (g)</b>	<b>Rendimiento (%)</b>
Suchitepéquez	5,684	5,904	0,220	0,439
	5,779	6,010	0,231	0,462
	5,697	5,924	0,228	0,456
Santa Rosa	5,874	6,035	0,161	0,322
	5,949	6,124	0,175	0,350
	5,781	5,941	0,160	0,320
Escuintla	5,751	6,044	0,293	0,586
	5,792	6,075	0,283	0,566
	5,702	5,962	0,260	0,520

Fuente: datos experimentales, LIEXVE, CII/USAC.

Tabla X. Rendimiento extractivo del aceite esencial, obtenido de las hojas del limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) a escala laboratorio

Procedencia	Peso Vial (g)	Peso Vial + Aceite (g)	Masa Aceite (g)	Rendimiento (%)
Suchitepéquez	5,666	6,152	0,486	0,972
	5,668	6,157	0,489	0,978
	2,908	3,395	0,488	0,975
Santa Rosa	2,897	3,394	0,497	0,993
	2,949	3,441	0,492	0,983
	2,898	3,332	0,435	0,869
Escuintla	2,863	3,355	0,492	0,983
	2,865	3,360	0,496	0,991
	2,948	3,518	0,570	1,140

Fuente: datos experimentales, LIEXVE, CII/USAC.

Tabla XI. Rendimiento extractivo del aceite esencial, obtenido del flavedo del limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) a escala planta piloto

Procedencia	Peso Vial (g)	Peso Vial + Aceite (g)	Masa Aceite (g)	Rendimiento (%)
Suchitepéquez	9,629	9,965	0,336	0,0067
	9,572	9,868	0,297	0,0059
	9,677	9,960	0,283	0,0057
Santa Rosa	9,608	10,318	0,710	0,0142
	9,656	10,306	0,650	0,0130
	9,701	10,651	0,950	0,0190
Escuintla	9,636	13,751	4,115	0,0823
	9,791	13,786	3,995	0,0799
	9,656	14,143	4,487	0,0897

Fuente: datos experimentales, LIEXVE, CII/USAC.

Tabla XII. Rendimiento extractivo del aceite esencial, obtenido de las hojas del limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) a escala planta piloto

Procedencia	Peso Vial (g)	Peso Vial + Aceite (g)	Masa Aceite, g	Rendimiento (%)
Suchitepéquez	22,163	31,823	9,660	0,322
	22,158	30,618	8,460	0,282
	21,633	32,864	11,231	0,374
Santa Rosa	21,588	25,734	4,146	0,138
	22,151	26,582	4,431	0,147
	21,892	26,158	4,266	0,142
Escuintla	20,365	26,254	5,889	0,196
	21,566	27,485	5,919	0,197
	20,988	28,332	7,344	0,244

Fuente: datos experimentales, LIEXVE, CII/USA.

Tabla XIII. **Densidad del aceite esencial, obtenido del flavedo del limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) a escala laboratorio**

Procedencia	Corrida	Masa de aceite (g)	Volumen aceite, (mL)	Densidad (g/mL)
Suchitepéquez	1	0,091	0,1	0,913
		0,100	0,1	0,997
		0,096	0,1	0,961
	2	0,091	0,1	0,912
		0,090	0,1	0,899
		0,091	0,1	0,905
	3	0,090	0,1	0,899
		0,089	0,1	0,889
		0,092	0,1	0,920
Santa Rosa	1	0,091	0,1	0,910
		0,089	0,1	0,895
		0,089	0,1	0,888
	2	0,093	0,1	0,934
		0,083	0,1	0,827
		0,088	0,1	0,879
	3	0,084	0,1	0,842
		0,083	0,1	0,833
		0,085	0,1	0,851
Escuintla	1	0,091	0,1	0,912
		0,088	0,1	0,884
		0,089	0,1	0,889
	2	0,092	0,1	0,922
		0,089	0,1	0,889
		0,090	0,1	0,895
	3	0,090	0,1	0,895
		0,091	0,1	0,905
		0,090	0,1	0,899

Fuente: datos experimentales, LIEXVE, CII/USAC.

Tabla XIV. **Densidad del aceite esencial, obtenido de las hojas del limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) a escala laboratorio**

Procedencia	Corrida	Masa de aceite (g)	Volumen aceite (mL)	Densidad (g/mL)
Suchitepéquez	1	0,095	0,1	0,955
		0,095	0,1	0,955
		0,097	0,1	0,968
	2	0,096	0,1	0,961
		0,096	0,1	0,957
		0,096	0,1	0,957
	3	0,095	0,1	0,952
		0,096	0,1	0,963
		0,096	0,1	0,958
Santa Rosa	1	0,088	0,1	0,882
		0,088	0,1	0,875
		0,087	0,1	0,874
	2	0,095	0,1	0,947
		0,094	0,1	0,941
		0,095	0,1	0,946
	3	0,092	0,1	0,916
		0,092	0,1	0,918
		0,092	0,1	0,916
Escuintla	1	0,094	0,1	0,941
		0,096	0,1	0,961
		0,096	0,1	0,964
	2	0,091	0,1	0,911
		0,100	0,1	1,001
		0,092	0,1	0,923
	3	0,089	0,1	0,891
		0,098	0,1	0,982
		0,089	0,1	0,891

Fuente: datos experimentales, LIEXVE, CII/USAC.

Tabla XV. **Densidad del aceite esencial, obtenido del flavedo del limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) a escala piloto**

Procedencia	Corrida	Masa de aceite (g)	Volumen aceite (mL)	Densidad (g/mL)
Suchitepéquez	1	0,092	0,1	0,923
		0,095	0,1	0,954
		0,099	0,1	0,987
	2	0,099	0,1	0,988
		0,100	0,1	0,996
		0,099	0,1	0,991
	3	0,098	0,1	0,982
		0,100	0,1	0,999
		0,101	0,1	1,013
Santa Rosa	1	0,116	0,1	1,156
		0,100	0,1	0,998
		0,100	0,1	0,999
	2	0,099	0,1	0,987
		0,093	0,1	0,925
		0,096	0,1	0,963
	3	0,099	0,1	0,987
		0,089	0,1	0,889
		0,099	0,1	0,985
Escuintla	1	0,097	0,1	0,967
		0,099	0,1	0,988
		0,100	0,1	0,999
	2	0,097	0,1	0,968
		0,099	0,1	0,985
		0,102	0,1	1,020
	3	0,097	0,1	0,966
		0,090	0,1	0,899
		0,100	0,1	0,996

Fuente: datos experimentales, LIEXVE, CII/USAC.

Tabla XVI. **Densidad del aceite esencial, obtenido de las hojas del limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) a escala piloto**

Procedencia	Corrida	Masa de aceite (g)	Volumen aceite (mL)	Densidad (g/mL)
Suchitepéquez	1	0,083	0,1	0,832
		0,087	0,1	0,871
		0,091	0,1	0,908
	2	0,096	0,1	0,962
		0,089	0,1	0,886
		0,089	0,1	0,887
	3	0,087	0,1	0,866
		0,087	0,1	0,867
		0,089	0,1	0,890
Santa Rosa	1	0,077	0,1	0,767
		0,082	0,1	0,823
		0,093	0,1	0,929
	2	0,089	0,1	0,895
		0,101	0,1	1,005
		0,099	0,1	0,992
	3	0,095	0,1	0,951
		0,094	0,1	0,938
		0,100	0,1	1,000
Escuintla	1	0,090	0,1	0,897
		0,099	0,1	0,989
		0,098	0,1	0,975
	2	0,093	0,1	0,927
		0,103	0,1	1,030
		0,093	0,1	0,928
	3	0,101	0,1	1,010
		0,092	0,1	0,922
		0,093	0,1	0,935

Fuente: datos experimentales, LIEXVE, CII/USAC.

Tabla XVII. Índice de refracción del aceite esencial, obtenido del flavedo del limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) a escala laboratorio

Procedencia	Corrida	índice de refracción (adimensional)
Suchitepéquez	1	1,4838
	2	1,4839
	3	1,4840
Santa Rosa	1	1,4810
	2	1,4819
	3	1,4809
Escuintla	1	1,4739
	2	1,4739
	3	1,4829

Fuente: datos experimentales, Laboratorio de Farmacia Industrial, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia USAC.

Tabla XVIII. Índice de refracción del aceite esencial, obtenido de las hojas del limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) a escala laboratorio

Procedencia	Corrida	índice de refracción (adimensional)
Suchitepéquez	1	1,4860
	2	1,4900
	3	1,4870
Santa Rosa	1	1,4880
	2	1,4880
	3	1,4890
Escuintla	1	1,4830
	2	1,4839
	3	1,4859

Fuente: datos experimentales, Laboratorio de Farmacia Industrial, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia USAC.

Tabla XIX. **Índice de refracción del aceite esencial, obtenido del flavedo del limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) a escala planta piloto**

Procedencia	Corrida	Índice de refracción (adimensional)
Suchitepéquez	1	1,4825
	2	1,4867
	3	1,4835
Santa Rosa	1	1,4707
	2	1,4818
	3	1,4818
Escuintla	1	1,4769
	2	1,4819
	3	1,4779

Fuente: datos experimentales, Laboratorio de Farmacia Industrial, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia USAC.

Tabla XX. **Índice de refracción del aceite esencial, obtenido de las hojas del limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) a escala planta piloto**

Procedencia	Corrida	Índice de refracción (adimensional)
Suchitepéquez	1	1,4796
	2	1,4816
	3	1,4866
Santa Rosa	1	1,4824
	2	1,4837
	3	1,4857
Escuintla	1	1,4760
	2	1,4790
	3	1,4780

Fuente: datos experimentales, Laboratorio de Farmacia Industrial, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia USAC.

Tabla XXI. **pH del aceite esencial obtenido del flavedo del limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) a escala laboratorio**

Procedencia	Temperatura (°C)	pH		
		Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3
Suchitepéquez	24	5	5	5
Santa Rosa		5	5	5
Escuintla		4	4	4

Fuente: datos experimentales, LIEXVE, CII/USAC.

Tabla XXII. **pH del aceite esencial obtenido de las hojas del limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) a escala laboratorio**

Procedencia	Temperatura (°C)	pH		
		Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3
Suchitepéquez	24	4	4	4
Santa Rosa		4	4	4
Escuintla		4	4	4

Fuente: datos experimentales, LIEXVE, CII/USAC.

Tabla XXIII. **pH del aceite esencial obtenido del flavedo del limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) a escala laboratorio**

Procedencia	Temperatura (°C)	pH		
		Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3
Suchitepéquez	24	5	5	5
Santa Rosa		5	4	4
Escuintla		4	4	4

Fuente: datos experimentales, LIEXVE, CII/USAC.

Tabla XXIV. **pH del aceite esencial obtenido de las hojas del limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) a escala planta piloto**

Procedencia	Temperatura (°C)	pH		
		Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3
Suchitepéquez	24	4	4	4
Santa Rosa		5	5	4
Escuintla		4	5	5

Fuente: datos experimentales, LIEXVE, CII/USAC.

Tabla XXV. **Composición química del aceite esencial, obtenido del flavedo del limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka.) proveniente de Suchitepéquez a escala laboratorio obtenida por GC-MS**

No.	Tiempo de retención (min)	Área (%)	Componente químico	Número CAS
1	6,09	19,346	n-Octilfenil cetona	6008-36-2
2	5,22	11,49	exo-norborneol	497-37-0
3	6,62	8,245	1H-imidazol, 4-(2-propenil)-	50995-98-7
4	9,92	6,713	ácido 3,4-Dihidroxibenzoico	99-50-3
5	9,41	6,156	Biciclo[4.1.0] heptano, 7-pentil-	41977-45-1
6	13,17	5,743	1H-3 alfa, 7-Metanoazuleno, octahidro-1, 9, 9-trimetil-4-metilen- (1 alfa, 3 alfa, 7 alfa, 8 alfa)-	508-55-4
7	8,69	3,527	2-Isopropenil-5-metil-4-hexen-1-ol, Lavandulol	58461-27-1
8	11,06	3,419	Tirosina-prolina-lisina	
9	4,38	3,051	Triciclo[3.2.1.0(2,4)]octano, 8 metileno- (1 alfa, 2 alfa, 4 alfa, 5 alfa)-	38310-48-4
10	12,00	2,753	Cariofileno	87-44-5

Fuente: Departamento de Toxicología, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, USAC.

Tabla XXVI. **Composición química del aceite esencial, obtenido del flavedo del limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) proveniente de Santa Rosa a escala laboratorio obtenida por GC-MS**

No.	Tiempo de retención (min)	Área (%)	Componente químico	Número CAS
1	6,131	23,177	1,2,4-Triazina	290-38-0
2	5,185	11,528	Triciclo[3.2.1.0(2,4)]octano, 8-metileno-, (1 alfa, 2 alfa, 4 alfa, 5 alfa)-	38310-48-4
3	6,646	9,086	4(7H)-Pirazolo[3,4-d][1,2,3]-triazinona	19818-50-9
4	9,857	6,709	Ácido 3,4-Dihidroxibenzoico	99-50-3
5	9,387	6,464	Selenio-L-metionina	3211-76-5
6	13,114	5,036	Ciclohexanol, 4-etenil-4-metil-3-(1-metilenetenil)-, (1 alfa, 3 alfa, 4 alfa)-	56298-45-4
7	8,687	3,823	alfa-Terpineol	98-55-5
8	11,038	3,649	1,5-Ciclooctadieno, 1,5-dimetil-	3760-14-3
9	12,103	2,733	(E,Z)-alfa-Farneseno	502-61-4
10	4,385	2,483	Triciclo[3.2.1.0(2,4)]octano, 8-metileno	38310-48-4

Fuente: Departamento de Toxicología, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, USAC.

Tabla XXVII. **Composición química del aceite esencial, obtenido del flavedo del limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka.) proveniente de Escuintla a escala laboratorio obtenida por GC-MS**

No.	Tiempo de retención (min)	Área (%)	Componente químico	Número CAS
1	5,14	10,981	Alcohol 3-metoxibencílico	6971-51-3
2	6,025	10,434	Piridina, 3-(2-propeniloxi)-	18343-04-9
3	6,306	7,508	Ácido fumárico, decil 2-feniletil ester	6315-18-0
4	10,002	6,717	ácido 3,4-dihidroxibenzoico	99-50-3
5	9,487	6,589	1H-imidazol, 4-(2-propenil)-	50995-98-7
6	6,741	6,417	3-metil-2-buten-1-ol	556-82-1
7	13,188	5,037	1,2,2-Trimetilpropil dimetilfosfinato	92411-69-3
8	4,36	4,274	3-octen-5-gammaeno, 2,7 - dimetil-, E-	55956-33-7
9	8,762	3,802	ácido (2-Butoxi)etoxi) acetico	82941-26-2
10	11,102	3,518	7-Oxabiciclo [2.2.1] heptano	279-49-2

Fuente: Departamento de Toxicología, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, USAC.

Tabla XXVIII. **Composición química del aceite esencial, obtenido de las hojas del limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) proveniente de Suchitepéquez a escala laboratorio obtenida por GC-MS**

No.	Tiempo de retención (min)	Área (%)	Componente químico	Número CAS
1	9,467	14,014	Heneicosano	629-94-7
2	6,04	12,898	Mesalamina	89-57-6
3	10,067	8,504	(E-E,E)-(5-fenilsulfonilgeranil) geraniol	67428-43-7
4	11,187	7,114	7-Oxabiciclo[2.2.1]heptano	279-49-2
5	9,887	4,887	ácido 3,4,-Dihydroxybenzoico	99-50-3
6	12,043	4,16	ciclohexanol, 4-etenil-4-metil-3-(1-metiletetil)- (1 alfa, 3 alfa, 4 alfa)-2 alfa, 4 alfa, 8 alfa-Decahidro-2-naftalenol	56298-46-5
7	11,423	3,06		1424-37-9
8	8,716	2,48	Cicloheanemetilpropanoato	2890-67-7
9	14,174	2,419	Oxido de Cariofileno	1139-30-6
10	13,108	2,317	1,3-Pentadieno	591-93-5

Fuente: Departamento de Toxicología, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, USAC.

Tabla XXIX. **Composición química del aceite esencial, obtenido de las hojas del limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) proveniente de Santa Rosa a escala laboratorio obtenida por GC-MS**

No.	Tiempo de retención (min)	Área (%)	Componente químico	Número CAS
1	9,612	17,448	Ácido Bromhídrico	10035-10-6
2	6,045	11,211	ácido 2-hidroxi-3-metoxibenzoico	877-22-5
3	10,057	8,232	2-metoxi-5-metilfenol	1195-09-1
4	10,172	6,501	2-Norbornanometanol, 2-Norbornilmetanol	5240-72-2
5	11,197	5,887	5-etenil-2-metoxiprizina	1014979 56 6
6	11,458	3,501	2-ciclpenten-1-ona, 2,3,5-trimetil-4-metilen-	29765-85-3
7	14,219	3,258	óxido de Cariofileno	1139-30-6
8	12,033	2,116	Cariofileno	87-44-5
9	11,803	1,418	Dodecanal	112-54-9
10	11,598	1,357	1,5-Ciclodecadieno, 1,5-dimetil-8-(1-metiletenil)-, [S-(Z,E)]-	75023-40-4

Fuente: Departamento de Toxicología, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, USAC.

Tabla XXX. **Composición química del aceite esencial, obtenido de las hojas del limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) proveniente de Escuintla a escala laboratorio obtenida por GC-MS**

No.	Tiempo de retención (min)	Área (%)	Componente químico	Número CAS
1	9,427	11,843	Selenio-L-metionina, Ácido (S)-2-Amino-4-(metilseleno)butírico	3211-76-5
2	11,293	11,418	Alcohol 3-Metoxibencílico	6971-51-3
3	6,035	10,742	Bencenoetanamina, Fenetilamina	64-11-9
4	10,057	7,24	2-Ciclopentan-1-ona, 2,3,5-trimetil-4-metileno-	29765-85-3
5	11,373	6,377	2-amino-4,6-dihidroxipirimidina	56-09-7
6	11,548	6,233	1,5-Hexadien-3-ol	924-41-4
7	12,078	3,544	Cariofileno	87-44-5
8	9,822	3,213	4-hidroxi-2-metoxibenzaldehído	18278-34-7
9	13,138	2,478	alfa-farneseno, $\alpha$ : 3,7,11-trimetil-1,3,6,10-dodecatetraeno	502-61-4
10	10,897	1,606	O-Trifluoroacetil-isopulegol	28587-54-4

Fuente: Departamento de Toxicología, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, USAC.

Tabla XXXI. **Composición química del aceite esencial, obtenido del flavedo del limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) proveniente de Suchitepéquez a escala planta piloto obtenida por GC-MS**

No.	Tiempo de retención (min)	Área (%)	Componente químico	Número CAS
1	21,782	17,429	Octacosano	630-02-4
2	13,133	14,201	(R)-(+)-Ácido Citronélico	18951-85-4
3	19,881	9,838	2H-1-Benzopiran-2-ona, 5,7 -dimetoxi-	487-06-9
4	17,415	9,3	2H-1-Benzopiran-2-ona, 7 metoxi	531-59-9
5	10,442	6,887	Ciclobutanoetanol, 1-metil-2-(1-metiletenil)-, trans-	30346-21-5
6	12,543	5,322	2-Buteno, 1-romo-3-metil-	870-63-3
7	8,592	3,201	alfa-Terpineol	98-55-5
8	9,172	2,568	D-Xilulosa	551-84-8
9	8,221	1,955	D-(+)-Arabitol	488-82-4
10	28,61	1,803	Octacosano	630-02-4

Fuente: Departamento de Toxicología, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, USAC.

Tabla XXXII. **Composición química del aceite esencial, obtenido del flavedo del limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) proveniente de Santa Rosa a escala planta piloto obtenida por GC-MS**

No.	Tiempo de retención (min)	Área (%)	Componente químico	Número CAS
1	6,051	20,792	Ácido 2-hidroxi-3-metoxibenzoico	877-22-5
2	5,165	10,871	Diazeno, metilfenil-, (E)-	35150-75-5
3	6,651	8,082	Arsina, Silil	15455-99-9
4	9,897	6,78	2-Metoxi-5-nitrofenol	636-93-1
5	9,397	6,122	3-Hexino, 2-metil	36566-80-0
6	13,153	5,861	1-H-3alfa, 7-Metanoazuleno, octahidro-1, 9, 9-trimetil-4-metileno-, (1alfa, 3alfa, 7alfa, 8alfa)-	508-55-4
7	11,048	3,712	Ciclopenta[c]piran-1, 3-diona, 4, 4alfa, 5, 6-tetrahidro-4,7 -dimetil-	66407-26-9
8	12,113	3,195	3, 4-Nonadien-6-gammaeno, 5-etil-3-metil	61227-88-1
9	11,048	3,712	Ciclopenta[c]piran-1, 3-diona, 4, 4alfa, 5, 6-tetrahidro-4,7 -dimetil-	66407-26-9
10	12,113	3,195	3, 4-Nonadien-6-gammaeno, 5-etil-3-metil	61227-88-1

Fuente: Departamento de Toxicología, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, USAC.

Tabla XXXIII. **Composición química del aceite esencial, obtenido del flavedo del limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) proveniente de Escuintla a escala planta piloto obtenida por GC-MS**

No.	Tiempo de retención (min)	Área (%)	Componente químico	Número CAS
1	11,162	14,85	Hexano	2806-56-6
2	5,99	12,13	p-Hidroxianfetamina	103-86-6
3	11,573	6,319	1,3,4-Cicloheptatrieno, 1-metoxi-	1728-32-1
4	9,842	5,633	4-hidroxi-2-metoxibenzaldehído	18278-34-7
5	9,342	5,158	3,10-Dioxatriciclo[4.3.1.0(2,4)]dec-7-eno, (1 alfa, 2 alfa, 4 alfa, 6 alfa)-	50267-08-8
6	12,093	4,43	3,4-Nonadien-6-gamma, 5-etil-3-metil-	61227-88-1
7	14,209	4,092	2,6,10-Dodecatrien-1-ol, 3,7,11-trimetil-9(fenilsulfonil)-, (2E,6E)-	57683-67-7
8	13,153	3,308	Allopurinol	315-30-0
9	12,473	2,39	2-Metil-3-(3-metilen-octa-1,7 -dien-3-ol	22459-10-5
10	10,842	2,226	O-Trifluoroacetil-isopulegol	28587-54-4

Fuente: Departamento de Toxicología, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, USAC.

Tabla XXXIV. **Composición química del aceite esencial, obtenido de las hojas del limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) proveniente de Suchitepéquez a escala planta piloto obtenida por GC-MS**

No.	Tiempo de retención (min)	Área (%)	Componente químico	Número CAS
1	10,097	15,678	Pent-4-en-2-ol	625-31-0
2	9,562	13,353	1, 2-Cyclooctadieno	7124-40-5
3	6,07	11,783	Ácido dihidroxibenzoico, 2,5-ácido dihidroxibenzoico	490-79-9
4	11,158	5,583	1,2, 4-Triazolo[4, 3-b]piridazin-6(5H)-ona	20552-63-0
5	12,043	5,509	Ciclohexeno, 1,5,5-trimetil-6-(2-propenilideno)-	56248-17-0
6	11,438	4,011	7-Oxabiciclo[2.2.1]heptano	279-49-2
7	13,103	2,321	1H-Benzociclohepteno, 2, 4alfa, 5, 6, 7, 8, 9alfa-octahidro-3,5,5-trimetil-9-metilen-, (4aS-cis)-	3853-83-6
8	7,896	2,144	4-Heptanal, (E)-	929-22-6
9	11,578	2,122	Ciclohexano, 1-etenil-1-metil-2, 4-bis(1-metiletenil)-, [1S-(1 alfa, 2alfa, 4alfa)]-	515-13-9
10	13,849	2,051	Azuleno, 1, 2, 3, 3alfa, 4, 5, 6, 7-octahidro-1,4- dimetil-7-(1-metiletenil)-, [1R-(1alfa, 3alfa, 4alfa, 7alfa)]-	22567-17-5

Fuente: Departamento de Toxicología, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, USAC.

Tabla XXXV. **Composición química del aceite esencial, obtenido de las hojas del limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) proveniente de Santa Rosa a escala planta piloto obtenida por GC-MS**

No.	Tiempo de retención (min)	Área (%)	Componente químico	Número CAS
1	10,187	14,371	Octatrieno	33580-04-0
2	9,552	14,137	Octatrieno	33580-04-0
3	6,075	10,32	3-Metoxibenzil alcohol	6971-51-3
4	11,247	7,35	Diazeno, metilfenil-, (E)-	35150-75-5
5	12,128	6,302	DL-Metanefrina	5001-33-2
6	11,543	5,118	7-Oxabiciclo[2.2.1]Heptano	279-49-2
7	19,831	3,089	4-Heptanal, (E)-	929-22-6
8	7,936	2,306	Isopulegol	89-79-2
9	13,078	2,279	Biciclo[5.3.0]octano, 8-metileno-	54211-15-3
10	11,638	2,198	Ciclohexano, 1-etil-1-metil-2,4-bis(1-metiletetil)-, [1S-(1alfa, 2alfa, 4alfa)]-	515-13-9

Fuente: Departamento de Toxicología, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, USAC.

Tabla XXXVI. **Composición química del aceite esencial, obtenido de las hojas del limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) proveniente de Escuintla a escala planta piloto obtenida por GC-MS**

No.	Tiempo de retención (min)	Área (%)	Componente químico	Número CAS
1	11,368	14,682	3-Hidroxipiridina	109-00-2
2	10,062	11,794	3,10-Dioxatriciclo[4.3.1.0(2,4)dec-7-eno, (1alfa, 2alfa, 4alfa, 6alfa)-	50267-08-8
3	9,482	10,584	6-(3-Metil-3-ciclohexenil)-2-metil-2,6-heptadienol	18681-09-9
4	12,113	6,123	5,6-Decadien-3-gammaeno	61227-89-2
5	11,573	5,929	7-Oxabiciclo[2.2.1]Heptano	279-49-2
6	7,946	3,809	Isopulegol, 1-Metil-4-isopropenilciclohexan-3-ol	89-79-2
7	13,118	2,063	Ibuprofen, ácido 2-(4-isobutilfenil)-propionico	15687-27-1
8	13,854	1,983	Azuleno, 1, 2, 3, 3alfa, 4, 5, 6, 7, -octahidro- 1, 4-dimetil- 7-(1-metiletienil)-, [1R-(1alfa, 3alfa, 4alfa, 7alfa)]-	22567-17-5
9	13,028	1,868	alfa-Farneseno	502-61-4
10	11,718	1,861	10-Pentadecen-5-gammaen-1-ol, (E)-	64275-59-8

Fuente: Departamento de Toxicología, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, USAC.

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

Para analizar la información obtenida de la fase experimental, en este apartado, se tabuló y procesó la información requerida para caracterizar el aceite esencial.

El ordenamiento de los resultados tabulados se realizó de la siguiente manera:

Tabla XXXVII. **Rendimiento extractivo del aceite esencial, obtenido del flavedo del limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) a escala laboratorio**

Procedencia	Rendimiento (%)			Media (%)	Desviación estándar
	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3		
Suchitepéquez	0,439	0,462	0,456	0,452	1,165E-02
Santa Rosa	0,322	0,350	0,320	0,331	1,677E-02
Escuintla	0,586	0,566	0,520	0,557	3,365E-02

Fuente: datos experimentales, LIEXVE, CII/USAC.

Tabla XXXVIII. **Rendimiento extractivo del aceite esencial, obtenido de las hojas del limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) a escala laboratorio**

Procedencia	Rendimiento (%)			Media (%)	Desviación estándar
	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3		
Suchitepéquez	0,972	0,978	0,975	0,975	3,000E-03
Santa Rosa	0,993	0,983	0,869	0,948	6,900E-02
Escuintla	0,983	0,991	1,140	1,038	8,836E-02

Fuente: datos experimentales, LIEXVE, CII/USAC.

Tabla XXXIX. **Rendimiento extractivo del aceite esencial, obtenido del flavedo del limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) a escala planta piloto**

Procedencia	Rendimiento (%)			Media (%)	Desviación estándar
	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3		
Suchitepéquez	0,00672	0,00593	0,00566	0,006	5,508E-04
Santa Rosa	0,0142	0,013	0,019	0,015	3,175E-03
Escuintla	0,0823	0,0799	0,08974	0,084	5,131E-03

Fuente: datos experimentales, LIEXVE, CII/USAC.

Tabla XL. Rendimiento extractivo del aceite esencial, obtenido del flavedo del limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) a escala planta piloto

Procedencia	Rendimiento (%)			Media (%)	Desviación estándar
	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3		
Suchitepéquez	0,00672	0,00593	0,00566	0,006	5,508E-04
Santa Rosa	0,0142	0,013	0,019	0,015	3,175E-03
Escuintla	0,0823	0,0799	0,08974	0,084	5,131E-03

Fuente: datos experimentales, LIEXVE, CII/USAC.

Tabla XLI. Rendimiento extractivo del aceite esencial, obtenido de las hojas del limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) a escala planta piloto

Procedencia	Rendimiento (%)			Media (%)	Desviación estándar
	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3		
Suchitepéquez	0,322	0,282	0,374378	0,326	4,633E-02
Santa Rosa	0,1382	0,1477	0,14219	0,143	4,770E-03
Escuintla	0,1963	0,1973	0,2448	0,213	2,772E-02

Fuente: datos experimentales, LIEXVE, CII/USAC.

Tabla XLII. **Densidad del aceite esencial, obtenido del flavedo del limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) a escala laboratorio.**

Procedencia	Densidad (g/mL)			Media (g/mL)	Desviación estándar
	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3		
Suchitepéquez	0,913	0,997	0,961	0,957	4,214E-02
	0,912	0,899	0,905	0,905	6,506E-03
	0,899	0,889	0,920	0,903	1,582E-02
Santa Rosa	0,910	0,895	0,888	0,898	1,124E-02
	0,934	0,827	0,879	0,880	5,351E-02
	0,842	0,833	0,851	0,842	9,000E-03
Escuintla	0,912	0,884	0,889	0,895	1,493E-02
	0,922	0,889	0,895	0,902	1,758E-02
	0,895	0,905	0,899	0,900	5,074E-03

Fuente: datos experimentales, LIEXVE, CII/USAC.

Tabla XLIII. **Densidad del aceite esencial, obtenido de las hojas del limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) a escala laboratorio**

Procedencia	Densidad (g/mL)			Media (g/mL)	Desviación estándar
	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3		
Suchitepéquez	0,913	0,997	0,961	0,957	4,214E-02
	0,912	0,899	0,905	0,905	6,506E-03
	0,899	0,889	0,920	0,903	1,582E-02
Santa Rosa	0,910	0,895	0,888	0,898	1,124E-02
	0,934	0,827	0,879	0,880	5,351E-02
	0,842	0,833	0,851	0,842	9,000E-03
Escuintla	0,912	0,884	0,889	0,895	1,493E-02
	0,922	0,889	0,895	0,902	1,758E-02
	0,895	0,905	0,899	0,900	5,074E-03

Fuente: datos experimentales, LIEXVE, CII/USAC.

Tabla XLIV. **Densidad del aceite esencial, obtenido del flavedo del limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) a escala planta piloto**

Procedencia	Densidad (g/mL)			Media (g/mL)	Desviación estándar
	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3		
Suchitepéquez	0,923	0,9536	0,987	0,955	3,201E-02
	0,988	0,996	0,991	0,992	4,041E-03
	0,982	0,999	1,013	0,998	1,552E-02
Santa Rosa	1,156	0,998	0,999	1,051	9,093E-02
	0,987	0,925	0,963	0,958	3,126E-02
	0,987	0,889	0,985	0,954	5,601E-02
Escuintla	0,967	0,988	0,999	0,985	1,626E-02
	0,968	0,985	1,02	0,991	2,651E-02
	0,966	0,899	0,996	0,954	4,966E-02

Fuente: datos experimentales, LIEXVE, CII/USAC.

Tabla XLV. **Densidad del aceite esencial, obtenido de las hojas del limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) a escala planta piloto**

Procedencia	Densidad (g/mL)			Media (g/mL)	Desviación estándar
	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3		
Suchitepéquez	0,832	0,871	0,908	0,870	3,800E-02
	0,962	0,886	0,887	0,912	4,359E-02
	0,866	0,867	0,89	0,874	1,358E-02
Santa Rosa	0,767	0,823	0,929	0,840	8,228E-02
	0,895	1,005	0,992	0,964	6,011E-02
	0,951	0,938	1,000	0,963	3,270E-02
Escuintla	0,897	0,989	0,975	0,954	4,957E-02
	0,927	1,030	0,928	0,962	5,918E-02
	1,010	0,922	0,935	0,956	4,750E-02

Fuente: datos experimentales, LIEXVE, CII/USAC.

Tabla XLVI. **Índice de refracción del aceite esencial, obtenido del flavedo del limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) a escala laboratorio**

Procedencia	Índice de refracción (adimensional)			Media (adimensional)	Desviación estándar
	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3		
Suchitepéquez	1,48381	1,48391	1,48401	1,484	1,000E-04
Santa Rosa	1,48101	1,48192	1,48092	1,481	5,537E-04
Escuintla	1,47392	1,47392	1,48292	1,477	5,196E-03

Fuente: datos experimentales, LIEXVE, CII/USAC.

Tabla XLVII. **Índice de refracción del aceite esencial, obtenido de las hojas del limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) a escala laboratorio**

Procedencia	Índice de refracción (adimensional)			Media (adimensional)	Desviación estándar
	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3		
Suchitepéquez	1,48601	1,48997	1,48696	1,488	2,069E-03
Santa Rosa	1,48801	1,48796	1,48896	1,488	5,651E-04
Escuintla	1,48301	1,48388	1,48592	1,484	1,495E-03

Fuente: datos experimentales, LIEXVE, CII/USAC.

Tabla XLVIII. Índice de refracción del aceite esencial, obtenido del flavedo del limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) a escala planta piloto

Procedencia	Índice de refracción (adimensional)			Media (adimensional)	Desviación estándar
	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3		
Suchitepéquez	1,48250	1,48667	1,48350	1,484	2,180E-03
Santa Rosa	1,47075	1,48179	1,48184	1,478	6,389E-03
Escuintla	1,47688	1,48192	1,47792	1,479	2,662E-03

Fuente: datos experimentales, LIEXVE, CII/USAC.

Tabla XLIX. Índice de refracción del aceite esencial, obtenido de las hojas del limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) a escala planta piloto

Procedencia	Índice de refracción (adimensional)			Media (adimensional)	Desviación estándar
	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3		
Suchitepéquez	1,479584	1,481584	1,486628	1,483	3,630E-03
Santa Rosa	1,48244	1,48366	1,485704	1,484	1,649E-03
Escuintla	1,476012	1,479012	1,478012	1,478	1,528E-03

Fuente: datos experimentales, LIEXVE, CII/USAC.

Tabla L. **pH del aceite esencial, obtenido del flavedo del limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) a escala laboratorio**

Procedencia	Temperatura (°C)	pH			Media	Desviación estándar
		Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3		
Suchitepéquez	24	5,00	5,00	5,00	5,00	0
Santa Rosa		5,00	5,00	5,00	5,00	0
Escuintla		4,00	4,00	4,00	4,00	0

Fuente: datos experimentales, LIEXVE, CII/USAC.

Tabla LI. **pH del aceite esencial, obtenido de las hojas del limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) a escala laboratorio**

Procedencia	Temperatura (°C)	pH			Media	Desviación estándar
		Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3		
Suchitepéquez	24	4,00	4,00	4,00	4,00	0
Santa Rosa		4,00	4,00	4,00	4,00	0
Escuintla		4,00	4,00	4,00	4,00	0

Fuente: datos experimentales, LIEXVE, CII/USAC.

Tabla LII. **pH del aceite esencial, obtenido del flavedo del limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) a escala planta piloto**

Procedencia	Temperatura (°C)	pH			Media	Desviación estándar
		Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3		
Suchitepéquez	24	5,00	5,00	5,00	5,00	0
Santa Rosa		5,00	4,00	4,00	4,33	5,77E-01
Escuintla		4,00	4,00	4,00	4,00	0

Fuente: datos experimentales, LIEXVE, CII/USAC.

Tabla LIII. **pH del aceite esencial, obtenido de las hojas del limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) a escala planta piloto**

Procedencia	Temperatura (°C)	pH			Media	Desviación estándar
		Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3		
Suchitepéquez	24	4,00	4,00	4,00	4,00	0
Santa Rosa		5,00	5,00	4,00	4,67	5,77E-01
Escuintla		4,00	5,00	5,00	4,67	5,77E-01

Fuente: datos experimentales, LIEXVE, CII/USAC.

### 3.8. Análisis estadístico

El análisis estadístico es una herramienta para evaluar la relación entre dos variables o factores que son objetos de estudio.

Para este estudio se utilizó el análisis de varianza de un factor, ANOVA, el cual es un instrumento para organizar y analizar los datos. Expresa si existe diferencia significativa para las medias muestrales. La influencia significativa entre ambos factores involucrará el lugar de procedencia y el tipo de escala de estudio con las partes del fruto (hojas y flavedo) del limón persa (*Citrus Latifolia* Tanaka).

#### 3.8.1. Media muestral

Expresa el conjunto finito de valores que es igual a la suma de la distribución de todos los datos del estudio dividido entre el número de sus sumandos.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N} \quad (\text{Ecuación No. 1})$$

Donde:

$\bar{x}$ : Media.

$\sum \bar{x}$ : Sumatoria de valores.

N: número de datos.

### 3.8.2. Varianza

Consiste en determinar el efecto que imprime una variable independiente de distintos niveles sobre una variable dependiente; mide la menor o mayor dispersión de los datos obtenidos respecto a la media aritmética.

$$\sigma^2 = \frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{N} \text{(Ecuación No. 2)}$$

Donde:

$\sigma^2$  = varianza.

$\bar{x}$  = valor promedio.

$x_i$  = valor de la muestra.

N = número de datos.

### 3.8.3. Desviación estándar

Expresa la dispersión de los datos para una misma medición respecto al promedio de distribución de los valores.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N}} \text{(Ecuación No. 3)}$$

Donde:

$\sigma$  = desviación estandar.

$\bar{x}$  = valor promedio.

$x_i$  = valor de la muestra.

N = número de datos.

### 3.8.4. Análisis de varianza

La comprobación de la hipótesis nula y alternativa se realiza mediante el análisis de varianza, el procedimiento de este método es el siguiente:

$$S_2^2 = \sum_i \sum_j \frac{(x_{ij} - \bar{x}_i)^2}{h(n-1)} \text{ (Ecuación No. 5)}$$

Donde:

$S_2^2$  = media cuadrática dentro de la muestra

$x_{ij}$  = repetición j de la muestra i

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

n = número de repeticiones

h = número de muestras

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

La variación entre muestras se define mediante la siguiente ecuación:

$$S_1^2 = \frac{n \sum_i (\bar{x}_i - \bar{x})^2}{h-1} \text{ (Ecuación No. 6)}$$

Donde:

$S_1^2$  = media cuadrática entre muestras

n = número de repeticiones

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

$\bar{x}$  = media global

h = numero de muestras

$(h - 1)$  = grados de libertad

Si la hipótesis nula es correcta la variación entre  $S_1^2$  y  $S_2^2$  no debe ser significativa. Esto se comprueba mediante una Prueba F de una cola.

$$F = \frac{S_1^2}{S_2^2} \text{(Ecuación No. 7)}$$

$S_2^2$  = media cuadrática dentro de la muestra

$S_1^2$  = media cuadrática entre muestras

Si la F supera a la F crítica indica que si hay diferencia significativa entre los resultados.

A continuación, se presenta el análisis de varianza de un factor para los datos obtenidos en la fase experimental de este estudio de investigación.

Tabla LIV. **Experimento de un factor para el rendimiento del aceite esencial de limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) obtenido del fruto a escala laboratorio en función de la procedencia**

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Suchitepéquez	3	1,3570	0,4523	1,3569E-04
Santa Rosa	3	0,9920	0,3307	2,8133E-04
Escuintla	3	1,6721	0,5574	1,1320E-03

Fuente: elaboración propia, datos experimentales.

Tabla LV. **Análisis de varianza de un factor para el rendimiento del aceite esencial de limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) obtenido del fruto a escala laboratorio en función de la procedencia.**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0,077228	2	0,0386138	74,7822	5,73749E-05	5,14325
Dentro de los grupos	0,003098	6	0,0005164			
Total	0,080326	8				

Fuente: elaboración propia, datos experimentales.

Tabla LVI. **Experimento de un factor para el rendimiento del aceite esencial de limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) obtenido de las hojas a escala laboratorio en función de la procedencia.**

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Suchitepéquez	3	2,9250	0,9750	9,0000E-06
Santa Rosa	3	2,8454	0,9485	4,7612E-03
Escuintla	3	3,1142	1,0381	7,8080E-03

Fuente: elaboración propia, datos experimentales.

Tabla LVII. **Análisis de varianza de un factor para el rendimiento del aceite esencial de limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) obtenido de las hojas a escala laboratorio en función de la procedencia**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0,01271	2	0,00635	1,51566	0,29322	5,143253
Dentro de los grupos	0,025156	6	0,00419			
Total	0,037866	8				

Fuente: elaboración propia, datos experimentales.

Tabla LVIII. **Experimento de un factor para el rendimiento del aceite esencial de limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) obtenido del fruto a escala planta piloto en función de la procedencia**

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Suchitepéquez	3	0,0183	0,0061	3,0343E-07
Santa Rosa	3	0,0462	0,0154	1,0080E-05
Escuintla	3	0,2519	0,0840	2,6323E-05

Fuente: elaboración propia, datos experimentales.

Tabla LIX. **Análisis de varianza de un factor para el rendimiento del aceite esencial de limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) obtenido del fruto a escala planta piloto en función de la procedencia**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0,010854	2	0,005427	443,561	3,03195E-07	5,14325285
Dentro de los grupos	7,34E-05	6	1,22E-05			
Total	0,010928	8				

Fuente: elaboración propia, datos experimentales.

Tabla LX. **Experimento de un factor para el rendimiento del aceite esencial de limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) obtenido de las hojas a escala planta piloto en función de la procedencia**

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Suchitepéquez	3	0,9784	0,3261	2,1462E-03
Santa Rosa	3	0,4281	0,1427	2,2755E-05
Escuintla	3	0,6384	0,2128	7,6825E-04

Fuente: elaboración propia, datos experimentales.

Tabla LXI. **Análisis de varianza de un factor para el rendimiento del aceite esencial de limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) obtenido de las hojas a escala planta piloto en función de la procedencia**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0,05140	2	0,025702	26,251	0,001078751	5,14325
Dentro de los grupos	0,00587	6	0,000979			
Total	0,05728	8				

Fuente: elaboración propia, datos experimentales.

Tabla LXII. **Experimento de un factor para el rendimiento del aceite esencial de limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) a escala laboratorio en función de las partes de la planta**

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Fruto	9	4,0211	0,4468	1,0041E-02
Hojas	9	8,8846	0,9872	4,7333E-03

Fuente: elaboración propia, datos experimentales.

Tabla LXIII. **Análisis de varianza de un factor para el rendimiento del aceite esencial de limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) a escala laboratorio en función de las partes de la planta**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	1,314091	1	1,314091	177,892	4,386E-10	4,4939
Dentro de los grupos	0,118192	16	0,007387			
Total	1,432282	17				

Fuente: elaboración propia, datos experimentales.

Tabla LXIV. **Experimento de un factor para el rendimiento del aceite esencial de limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) a escala planta piloto en función de las partes de la planta**

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Frutos	9	0,3165	0,0352	1,3660E-03
Hojas	9	2,0449	0,2272	7,1597E-03

Fuente: elaboración propia, datos experimentales.

Tabla LXV. **Análisis de varianza de un factor para el rendimiento del aceite esencial de limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) a escala planta piloto en función de las partes de la planta**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0,165968	1	0,16597	38,933	1,1821E-05	4,49399
Dentro de los grupos	0,068206	16	0,00426			
Total	0,234174	17				

Fuente: elaboración propia, datos experimentales.

Tabla LXVI. **Experimento de un factor para el rendimiento del aceite esencial de limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) obtenido del fruto en función de la escala: planta piloto y laboratorio**

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Laboratorio	9	4,0211	0,4468	1,0041E-02
Planta piloto	9	0,3165	0,0352	1,3660E-03

Fuente: elaboración propia, datos experimentales.

Tabla LXVII. **Análisis de varianza de un factor para el rendimiento del aceite esencial de limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) obtenido del fruto en función de la escala: planta piloto y laboratorio**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0,762468	1	0,762468	133,687	3,517E-09	4,49399
Dentro de los grupos	0,091254	16	0,005703			
Total	0,853722	17				

Fuente: elaboración propia, datos experimentales.

Tabla LXVIII. **Experimento de un factor para el rendimiento del aceite esencial de limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) obtenido de las hojas en función de la escala: planta piloto y laboratorio**

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Laboratorio	9	8,8846	0,9872	4,7333E-03
Piloto	9	2,0449	0,2272	7,1597E-03

Fuente: elaboración propia, datos experimentales.

Tabla LXIX. **Análisis de varianza de un factor para el rendimiento del aceite esencial de limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) obtenido de las hojas en función de la escala: planta piloto y laboratorio**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	2,598997	1	2,598997	437,063	4,827E-13	4,493998
Dentro de los grupos	0,095144	16	0,005946			
Total	2,69414	17				

Fuente: elaboración propia, datos experimentales.

Tabla LXX. **Experimento de un factor para la densidad del aceite esencial de limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) obtenido del fruto a escala laboratorio en función de la procedencia**

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Suchitepéquez	3	2,7650	0,9217	9,3811E-04
Santa Rosa	3	2,6197	0,8732	8,0915E-04
Escuintla	3	2,6968	0,8989	1,2785E-05

Fuente: elaboración propia, datos experimentales.

Tabla LXXI. **Análisis de varianza de un factor para la densidad del aceite esencial de limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) obtenido del fruto a escala laboratorio en función de la procedencia**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0,00352	2	0,001762	3,0039	0,124757	5,14325
Dentro de los grupos	0,00352	6	0,000587			
Total	0,00704	8				

Fuente: elaboración propia, datos experimentales.

Tabla LXXII. **Experimento de un factor para la densidad del aceite esencial de limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) obtenido de las hojas a escala laboratorio en función de la procedencia**

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Suchitepéquez	3	2,8753	0,9584	7,0370E-07
Santa Rosa	3	2,7383	0,9128	1,1560E-03
Escuintla	3	2,8217	0,9406	3,0381E-04

Fuente: elaboración propia, datos experimentales.

Tabla LXXIII. **Análisis de varianza de un factor para la densidad del aceite esencial de limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) obtenido de las hojas a escala laboratorio en función de la procedencia**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0,003177	2	0,001589	3,262863	0,109912	5,143253
Dentro de los grupos	0,002921	6	0,000487			
Total	0,006098	8				

Fuente: elaboración propia, datos experimentales.

Tabla LXXIV. **Experimento de un factor para la densidad del aceite esencial de limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) obtenido del fruto a escala planta piloto en función de la procedencia**

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Suchitepéquez	3	2,9442	0,9814	5,5139E-04
Santa Rosa	3	2,9630	0,9877	3,0138E-03
Escuintla	3	2,9293	0,9764	3,9915E-04

Fuente: elaboración propia, datos experimentales.

Tabla LXXV. **Análisis de varianza de un factor para la densidad del aceite esencial de limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) obtenido del fruto a escala planta piloto en función de la procedencia**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0,00019	2	9,49E-05	0,07180	0,931502	5,143253
Dentro de los grupos	0,00792	6	0,001321			
Total	0,00811	8				

Fuente: elaboración propia, datos experimentales.

Tabla LXXVI. **Experimento de un factor para la densidad del aceite esencial de limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) obtenido de las hojas a escala planta piloto en función de la procedencia**

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Suchitepéquez	3	2,6563	0,8854	5,1970E-04
Santa Rosa	3	2,7667	0,9222	5,1118E-03
Escuintla	3	2,8710	0,9570	1,7333E-05

Fuente: elaboración propia, datos experimentales.

Tabla LXXVII. **Análisis de varianza de un factor para la densidad del aceite esencial de limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) obtenido de las hojas a escala planta piloto en función de la procedencia**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0,00768	2	0,003841	2,03996	0,21090	5,14325
Dentro de los grupos	0,01130	6	0,001883			
Total	0,01898	8				

Fuente: elaboración propia, datos experimentales.

Tabla LXXVIII. **Experimento de un factor para la densidad del aceite esencial de limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) a escala laboratorio en función de las partes de la planta**

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Fruto	9	8,8365	0,9818	1,0148E-03
Hojas	9	8,4353	0,9373	7,6227E-04

Fuente: elaboración propia, datos experimentales.

Tabla LXXIX. **Análisis de varianza de un factor para la densidad del aceite esencial de limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) a escala laboratorio en función de las partes de la planta**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0,00894	1	0,008942	10,06409	0,00591	4,49400
Dentro de los grupos	0,01422	16	0,000889			
Total	0,02316	17				

Fuente: elaboración propia, datos experimentales.

Tabla LXXX. **Experimento de un factor para la densidad del aceite esencial de limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) a escala planta piloto en función de las partes de la planta**

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Frutos	9	8,8365	0,9818	1,0148E-03
Hojas	9	8,2940	0,9216	2,3725E-03

Fuente: elaboración propia, datos experimentales.

Tabla LXXXI. **Análisis de varianza de un factor para la densidad del aceite esencial de limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) a escala planta piloto en función de las partes de la planta**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0,01635	1	0,01635	9,65510	0,00678	4,49400
Dentro de los grupos	0,02710	16	0,00169			
Total	0,04345	17				

Fuente: elaboración propia, datos experimentales.

Tabla LXXXII. **Experimento de un factor para la densidad del aceite esencial de limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) obtenido del fruto en función de la escala: planta piloto y laboratorio**

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Laboratorio	9	8,0814	0,8979	8,8059E-04
Planta Piloto	9	8,4353	0,9373	7,6227E-04

Fuente: elaboración propia, datos experimentales.

Tabla LXXXIII. **Análisis de varianza de un factor para la densidad del aceite esencial de limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) obtenido del fruto en función de la escala: planta piloto y laboratorio**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0,006958	1	0,006958	8,47065	0,01022	4,49400
Dentro de los grupos	0,013143	16	0,000821			
Total	0,020101	17				

Fuente: elaboración propia, datos experimentales.

Tabla LXXXIV. **Experimento de un factor para la densidad del aceite esencial de limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) obtenido de las hojas en función de la escala: planta piloto y laboratorio**

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Laboratorio	9	8,4353	0,9373	7,6227E-04
Piloto	9	8,2940	0,9216	2,3725E-03

Fuente: elaboración propia, datos experimentales.

Tabla LXXXV. **Análisis de varianza de un factor para la densidad del aceite esencial de limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) obtenido de las hojas en función de la escala: planta piloto y laboratorio**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0,00111	1	0,00111	0,708012	0,412504	4,49400
Dentro de los grupos	0,02508	16	0,00157			
Total	0,02619	17				

Fuente: elaboración propia, datos experimentales.

Tabla LXXXVI. **Experimento de un factor para el índice de refracción del aceite esencial de limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) obtenido del fruto a escala laboratorio en función de la procedencia**

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Suchitepéquez	3	4,4517	1,4839	1,0000E-08
Santa Rosa	3	4,4439	1,4813	3,0658E-07
Escuintla	3	4,4308	1,4769	2,7000E-05

Fuente: elaboración propia, datos experimentales.

Tabla LXXXVII. **Análisis de varianza de un factor el índice de refracción del aceite esencial de limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) obtenido del fruto a escala laboratorio en función de la procedencia**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	7,483E-05	2	3,741E-05	4,10928	0,075143	5,143253
Dentro de los grupos	5,463E-05	6	9,105E-06			
Total	1,294E-04	8				

Fuente: elaboración propia, datos experimentales.

Tabla LXXXVIII. **Experimento de un factor para el índice de refracción del aceite esencial de limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) obtenido de las hojas a escala laboratorio en función de la procedencia**

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Suchitepéquez	3	4,4630	1,4877	4,2811E-06
Santa Rosa	3	4,4649	1,4883	3,1931E-07
Escuintla	3	4,4528	1,4843	2,2352E-06

Fuente: elaboración propia, datos experimentales.

Tabla LXXXIX. **Análisis de varianza de un factor para el índice de refracción del aceite esencial de limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) obtenido de las hojas a escala laboratorio en función de la procedencia**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	2,822E-05	2	1,411E-05	6,1927	0,03476	5,14325
Dentro de los grupos	1,367E-05	6	2,278E-06			
Total	4,189E-05	8				

Fuente: elaboración propia, datos experimentales.

Tabla XC. **Experimento de un factor para el índice de refracción del aceite esencial de limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) obtenido del fruto a escala planta piloto en función de la procedencia**

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Suchitepéquez	3	4,4527	1,4842	4,7543E-06
Santa Rosa	3	4,4344	1,4781	4,0819E-05
Escuintla	3	4,4367	1,4789	7,0886E-06

Fuente: elaboración propia, datos experimentales.

Tabla XCI. **Análisis de varianza de un factor para el índice de refracción del aceite esencial de limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) obtenido del fruto a escala planta piloto en función de la procedencia**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	6,59932E-05	2	3,2997E-05	1,8797	0,232371	5,143253
Dentro de los grupos	1,05324E-04	6	1,7554E-05			
Total	1,71318E-04	8				

Fuente: elaboración propia, datos experimentales.

Tabla XCII. **Experimento de un factor para el índice de refracción del aceite esencial de limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) obtenido de las hojas a escala planta piloto en función de la procedencia**

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Suchitepéquez	3	4,4478	1,4826	1,3177E-05
Santa Rosa	3	4,4518	1,4839	2,7200E-06
Escuintla	3	4,4330	1,4777	2,3333E-06

Fuente: elaboración propia, datos experimentales.

Tabla XCIII. **Análisis de varianza de un factor para el índice de refracción del aceite esencial de limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) obtenido de las hojas a escala planta piloto en función de la procedencia**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	6,512E-05	2	3,2564E-05	5,35893	0,046229	5,143253
Dentro de los grupos	3,646E-05	6	6,0766E-06			
Total	0,000101589	8				

Fuente: elaboración propia, datos experimentales.

Tabla XCIV. **Experimento de un factor para el índice de refracción del aceite esencial de limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) obtenido de las hojas a escala laboratorio en función de la procedencia**

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Fruto	8	11,8435	1,4804	1,7707E-05
Hojas	8	11,8948	1,4868	5,8758E-06

Fuente: elaboración propia, datos experimentales.

Tabla XCV. **Análisis de varianza de un factor para el índice de refracción del aceite esencial de limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) a escala laboratorio en función de las partes de la planta**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	1,647E-04	1	0,000164742	13,971	0,002206	4,6001
Dentro de los grupos	1,651E-04	14	1,17913E-05			
Total	3,298E-04	15				

Fuente: elaboración propia, datos experimentales.

Tabla XCVI. **Experimento de un factor para el índice de refracción del aceite esencial de limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) a escala planta piloto en función de las partes de la planta**

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Fruto	9	13,3238	1,4804	2,1415E-05
Hojas	9	13,3326	1,4814	1,2699E-05

Fuente: elaboración propia, datos experimentales.

Tabla XCVII. **Análisis de varianza de un factor para el índice de refracción del aceite esencial de limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) a escala planta piloto en función de las partes de la planta**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	4,3690E-06	1	4,3690E-06	0,256144	0,61968	4,49400
Dentro de los grupos	2,7291E-04	16	1,7057E-05			
Total	2,7728E-04	17				

Fuente: elaboración propia, datos experimentales.

Tabla XCVIII. **Experimento de un factor para el índice de refracción del aceite esencial de limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) obtenido del fruto en función de la escala: planta piloto y laboratorio**

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Laboratorio	9	13,3264	1,48071	1,6183E-05
Piloto	9	13,3238	1,48042	2,1415E-05

Fuente: elaboración propia, datos experimentales.

Tabla XCIX. **Análisis de varianza de un factor para el índice de refracción del aceite esencial de limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) obtenido del fruto en función de la escala: planta piloto y laboratorio**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	3,790E-07	1	3,7903E-07	0,0201	0,8889	4,49400
Dentro de los grupos	3,007E-04	16	1,8799E-05			
Total	3,016E-04	17				

Fuente: elaboración propia, datos experimentales.

Tabla C. **Experimento de un factor para el índice de refracción del aceite esencial de limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) obtenido de las hojas en función de la escala: planta piloto y laboratorio**

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Laboratorio	9	13,3807	1,4867	5,2365E-06
Piloto	9	13,3326	1,4814	1,2699E-05

Fuente: elaboración propia, datos experimentales.

Tabla CI. **Análisis de varianza de un factor para el índice de refracción del aceite esencial de limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) obtenido de las hojas en función de la escala: planta piloto y laboratorio**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	1,285E-04	1	1,285E-04	14,324	0,00162	4,49400
Dentro de los grupos	1,435E-04	16	8,968E-06			
Total	2,719E-04	17				

Fuente: elaboración propia, datos experimentales.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Extracción del aceite esencial de limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka), en función del segmento de la planta utilizando el método de hidrodestilación, a escala laboratorio

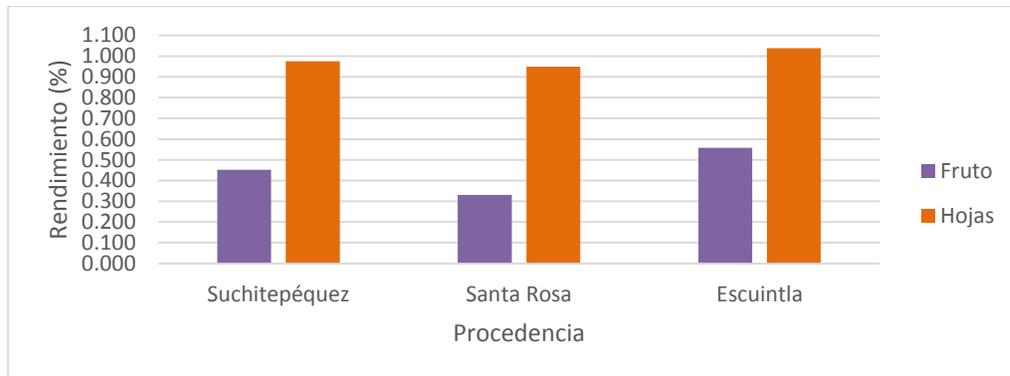
A continuación, se presenta el rendimiento, la densidad, el índice de refracción, el pH y la composición química mayoritaria para el aceite esencial del limón persa en las siguientes tablas y figuras.

Tabla CII. Rendimiento extractivo del aceite esencial limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) obtenido a escala laboratorio

Segmento	Procedencia	Rendimiento extractivo (%)	$\pm \sigma$
Fruto	Suchitepéquez	0,452	1,165E-02
	Santa Rosa	0,331	1,677E-02
	Escuintla	0,557	3,365E-02
Hojas	Suchitepéquez	0,975	3,000E-03
	Santa Rosa	0,948	6,900E-02
	Escuintla	1,038	8,836E-02

Fuente: elaboración propia, con base en la tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información, tabla.

Figura 11. **Rendimiento extractivo del aceite esencial, a escala laboratorio**



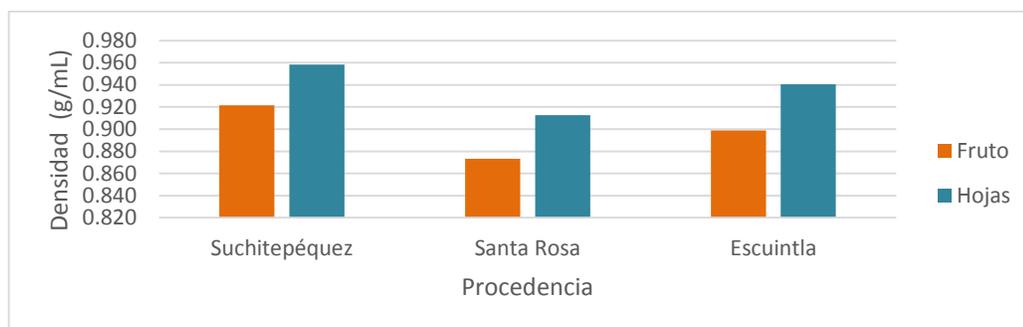
Fuente: datos experimentales, LIEXVE, CII/USAC.

Tabla CIII. **Densidad del aceite esencial del limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) extraído a escala laboratorio**

Segmento	Procedencia	Densidad (g/mL)	$\pm \sigma$
FRUTO	Suchitepéquez	0,922	0,0306
	Santa Rosa	0,873	0,0284
	Escuintla	0,899	0,0036
HOJAS	Suchitepéquez	0,958	0,0008
	Santa Rosa	0,913	0,0340
	Escuintla	0,941	0,0174

Fuente: elaboración propia, con base en la tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información, tabla.

Figura 12. **Densidad del aceite esencial extraído a escala laboratorio**



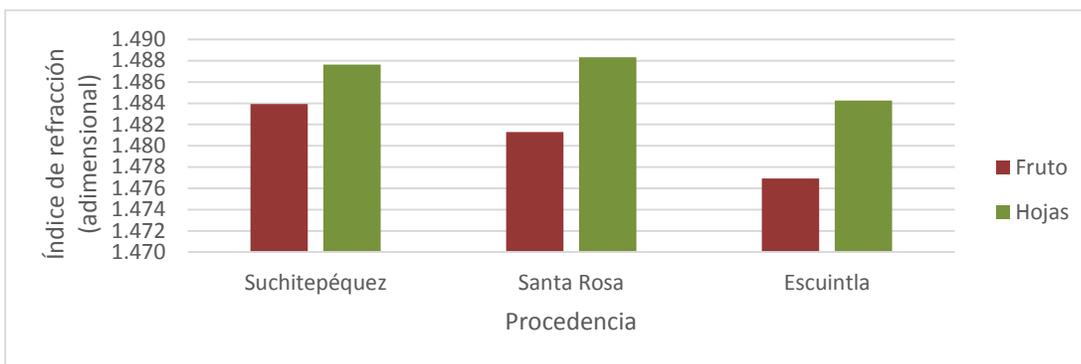
Fuente: datos experimentales, LIEXVE, CII/USAC.

Tabla CIV. **Índice de refracción del aceite esencial del limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) extraído a escala laboratorio**

Segmento	Procedencia	Índice de refracción (adimensional)	$\pm \sigma$
FRUTO	Suchitepéquez	1,484	1,000E-04
	Santa Rosa	1,481	5,537E-04
	Escuintla	1,477	5,196E-03
HOJAS	Suchitepéquez	1,488	2,069E-03
	Santa Rosa	1,488	5,651E-04
	Escuintla	1,484	1,495E-03

Fuente: Laboratorio de Investigación de Productos Naturales, LIPRONAT.

Figura 13. Índice de refracción del aceite esencial extraído a escala laboratorio



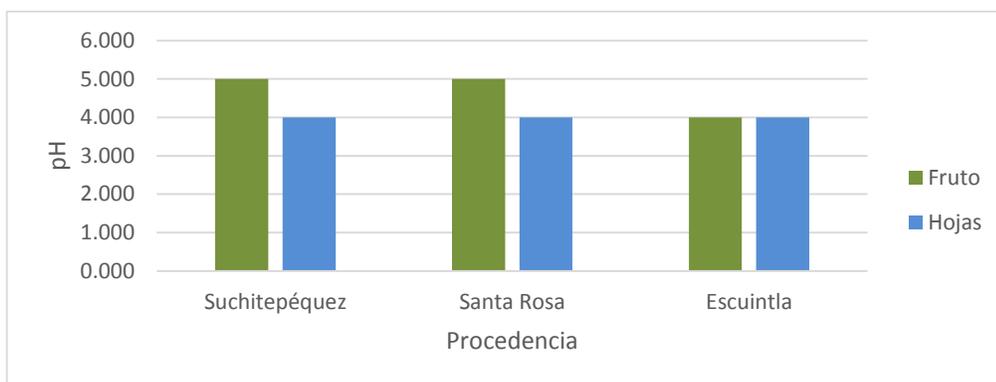
Fuente: datos experimentales, LIEXVE, CII/USAC.

Tabla CV. pH del aceite esencial del limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) extraído a escala laboratorio

Segmento	Procedencia	Temperatura (°C)	pH	$\pm \sigma$
FRUTO	Suchitepéquez	24	5,000	0
	Santa Rosa		5,000	0
	Escuintla		4,000	0
HOJAS	Suchitepéquez	24	4,000	0
	Santa Rosa		4,000	0
	Escuintla		4,000	0

Fuente: elaboración propia, con base en la tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información, tabla.

Figura 14. pH del aceite esencial extraído a escala laboratorio



Fuente: datos experimentales, LIEXVE, CII/USAC.

Tabla CVI. Componentes químicos mayoritarios del aceite esencial obtenido del flavedo de limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) de Suchitepéquez extraído a escala laboratorio

No.	Tiempo de retención (min)	Área (%)	Componente químico	Número CAS
1	6,09	19,346	n-Octilfenil cetona	6008-36-2
2	5,22	11,49	exo-norborneol	497-37-0
3	6,62	8,245	1H-imidazol, 4-(2-propenil)-	50995-98-7
4	9,92	6,713	Ácido 3,4-Dihidroxibenzoico	99-50-3
5	9,41	6,156	Biciclo[4.1.0] heptano, 7-pentil-	41977-45-1

Fuente: elaboración propia, Departamento de Toxicología, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, USAC.

Tabla CVII. **Componentes químicos mayoritarios del aceite esencial, obtenido del flavedo del limón persa (Citrus latifolia Tanaka) proveniente de Santa Rosa a escala laboratorio**

No.	Tiempo de retención (min)	Área (%)	Componente químico	Número CAS
1	6,131	23,177	1,2,4-Triazina	290-38-0
2	5,185	11,528	Triciclo[3.2.1.0(2,4)]octano, 8-metileno-, (1 alfa, 2 alfa, 4 alfa, 5 alfa)-	38310-48-4
3	6,646	9,086	4(7H)-Pirazol[3,4-d][1,2,3]-triazinona, 3,4-hidro-	19818-50-9
4	9,857	6,709	ácido 3,4-Dihidroxibenzoico	99-50-3
5	9,387	6,464	Selenio-L-metionina	3211-76-5

Fuente: elaboración propia, Departamento de Toxicología, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, USAC.

Tabla CVIII. **Componentes químicos mayoritarios del aceite esencial, obtenido del flavedo del limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) proveniente de Escuintla a escala laboratorio**

No.	Tiempo de retención (min)	Área (%)	Componente químico	Número CAS
1	5,14	10,981	Alcohol 3-Metoxibencílico	6971-51-3
2	6,025	10,434	Piridina, 3-(2-propeniloxi)-	18343-04-9
3	6,306	7,508	Ácido fumárico, decil 2-feniletil ester	6315-18-0
4	10,002	6,717	ácido 3,4-dihidroxibenzoico	99-50-3
5	9,487	6,589	1H-imidazol, 4-(2-propenil)-	50995-98-7

Fuente: elaboración propia, Departamento de Toxicología, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, USAC.

Tabla CIX. **Componentes químicos mayoritarios del aceite esencial, obtenido de las hojas del limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) proveniente de Suchitepéquez a escala laboratorio**

No.	Tiempo de retención (min)	Área (%)	Componente químico	Número CAS
1	9,467	14,014	Heneicosano	629-94-7
2	6,04	12,898	Mesalamina	89-57-6
3	10,067	8,504	(E-E,E)-(5-fenilsulfonilgeranil) geraniol	67428-43-7
4	11,187	7,114	7-Oxabiciclo[2.2.1]heptano	279-49-2
5	9,887	4,887	ácido 3,4,-Dihidroxibenzoico	99-50-3

Fuente: elaboración propia, Departamento de Toxicología, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, USAC.

Tabla CX. **Componentes químicos mayoritarios del aceite esencial, obtenido de las hojas del limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) proveniente de Santa Rosa a escala laboratorio**

No.	Tiempo de retención (min)	Área (%)	Componente químico	Número CAS
1	9,612	17,448	Ácido Bromhídrico	10035-10-6
2	6,045	11,211	Ácido 2-hidroxi-3-metoxibenzoico	877-22-5
3	10,057	8,232	2-metoxi-5-metilfenol	1195-09-1
4	10,172	6,501	2-Norbornanometanol, 2-Norbornilmetanol	5240-72-2
5	11,197	5,887	5-etenil-2-metoxiprizina	1014979 56 6

Fuente: elaboración propia, Departamento de Toxicología, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, USAC.

Tabla CXI. **Componentes químicos mayoritarios del aceite esencial, obtenido de las hojas del limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) proveniente de Escuintla a escala laboratorio**

No.	Tiempo de retención (min)	Área (%)	Componente químico	Número CAS
1	9,427	11,843	Selenio-L-metionina, Ácido (S)-2-Amino-4-(metilseleno)butírico	3211-76-5
2	11,293	11,418	3-Metoxibencil alcohol	6971-51-3
3	6,035	10,742	Bencenoetanamina, fenetilamina	64-11-9
4	10,057	7,24	2-Ciclopentan-1-ona, 2,3,5-trimetil-4-metileno-	29765-85-3
5	11,373	6,377	2-amino-4,6-dihidroxipirimidina	56-09-7

Fuente: elaboración propia, Departamento de Toxicología, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, USAC.

**4.2. Extracción del aceite esencial de limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka), en función del segmento de la planta utilizando el método de arrastre con vapor directo, a escala planta piloto**

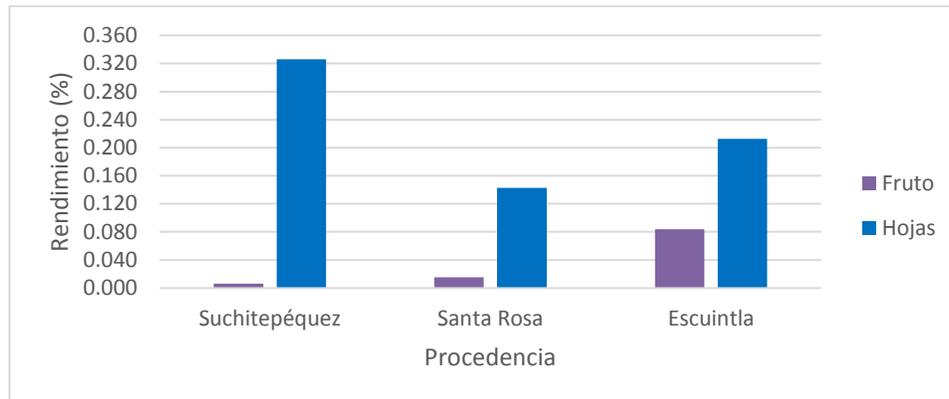
A continuación, se presenta el rendimiento, la densidad, el índice de refracción, el pH y la composición química mayoritaria para el aceite esencial del limón persa en las siguientes tablas y figuras.

**Tabla CXII. Rendimiento extractivo del aceite esencial limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) obtenido a escala planta piloto**

<b>Segmento</b>	<b>Procedencia</b>	<b>Rendimiento (%)</b>	<b><math>\pm \sigma</math></b>
Fruto	Suchitepéquez	0,006	5,508E-04
	Santa Rosa	0,015	3,175E-03
	Escuintla	0,084	5,131E-03
Hojas	Suchitepéquez	0,326	4,633E-02
	Santa Rosa	0,143	4,770E-03
	Escuintla	0,213	2,772E-02

Fuente: elaboración propia, con base en la tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información, tabla.

Figura 15. **Rendimiento extractivo del aceite esencial, a escala planta piloto**



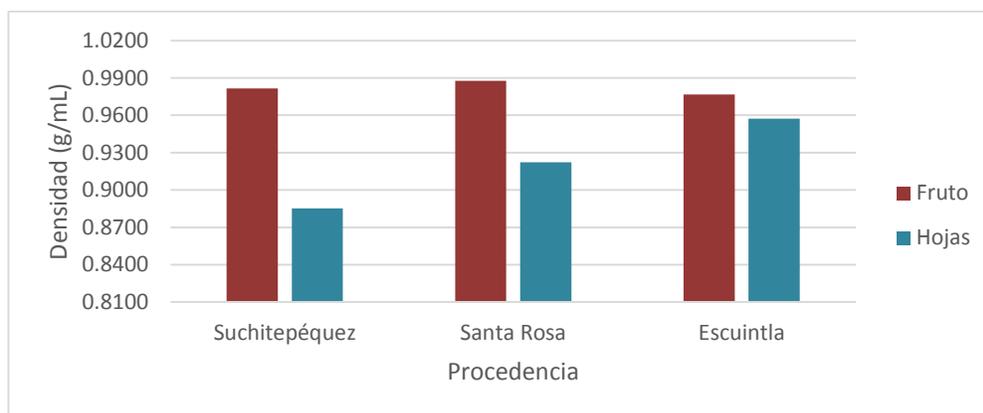
Fuente: datos experimentales, LIEXVE, CII/USAC.

Tabla CXIII. **Densidad del aceite esencial del limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) extraído a escala planta piloto**

Segmento	Procedencia	Media (g/mL)	$\pm \sigma$
Fruto	Suchitepéquez	0,9817	1,7190E-02
	Santa Rosa	0,9877	5,9400E-02
	Escuintla	0,9767	3,0810E-02
Hojas	Suchitepéquez	0,8853	3,1723E-02
	Santa Rosa	0,9223	5,8363E-02
	Escuintla	0,9573	5,2083E-02

Fuente: datos experimentales, LIEXVE, CII/USAC.

Figura 16. **Densidad del aceite esencial extraído a escala planta piloto**



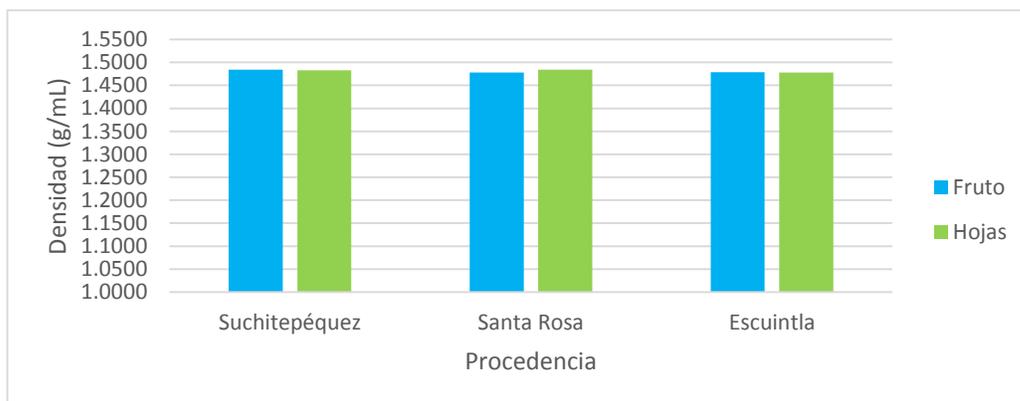
Fuente: datos experimentales, LIXVE, CII/USAC.

Tabla CXIV. **Índice de refracción del aceite esencial del limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) extraído a escala planta piloto**

Segmento	Procedencia	Índice de refracción (adimensional)	$\pm \sigma$
FRUTO	Suchitepéquez	1,4842	2,1804E-03
	Santa Rosa	1,4781	6,3890E-03
	Escuintla	1,4789	2,6625E-03
HOJAS	Suchitepéquez	1,4826	3,6300E-03
	Santa Rosa	1,4839	1,6492E-03
	Escuintla	1,4777	1,5275E-03

Fuente: Laboratorio de Investigación de Productos Naturales, LIPRONAT.

Figura 17. Índice de refracción del aceite esencial extraído a escala planta piloto



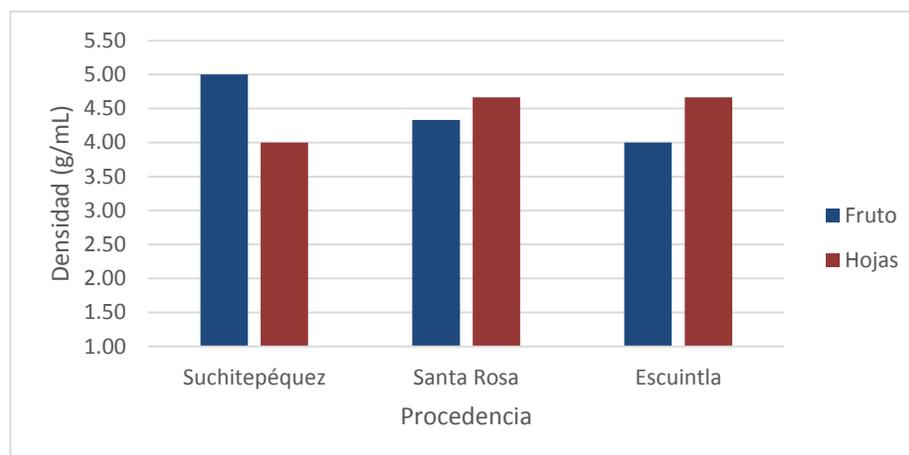
Fuente: datos experimentales, LIEXVE, CII/USAC.

Tabla CXV. pH del aceite esencial del limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) extraído a escala planta piloto

Segmento	Procedencia	Temperatura (°C)	pH	$\pm \sigma$
FRUTO	Suchitepéquez	24	5,00	0
	Santa Rosa		4,33	5,77E-01
	Escuintla		4,00	0
HOJAS	Suchitepéquez	24	4,00	0
	Santa Rosa		4,67	5,77E-01
	Escuintla		4,67	5,77E-01

Fuente: datos experimentales, LIEXVE, CII/USAC.

Figura 18. pH del aceite esencial extraído a escala planta piloto.



Fuente: datos experimentales, LIEXVE, CII/USAC.

Tabla CXVI. Componentes químicos mayoritarios del aceite esencial, obtenido del flavedo del limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) proveniente de Suchitepéquez a escala planta piloto

No.	Tiempo de retención (min)	Área (%)	Componente químico	Número CAS
1	21,782	17,429	Octacosano	630-02-4
2	13,133	14,201	(R)-(+)-Ácido Citronelico	18951-85-4
3	19,881	9,838	2H-1-Benzopiran-2-ona, 5,7 -dimetoxi-	487-06-9
4	17,415	9,3	2H-1-Benzopiran-2-ona, 7 metoxi	531-59-9
5	10,442	6,887	Ciclobutanoetanol, 1-metil-2-(1-metiletenil)-	30346-21-5

Fuente: elaboración propia, Departamento de Toxicología, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, USAC.

Tabla CXVII. **Componente químicos mayoritarios del aceite esencial, obtenido del flavedo del limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) proveniente de Santa Rosa a escala planta piloto**

No.	Tiempo de retención (min)	Área (%)	Componente químico	Número CAS
1	6,051	20,792	Ácido 2-hidroxi-3-metoxibenzoico	877-22-5
2	5,165	10,871	Diazeno, metilfenil-, (E)-	35150-75-5
3	6,651	8,082	Arsina, Silil	15455-99-9
4	9,897	6,78	2-Metoxi-5-nitrofenol	636-93-1
5	9,397	6,122	3-Hexino, 2-metil	36566-80-0

Fuente: elaboración propia, Departamento de Toxicología, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, USAC.

Tabla CXVIII. **Componentes químicos mayoritarios del aceite esencial, obtenido del flavedo del limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) proveniente de Escuintla a escala planta piloto**

No.	Tiempo de retención (min)	Área (%)	Componente químico	Número CAS
1	11,162	14,85	Hexano	2806-56-6
2	5,99	12,13	p-Hidroxianfetamina	103-86-6
3	11,573	6,319	1,3,4-Cicloheptatrieno, 1-metoxi-	1728-32-1
4	9,842	5,633	4-hidroxi-2-metoxibenzaldehído	18278-34-7
5	9,342	5,158	3,10-Dioxatriciclo[4.3.1.0(2,4)]dec-7-eno, (1 alfa, 2 alfa, 4 alfa, 6 alfa)-	50267-08-8

Fuente: elaboración propia, Departamento de Toxicología, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, USAC.

Tabla CXIX. **Componentes químicos mayoritarios del aceite esencial, obtenido de las hojas del limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) proveniente de Suchitepéquez a escala planta piloto**

No.	Tiempo de retención (min)	Área (%)	Componente químico	Número CAS
1	10,097	15,678	pent-4-en-2-ol	625-31-0
2	9,562	13,353	1, 2-Cyclooctadieno	7124-40-5
3	6,07	11,783	Ácido dihidroxibenzoico, 2,5-ácido dihidroxibenzoico	490-79-9
4	11,158	5,583	1,2, 4-Triazolo[4, 3-b]piridazin-6(5H)-ona	20552-63-0
5	12,043	5,509	Ciclohexeno, 1,5,5-trimetil-6-(2-propenilideno)-	56248-17-0

Fuente: elaboración propia, Departamento de Toxicología, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, USAC.

Tabla CXX. **Componentes químicos mayoritarios del aceite esencial, obtenido de las hojas del limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) proveniente de Santa Rosa a escala planta piloto**

No.	Tiempo de retención (min)	Área (%)	Componente químico	Número CAS
1	10,187	14,371	Octatrieno,	33580-04-0
2	9,552	14,137	Octatrieno	33580-04-0
3	6,075	10,32	3-Metoxibenzil alcohol	6971-51-3
4	11,247	7,35	Diazeno, metilfenil-, (E)-	35150-75-5
5	12,128	6,302	DL-Metanefrina	5001-33-2

Fuente: elaboración propia, Departamento de Toxicología, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, USAC.

Tabla CXXI. **Componentes químicos mayoritarios del aceite esencial, obtenido de las hojas del limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) proveniente de Escuintla a escala planta piloto**

No.	Tiempo de retención (min)	Área (%)	Componente químico	Número CAS
1	11,368	14,682	3-Hidroxipiridina	109-00-2
2	10,062	11,794	3,10-Dioxatriciclo[4.3.1.0(2,4)dec-7-eno, (1alfa, 2alfa, 4alfa, 6alfa)-	50267-08-8
3	9,482	10,584	6-(3-Metil-3-ciclohexenil)-2-metil-2,6-heptadienol	18681-09-9
4	12,113	6,123	5,6-Decadien-3-gammaeno, 5,7 -dietil-	61227-89-2
5	11,573	5,929	7-Oxabiciclo[2.2.1]Heptano	279-49-2

Fuente: elaboración propia, Departamento de Toxicología, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, USAC.

## 5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En la tabla CIII, se muestra la media de los rendimientos obtenidos para los dos segmentos de la planta de limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) para cada procedencia y con su desviación estándar respectiva, la cual indica la variabilidad existente entre las réplicas del experimento. En la figura 5 se ilustra la tendencia del porcentaje de rendimiento en función de la parte de la planta y la procedencia de esta, mostrando que en el caso de Escuintla el rendimiento extractivo de aceite esencial de las hojas y el flavedo es superior en comparación a las otras procedencias. Sin embargo, a pesar de que el rendimiento de escuintla es mayor, en el estudio realizado en la Universidad de San Carlos de Guatemala por Carmen Juan Andrés, se determinó que el rendimiento extractivo promedio del flavedo del limón persa por el método de hidrodestilación resultó ser de 2,1655% superior al obtenido en este estudio. Esto se debe al tratamiento previo que se le dio a la materia prima, ya que en esta investigación al fruto se le retiró el flavedo y, al retirar el flavedo del fruto, cierta cantidad del albedo queda aunado al flavedo. Esto aumenta su masa y repercute en la reducción del % de rendimiento; asimismo, cabe mencionar que otro de los factores que cohiben el rendimiento extractivo es la procedencia de la materia prima.

En la tabla CXIII, se muestra la media de los rendimientos obtenidos para los dos segmentos de la planta de limón para cada procedencia y con su desviación estándar respectiva a escala planta piloto. La figura 9 muestra la tendencia del porcentaje de rendimiento en función de las partes de la planta y la procedencia respectiva. Se observa que el mayor rendimiento obtenido fue el de las hojas comparado al obtenido del flavedo, sin embargo, en el estudio

realizado en la universidad de San Carlos por Carmen Juan Andrés, el rendimiento extractivo obtenido por arrastre por vapor directo resultó ser mayor al obtenido en este estudio. Esto se debe a que, en el caso de la cáscara, se trabajó análogo al nivel laboratorio para que, de esta manera, se pudiera realizar un análisis comparativo riguroso. Asimismo, al mondar la cáscara del fruto la cantidad de vesículas que contiene el aceite esencial se reduce considerablemente al igual que aumenta su masa por fragmentos de gajos y albedo; sin embargo, el mayor rendimiento obtenido del flavedo fue el de Escuintla comparado con las otras procedencias. Por otro lado, el mayor rendimiento obtenido de las hojas es atribuido a la procedencia de Suchitepéquez.

En los resultados de la tabla LVI se muestra el análisis de varianza de un factor, el cual compara si existe diferencia significativa entre las medias muestrales. Calculando un valor del coeficiente de Fisher y contrastándolo a su valor crítico se determinó que el rendimiento extractivo del aceite esencial obtenido del fruto a escala laboratorio presenta una diferencia significativa en función de la procedencia, con un 95% de confianza.

En los resultados de la tabla LVIII, se determinó que el rendimiento extractivo del aceite esencial obtenido de las hojas a escala laboratorio no presenta una diferencia significativa en función de la procedencia. A excepción de los resultados de la tabla LX y LXII, en la que se muestra que el rendimiento extractivo del aceite esencial obtenido de las hojas y frutos a escala planta piloto sí presenta una diferencia significativa en función de la procedencia.

En los resultados de la tabla LXIV, se presenta el análisis de varianza de un factor para los grupos de frutos y hojas evaluados a escala planta piloto y escala laboratorio, el rendimiento extractivo del aceite esencial del limón a

escala laboratorio presenta una diferencia significativa en función de las partes de la planta. Asimismo, en los resultados de la tabla LXVI, se determinó que el rendimiento extractivo del aceite esencial de limón a escala planta piloto presenta diferencia significativa en función de las partes de la planta.

En los resultados de la tabla LXVIII y LXX, se muestra el análisis de varianza de un factor para el rendimiento del aceite esencial de limón persa obtenido del fruto y hojas respectivamente, en el cual se determinó que existe diferencia significativa en función de la escala (laboratorio y planta piloto) con un 95% de confianza.

En la caracterización fisicoquímica del aceite esencial, se determinó la densidad, el índice de refracción, pH y la determinación de los componentes químicos mayoritarios, determinando a su vez si existe diferencia significativa en función de la procedencia, la parte del fruto y el tipo de escala.

En los resultados de la tabla CIV y figura 6 se presentan las medias de las densidades del aceite esencial de limón persa extraído a escala laboratorio. Es mayor la del aceite esencial obtenido de las hojas y flavedo del fruto proveniente de Suchitepéquez y menor el proveniente de Santa Rosa. Asimismo, en los resultados de la tabla CXIV se presenta la densidad del aceite esencial del limón persa extraído a escala planta piloto y en la figura 10 se muestra la tendencia de las densidades, siendo mayor para el aceite extraído del flavedo y de las hojas provenientes de Escuintla.

En los resultados de la tabla LXXII y LXXIV se muestra el análisis de varianza de un factor para la densidad del aceite esencial de limón persa obtenido del fruto y hojas a escala laboratorio respectivamente en el cual se determinó que no existe diferencia significativa en función de la procedencia.

Asimismo, los resultados de la tabla LXXVI y LXXVIII, muestran que no existe diferencia significativa para la densidad del aceite esencial de limón persa obtenido del fruto y hojas a escala planta piloto en función de la procedencia respectivamente.

En los resultados de la tabla LXXX Y LXXXII se muestra tabulado el análisis de varianza de un factor para la densidad del aceite esencial del limón persa a escala laboratorio y planta piloto respectivamente, determinando que sí existe diferencia significativa en función de las partes de la planta.

Por otro lado, en los resultados de la tabla LXXXIV se muestra el análisis de varianza de un factor para la densidad el aceite esencial de limón persa obtenido del fruto. De esta manera se determina que sí existe diferencia significativa en función de la escala (laboratorio y planta piloto), a excepción de los resultados de la tabla LXXXVI, donde se determinó que no existe diferencia significativa para la densidad del aceite esencial de limón persa obtenido de las hojas en función de la escala (laboratorio y planta piloto).

En los resultados de la tabla CV y figura 7 del índice de refracción, se muestra que el aceite esencial de limón persa extraído a escala laboratorio presenta un mayor valor en el aceite esencial de las hojas procedentes de Santa Rosa y del fruto procedente de Suchitépéquez. Al comparar los índices de refracción obtenidos de hojas y frutos para las procedencias de estudio, puede argüirse que la pureza del aceite esencial extraído del fruto resulta más puro y aumenta en el orden de Suchitépéquez a escuintla, como se muestra en la figura 7. En los índices de refracción derivados de las hojas, se observa un aumento relativamente mayor del índice de refracción y por ende una disminución en la pureza del aceite comparado con la de los frutos.

Los resultados del índice de refracción, determinado para el aceite esencial del limón persa extraído a escala planta piloto, se muestran en la tabla CXV y una la proyección de su tendencia en la figura 11. En este caso los índices de refracción son relativamente altos, tanto para los frutos como para las hojas, comparados con los determinados a escala laboratorio. Esto se debe a que el aceite presenta mayor turbidez y opacidad debido a las trazas de ceras o compuestos no terpénicos que posiblemente fueron arrastradas en el proceso extractivo y, como consecuencia, el tiempo en el que es refractada la luz a través del aceite esencial, es mayor. Estos valores relativamente altos en los índices de refracción denotan a su vez que la calidad del aceite esencial es bajo comparado con el obtenido a escala laboratorio

En los resultados de la tabla LXXXVIII y XCII se muestra que los análisis de varianza de un factor para el índice de refracción del aceite esencial de limón persa obtenido del fruto a escala laboratorio y escala planta piloto respectivamente, se determinó que no existe diferencia significativa en función de la procedencia, con una confianza del 95%. Sin embargo, para el índice de refracción del aceite esencial de limón persa que se obtuvo de las hojas a escala planta piloto presentan diferencia significativa en función de la procedencia; resultados de la tabla XCIV. Asimismo, para el índice de refracción del aceite esencial de limón persa obtenido de las hojas a escala laboratorio se determinó que existe diferencia significativa en función de la procedencia; resultados de la tabla XC.

Al realizar el experimento de un factor para el índice de refracción del aceite esencial de limón persa obtenido a escala laboratorio en función de las partes de la planta y realizar el análisis de varianza de un factor, se determinó que existe diferencia significativa para la escala laboratorio en función de las partes de la planta, mientras que no existe diferencia significativa para el

obtenido a escala planta piloto en función de las partes de la planta, resultados de las tablas tabla XCVI y tabla XCVIII respectivamente.

En los resultados de la tabla C, se muestra el análisis de varianza para el índice de refracción del aceite esencial de limón persa obtenido del fruto en función de la escala en la cual se determinó que no existe diferencia significativa, a excepción del índice de refracción del aceite esencial obtenido de las hojas en la cual se determinó que sí existe diferencia significativa en función de la escala, tabla CII.

Otra de las propiedades a evaluar es el pH del aceite esencial extraído a escala laboratorio, los resultados se encuentran tabla CVI y en la figura 8, donde se muestra la tendencia de estos, resultando relativamente más ácidos y manteniéndose en 4 para los aceites de las hojas en las tres procedencias y aumentando a 5 para Suchitepéquez y Santa Rosa y permaneciendo en 4 en el departamento de Escuintla.

Por otro lado, en los resultados de la tabla CXVI y la figura 12, se muestra el comportamiento de los pH obtenidos a escala planta piloto, siendo estos relativamente menos ácidos comparados con los obtenidos a escala laboratorio.

Mediante el análisis químico de cromatografía gaseosa con acoplamiento a espectrometría de masas, se determinó que los componentes químicos para los aceites esenciales extraídos tanto a escala laboratorio como a escala planta piloto presentaron quimiotipos diferentes. Estas sustancias químicas no relacionadas con la familia de los hidrocarburos terpénicos y se encontraron dentro del 20% de la composición global del aceite esencial.

Los resultados de las tablas CXVII muestra que el componente químico mayoritario para el aceite esencial obtenido del flavedo del limón persa proveniente de Suchitepéquez a escala laboratorio es n-Octilfenil cetona, también conocida como nonanofenona, miembro de las alquilfenilcetonas los cuales son compuestos aromáticos que contienen una cetona sustituida con un grupo alquilo y un grupo fenilo, una sustancia que es insoluble en agua y relativamente neutra. Se utiliza en medicina como agente antihelmíntico, un medicamento utilizado para combatir infestaciones por lombrices. En los resultados de la tabla CVIII, se determinó que el componente mayoritario para el aceite esencial obtenido del flavedo de limón persa extraído a escala laboratorio proveniente de Santa Rosa, es 1,2,4-Triazina, uno de los tres isómeros existentes de la familia de las triazinas. La triazina es un anillo bencénico trisustituído por átomos de nitrógeno. Una sustancia muy empleada en la elaboración de las resinas, también se utiliza para fabricar herbicidas. Las triazinas con cloros monosustituídos son empleadas como colorantes reactivos.

El componente mayoritario para el aceite esencial del flavedo de limón persa proveniente de Escuintla a escala laboratorio es el Alcohol 3-metoxibencílico el cual se empleó en un estudio en microbiología y biotecnología aplicada, titulado *Caracterización de cuatro genes de Rhodococcus alcohol deshidrogenasa responsables de la oxidación de alcoholes aromáticos* publicado en el año 2006, tabla CIX.

En los resultados de la tabla CX, se determinó que el componente mayoritario del aceite esencial obtenido de las hojas de limón proveniente de Suchitepéquez a escala laboratorio es el Heneicosano, una sustancia que pertenece a la clase de los alcanos, hidrocarburos acíclicos ramificados o no ramificados. Es de naturaleza lipídica y ha sido detectado, principalmente, en la saliva. Los resultados de la tabla CXI, muestra los componentes químicos

mayoritarios del aceite esencial, obtenido de las hojas de limón persa proveniente de Santa Rosa a escala laboratorio es el ácido bromhídrico con un porcentaje de área de 17,448% y ácido vanílico con un 11,211%. El segundo es un ácido dihidroxibenzoico derivado y usado como agente aromatizante. Es la forma oxidada de la vainillina y considerado como uno de los principales catequinas o antioxidantes en infusiones como té. Finalmente, los resultados de la tabla CXII, muestran con un 11,843% de área barrida en el cromatograma, a la Selenometionina, un aminoácido natural, fuente principal de selenio y también está en los cereales, soja y leguminosas. Desempeña un papel como antioxidante endógeno en los seres vivos.

En el caso del aceite esencial obtenido a escala piloto, se detectaron un abanico de quimiotipos de la familia de octanos, ácidos orgánicos, alcoholes y alquenos. En los resultados de la tabla CXVII, para el aceite esencial obtenido del flavedo de limón persa procedente de Suchitepéquez a escala planta piloto, se detectó Octacosano el cual es un alcano constituido por 28 carbonos, posee naturaleza lipídica, y al igual que Heiconsano, se ha detectado en la saliva.

Igual que en la tabla CXI, el ácido vanílico se encuentra como componente mayoritario en el aceite esencial que se obtuvo del flavedo del limón persa proveniente de Santa Rosa a escala planta piloto, con un 20,792% de área, tabla CXVIII. En los resultados de la tabla CXIX, se encuentra hexano, residuo del solvente de captura detectado que no se separó del todo, durante el proceso rotaevaporativo; sin embargo, en segunda posición y con un 12,13% de área se tiene a la hidroxianfetamina, una amina con propiedades adrenérgicas que tiene aplicaciones en la formulación de colirios para efectos estimulantes en la dilatación de las pupilas, aumento del flujo de humor y vasoconstricción.

En los resultados de la tabla CXX se detectó que el componente mayoritario para el aceite esencial obtenido de las hojas de limón persa proveniente de Suchitepéquez a escala planta piloto es 2,4 2-Pentalenol, un hidrocarburo policíclicomonohidroxiado. Por otro lado, en la tabla CXXI se encontró Octatrieno, un alqueno constituido por una cadena hidrocarbonada de ocho carbonos con tres enlaces dobles alternados en una estructura no ramificada, detectada en el aceite esencial obtenido de las hojas de limón persa proveniente de Santa Rosa a escala planta piloto. Finalmente, el componente químico mayoritario en el aceite esencial obtenido de las hojas del limón persa proveniente de Escuintla a escala planta piloto es la 3-Hidroxipiridina, un derivado de la piridina, monohidroxiado en la posición 3. Es un intermediario en la síntesis de diversas sustancias biológicamente activas como medicamentos o herbicidas.



## CONCLUSIONES

1. Existe diferencia significativa para el rendimiento extractivo del aceite esencial de limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) en función de las partes de la planta: flavedo y hojas.
2. Existe diferencia significativa para el rendimiento extractivo del aceite esencial de limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) en función de la escala: laboratorio y planta piloto.
3. Existe diferencia significativa para el rendimiento extractivo del aceite esencial de limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) para el fruto y hojas a escala planta piloto y para el fruto a escala laboratorio en función de la procedencia, y no existe diferencia significativa para las hojas a escala laboratorio en función de la procedencia.
4. No existe diferencia significativa en la densidad del aceite esencial de limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) para hojas y frutos a escala laboratorio y planta piloto en función de la procedencia.
5. Existe diferencia significativa para la densidad del aceite esencial de limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) en función de las partes de la planta: flavedo y hojas.

6. Existe diferencia significativa para la densidad del aceite esencial de limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) del fruto en función de la escala y no existe diferencia significativa para la densidad del aceite esencial de hojas en función de la escala.
7. Existe diferencia significativa para el índice de refracción del aceite esencial de limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) obtenido de las hojas a escala laboratorio y planta piloto en función de la procedencia y no existe diferencia significativa para el fruto a escala laboratorio y escala planta piloto en función de la procedencia.
8. Existe diferencia significativa para el índice de refracción del aceite esencial de limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) para la escala laboratorio en función de las partes de la planta y no existe diferencia significativa para la escala planta piloto en función de las partes de la planta.
9. No existe diferencia significativa para el índice de refracción del aceite esencial de limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) obtenido del fruto en función de la escala y si existe diferencia significativa para las hojas en función de la escala.
10. Mediante el análisis químico de cromatografía gaseosa con acoplamiento a espectrometría de masas, se determinó que los componentes químicos para los aceites esenciales extraídos a escala laboratorio y planta piloto presentaron quimiotipos diferentes, siendo los componentes mayoritarios, n-Octilfenil cetona, 1,2,4- Triazina y Alcohol 3-metoxibencílico, Heneicosano, Ácido bromhídrico y Selenometionina, Octacosano, Hexano, y Ácido Vanílico, 2-Pentalenol, Octatrieno y 3-Hidroxi piridina.

## RECOMENDACIONES

1. Realizar un estudio para la determinación del aceite esencial de limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) en función de diversos tipos de tamizaje para evaluar el rendimiento extractivo.
2. Realizar un en estudio para la determinación del aceite esencial de limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) en función del tiempo de extracción a escala laboratorio y compararla con escala planta piloto.
3. Realizar estudios para la evaluación y extracción de aceite esencial de limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) en función de otras procedencias guatemaltecas.
4. Realizar estudios para la evaluación y extracción del aceite esencial de limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) en función del tallo para diferentes procedencias.
5. Realizar estudios para la aplicación del aceite esencial de limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) para la elaboración de geles, perfumes o cremas.
6. Realizar estudios para la evaluación y determinación de aceite fijo de limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) de las semillas del fruto en función del tamaño de partícula y tiempos extractivos.



## BIBLIOGRAFÍA

1. ADAM, K.P., Zapp, j., *Phytochemistry*. Estados Unidos: McGraw-Hill, 1998. 1054 p.
2. ANDRÉS, Carmen Juan. *Estudio de factibilidad de la extracción del aceite esencial del epicarpio del limón persa (Citrus latifolia Tanaka), a escala laboratorio y escala planta piloto, realizado en el centro de investigaciones de ingeniería, USAC*. Trabajo de graduación de Ingeniería en Industrias Agropecuarias y Forestales. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala. 2014. 80 p.
3. Asociación Nacional del Café ANACAFE. *Cultivo de limón persa*. [en línea <[http://anacafe.org/glifos/index.php?title=Cultivo\\_de\\_limón\\_persa](http://anacafe.org/glifos/index.php?title=Cultivo_de_limón_persa)> [Consulta: 14 abril de 2016].
4. ATTI-SANTOS Cristina. *Extraction of Essential Oils from Lime (Citrus latifolia Tanaka) by Hydrodistillation and Supercritical Carbon Dioxide*. Instituto de Biotecnology. Brazi Vol. 48, 250 p.
5. BANDONI, Arnoldo. *Los Recursos Vegetales Aromáticos en Latinoamérica: Su aprovechamiento industrial para la producción de aromas y sabores*. Ciencia y Tecnología para el desarrollo. Facultad de Farmacia y Bioquímica, Universidad de Buenos Aires. 2002. 260 p.

6. BASER CAN, Husnu K, Buchbauer Gerhard. *Handbook of Essential Oils Science, Technology, and Applications*. 1a ed. Estados Unidos: Palibrio , 2010. 860 p.
7. BAREL O. André, Paye Marc, & Maibach I. Howard. *Handbook of Cosmetic, Science and Tecnology*. Estados Unidos: Marcel Dekker, 2001. 560 p.
8. CACERES, Armando. *Plantas de uso medicinal en Guatemala*. Editorial Universitaria. 1a. ed. [en línea] <[http://www.infoagro.com/cítricos/limon\\_persa.htm](http://www.infoagro.com/cítricos/limon_persa.htm)> [Consulta: 16 de abril de 2016].
9. DE JESÚS, Vanegas Mauricio. Ministerio de Agricultura y Ganadería. *Guía técnica cultivo del limón pérsico*. 1a ed. Nueva San salvador: Oceano, 2002. 590 p.
10. ESTRADA JIRÓN, Joana Betzabé. *Extracción del aceite esencial del flavedo de la naranja dulce (Citrus sinensis L.) Variedad valencia, proveniente de desechos agroindustriales, utilizando el método de destilación por arrastre de vapor a nivel de planta piloto, para la elaboración de cosméticos*. Trabajo de graduación de Ingeniería Química. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala. 2015. 274 p.
11. GONZÁLES, Fernando. *Compilación bibliográfica del limón persa (Citrus latifolia)*. Universidad Veracruzana. México: Cajica, 2011. 260 p.

12. GUENTHER, Ernest. *The Essentials Oils*. Vol. III. Estados Unidos: Van Nostrand, 1996. 220 p.
13. LOSSINISHTAL, Estefani Anna. *Obtención del aceite esencial del flavedo 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 Ingeniería química. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. 2012. 146p.
14. 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 ingeniería química. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala. 2008. 285 p.
15. MARTÍNEZ M. Alejandro. *Aceites esenciales*. Universidad de Antioquia Colombia: Voluntad, 2003. 270 p.
16. MCCABE, Warren y SMITH, Julián; HARRIOT, Peter. *Operaciones Unitarias en Ingeniería Química*. 4ta. ed. México: Mc Graw Hill, 2002. 1114 p.
17. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación MAGA. *Perfil comercial del limón*. [en línea] Web.<<http://web.maga.gob.gt/download/Perfil%20limon.pdf>>[Consulta 17 de abril de 2016].

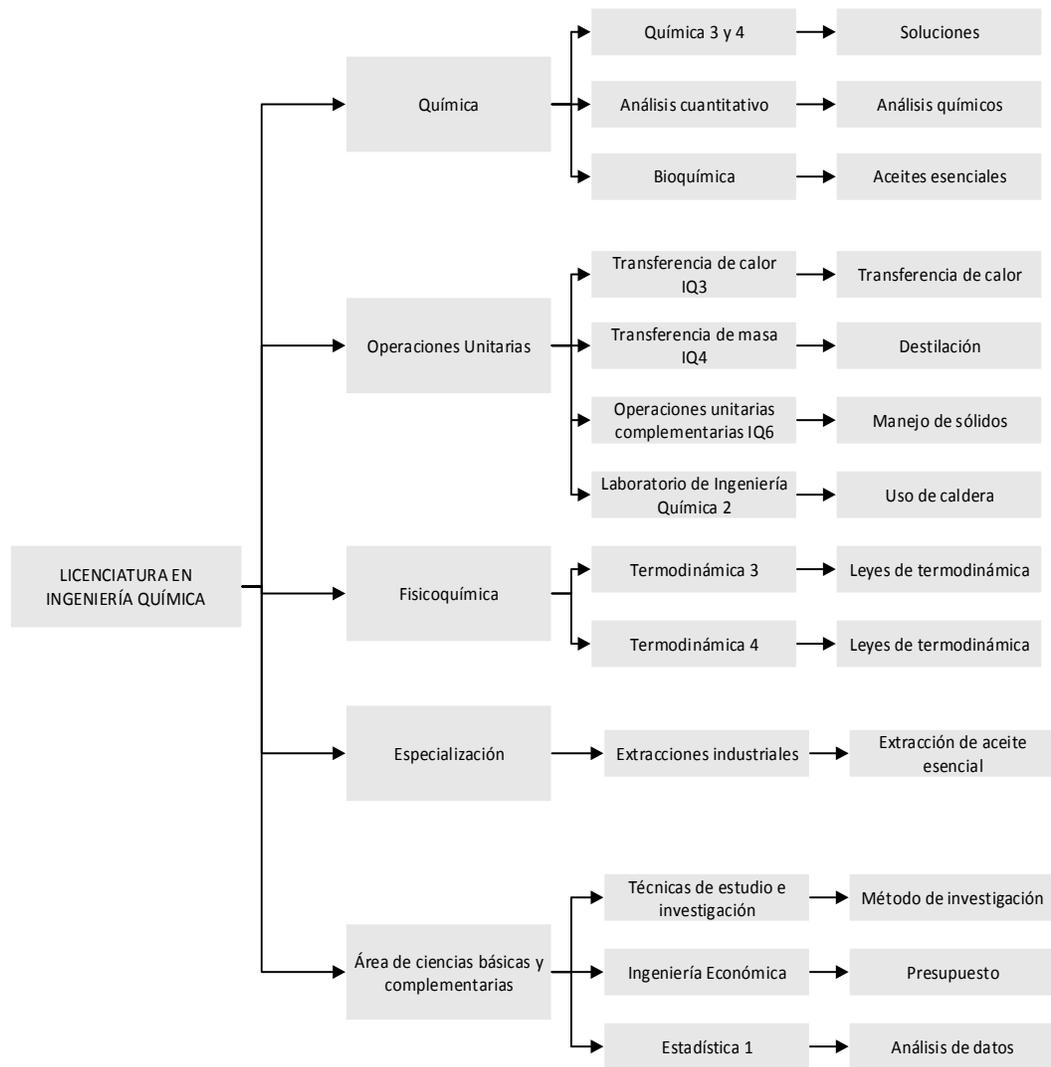
18. MOTT, Robert L. *Mecánica de fluidos aplicada*. 6ta. ed. México: Pearson Education, 2006. 647 p.
19. ORTIZ QUIROA, Cinthya Patricia. *Obtención y comparación fisicoquímica a nivel laboratorio del aceite esencial de laurel de dos diferentes especies (Litseaguatemalensis Mez y Litseaglaucescens HBK.) colectadas en tres diferentes lugares*. Trabajo de graduación de ingeniería química. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala. 2005, 240p.
20. ORTUÑO SÁNCHEZ, Manuel Fco. *Manual práctico de Aceites esenciales, aromas y perfumes*. 2da ed. España: Aiyana, 2006. 276 p.
21. RUIZ MUÑOZ, David. *Manual de Estadística*. 2004. [en línea] <<http://www.eumed.net/cursecon/libreria/drm/drm-estad.pdf>>. [Consulta 17 de abril de 2016].
22. 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 graduación de ingeniería química. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala. 2013. 314 p.

23. 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 costacuca, Quetzaltenango y Alotenango, Sacatepéquez*. Trabajo de graduación de ingeniería química. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.. 2015, 250 p.
  
24. YAMAUCHI, Y. and SATO, M. Fractionation of lemon-peel oil by semi-preparative supercritical fluid chromatography. *Journal of Chromatography*. Estados Unidos: Tokyopop, 1990. 260 p.



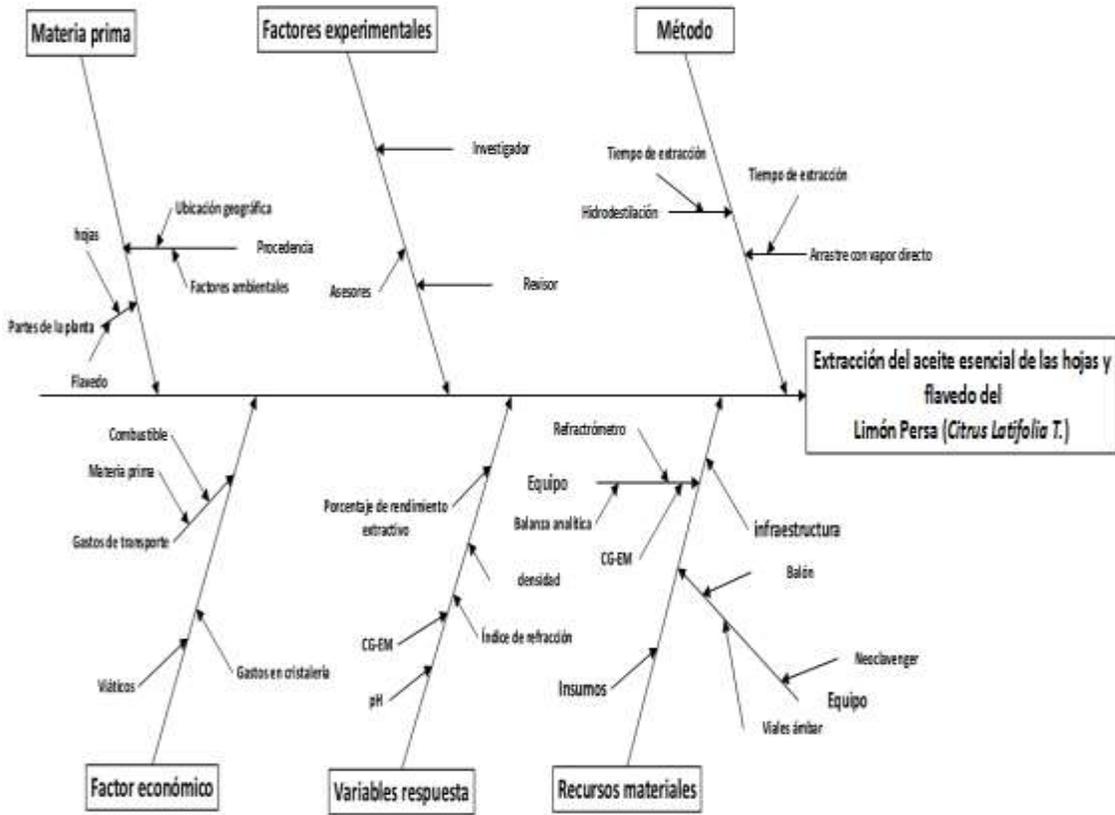
# APÉNDICES

## Apéndice 1. Requisitos académicos



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. Diagrama de Ishikawa o árbol del problema



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. **Recolección de materia prima de fruto y hojas del limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) de las procedencias de Suchitepéquez, Escuintla y Santa Rosa**



Fuente: Laboratorio de Investigaciones de Extractos Vegetales (LIEVVE) septiembre 2017.

Apéndice 4. **Proceso de preparación y adecuación de la materia prima de la planta de limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) para la obtención del flavedo y hojas**



Fuente: Laboratorio de Investigaciones de Extractos Vegetales (LIECVE) septiembre 2017.

Apéndice 5. **Extracción de aceite esencial de limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) método de hidrodestilación a escala laboratorio**



Fuente: Laboratorio de Investigaciones de Extractos Vegetales (LIEXVE) enero 2018.

Apéndice 6. **Planta Piloto de extracción y destilación con arrastre de vapor directo para el aceite esencial de limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka).**



Fuente: Laboratorio de Investigaciones de Extractos Vegetales (LIECVE) enero 2018.

Apéndice 7.

**Caldera pirotubular de 10 Hp utilizada para la generación de vapor en la planta piloto de extracción destilación para el proceso extractivo del aceite esencial de limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka)**



Fuente: Laboratorio de Investigaciones de Extractos Vegetales (LIECVE) enero 2018.

Apéndice 8. **Aceite esencial de limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) extraído a escala laboratorio (a la izquierda) y escala planta piloto (a la derecha)**



Fuente: Laboratorio de Investigaciones de Extractos Vegetales (LIECVE) septiembre 2017.

Apéndice 9. **Determinación del Índice de refracción para el aceite de limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) para la obtención del flavedo y hojas.**



Fuente: Laboratorio de Investigaciones de Extractos Vegetales (LIECVE) enero 2018.

Apéndice 10. **Rotoevaporador equipo utilizado para retirar el solvente de captura (hexano) del aceite esencial de limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) a escala planta piloto**

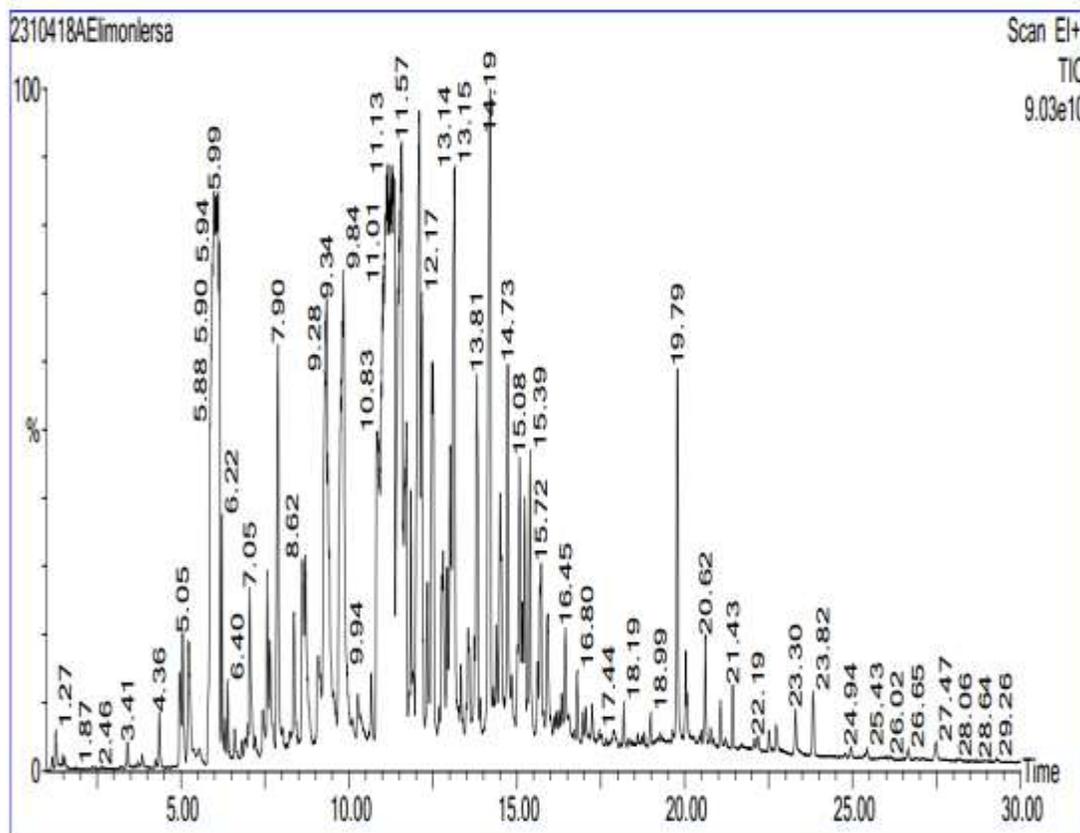


Fuente: Laboratorio de Investigaciones de Extractos Vegetales (LIECVE) enero 2018.



## ANEXOS

Anexo 1. **Cromatografía de gases con acoplamiento a espectrometría de masas GC-MS para el aceite esencial de limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) obtenido del fruto a escala laboratorio para el departamento de Escuintla**



Continuación del anexo 1.

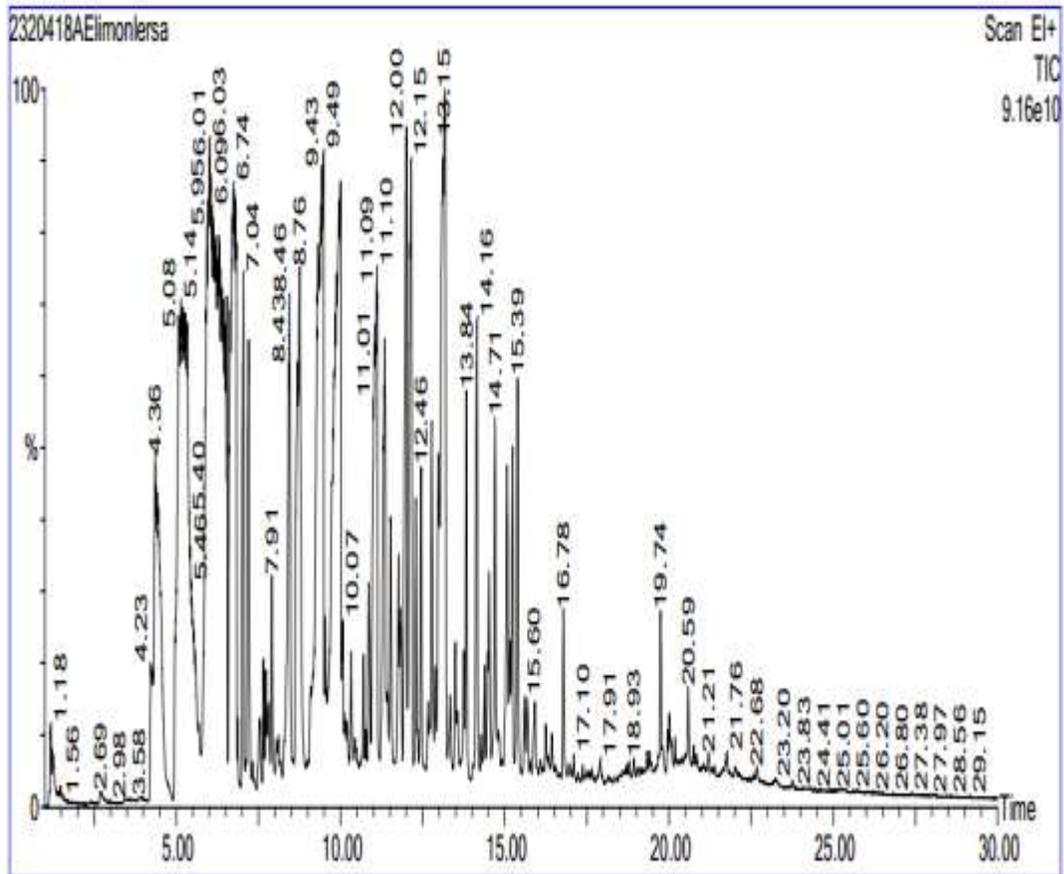
### Library Search Report

File: C:\TURBOMASS\SEM\VOCS.PRO\Data\2310418AE\moniera.raw  
 Acquired: 06-Apr-18 09:30:24 AM Printed: 06-Apr-18 12:21 PM  
 Description: 231.04.18 Escuintla fruto planta piloto  
 GC/MS Method: GC: Aceite esencia120214ma2.mth MS: Aceite esencial120214 Page 1 of 11  
 Sample ID: 231.04.18 Escuintla fruto planta piloto Vial Number: 0

Pk #	RT	Hit	Compound Name	Match	R.Match	Prob.	CAS	Library
1	1.274	1	1-Pentadecanamine, N,N-dimethyl-	922	931	0.0	17678-60-3	mainlib
		2	1-Tridecanamine, N,N-dimethyl-	921	930	0.0	17373-29-4	mainlib
		3	1-Nonadecanamine, N,N-dimethyl-	908	925	0.0	49859-87-2	mainlib
2	3.414	1	Cyclopentane, 1-methyl-3-(1-methylethyl)-	972	978	0.0	53771-88-3	mainlib
		2	Cyclohexane, (1-methylpropyl)-	918	933	0.0	7058-01-7	replib
		3	Cyclohexane, (1-methylbutyl)-	923	926	0.0	61208-94-4	mainlib
3	3.850	1	Nonane	972	985	0.0	111-84-2	mainlib
		2	Nonane	974	975	0.0	111-84-2	replib
		3	Nonane	957	974	0.0	111-84-2	replib
4	4.360	1	(1R)-2,6,6-Trimethylbicyclo[3.1.1]hept-2-ene	979	988	0.0	7785-70-8	replib
		2	$\alpha$ -Pinene	983	987	0.0	80-56-8	replib
		3	$\alpha$ -Pinene	965	985	0.0	80-56-8	mainlib
5	4.970	1	Bicyclo[3.1.0]hexane, 4-methylene-1-(1-methylethyl)-	944	946	0.0	3387-41-5	mainlib
		2	3-Carene	898	931	0.0	13466-78-9	replib
		3	1-Methylene-2-vinylcyclopentane	645	931	0.0	6196-78-7	mainlib
6	5.050	1	Bicyclo[5.1.0]octane, 8-methylene-	560	918	0.0	54211-15-3	mainlib
		2	1-Methylene-2-vinylcyclopentane	497	915	0.0	6196-78-7	mainlib
		3	2,6-Dimethyl-1,3,6-heptatriene	671	906	0.0	928-67-6	mainlib
7	5.220	1	$\alpha$ -Pinene	937	957	0.0	127-91-3	mainlib
		2	1-Methylene-2-vinylcyclopentane	587	955	0.0	6196-78-7	mainlib
		3	Bicyclo[3.1.1]heptane, 6,6-dimethyl-2-methylene-, (1S)-	916	952	0.0	18172-67-3	replib
8	5.375	1	Decane	924	953	0.0	124-18-5	replib
		2	Decane	917	943	0.0	124-18-5	replib
		3	Decane	911	938	0.0	124-18-5	replib

Fuente: Departamento de Toxicología, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia.

Anexo 2. **Cromatografía de gases con acoplamiento a espectrometría de masas GC-MS para el aceite esencial de limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) obtenido del fruto a escala planta piloto**



Continuación del anexo 2.

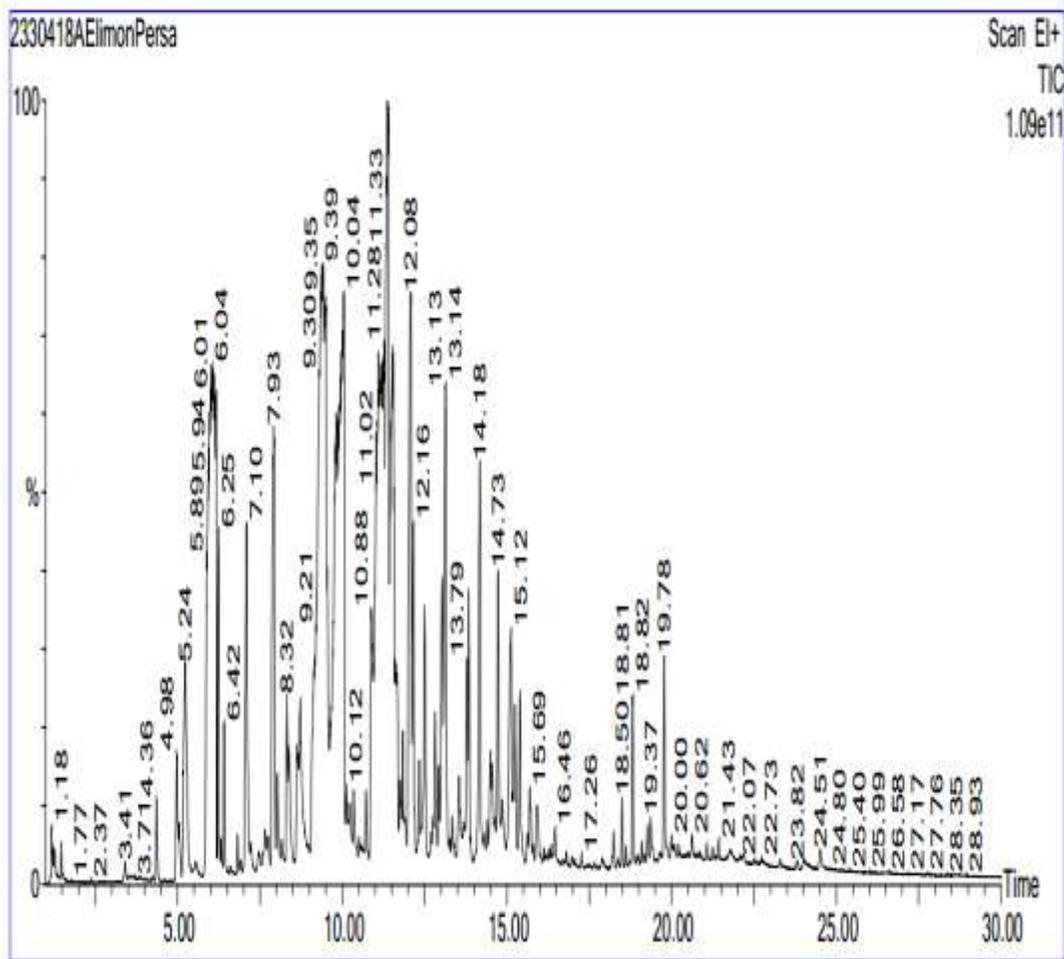
### Library Search Report

File: C:\TURBOMASS\SEMIVOCs.PRO\Data\2320418AE\monlora.raw  
 Acquired: 06-Apr-18 10:11:31 AM Printed: 10-Apr-18 11:40 AM  
 Description: 232.04.18 Escudilla fruto Laboratorio  
 GC/MS Method: GC: Acelite esencial120214ms2.mth MS: Acelite esencial120214 Page 1 of 11  
 Sample ID: 232.04.18 Escudilla fruto Laboratorio Vial Number: 0

PK #	RT	Hit	Compound Name	Match	R.Match	Prob.	CAS	Library
1	1.178	1	1-Propene, 2-methyl-	426	711	0.0	115-11-7	replib
		2	1-Propene, 2-methyl-	421	703	0.0	115-11-7	replib
		3	Cyclobutane	421	703	0.0	287-23-0	replib
2	1.259	1	1-Propanamine, 3-dibenzo(b,e)thiepin-11(6H)-ylidene-N,N-dimethyl-, S-oxide	917	976	0.0	1447-71-8	mainlib
		2	Ethylamine, 2-((p-bromo-à-methyl-à-phenylbenzyl)oxy)-N,N-dimethyl-	886	976	0.0	3565-72-8	mainlib
		3	Betaine aldehyde cation	916	975	0.0		nist_msms
3	1.479	1	3-Buten-2-ol, 2-methyl-	964	975	0.0	115-18-4	mainlib
		2	3-Buten-2-ol, 2-methyl-	951	962	0.0	115-18-4	replib
		3	3-Buten-2-ol, 2-methyl-	926	952	0.0	115-18-4	replib
4	2.709	1	Cyclohexane, (1,1-dimethylethyl)-	736	887	0.0	3178-22-1	replib
		2	Hexanal	788	883	0.0	66-25-1	replib
		3	Cyclohexane, (1,1-dimethylethyl)-	753	839	0.0	3178-22-1	replib
5	4.360	1	3-Octen-5-yne, 2,7-dimethyl-, (E)-	921	922	0.0	55956-33-7	mainlib
		2	Bicyclo[5.1.0]octane, 8-methylene-	543	910	0.0	54211-15-3	mainlib
		3	3-Penten-1-yne, 3-methyl-	352	906	0.0	1574-33-0	mainlib
6	5.140	1	3-Methoxybenzyl alcohol	294	880	0.0	6971-51-3	nist_msms
		2	1-Cyclopentylethanol	312	842	0.0	52829-98-8	nist_msms
		3	3-Methoxybenzyl alcohol	313	826	0.0	6971-51-3	nist_msms
7	6.025	1	Pyridine, 3-(2-propenyloxy)-	238	874	0.0	18343-04-9	mainlib
		2	Benzaldehyde	272	809	0.0	100-52-7	mainlib
		3	Thiophene-2-ol, benzoate	257	800	0.0	16693-98-4	mainlib
8	6.306	1	Fumaric acid, decyl 2-phenylethyl ester	319	684	0.0		mainlib
		2	Methyl 2-chloroisopentanoate	132	684	0.0		mainlib
		3	Fumaric acid, dodecyl 2-phenylethyl ester	317	676	0.0		mainlib
9	6.741	1	3-Methyl-2-buten-1-ol	127	999	0.0	556-82-1	nist_msms
		2	2-Methyl-3-buten-2-ol	127	997	0.0	115-18-4	nist_msms
		3	cis-2-Penten-1-ol	127	997	0.0	1576-95-0	nist_msms

Fuente: Departamento de Toxicología, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia.

Anexo 3. **Cromatografía de gases con acoplamiento a espectrometría de masas GC-MS para el aceite esencial de limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) obtenido de las hojas a escala laboratorio para el departamento de Escuintla**



Continuación del anexo 3.

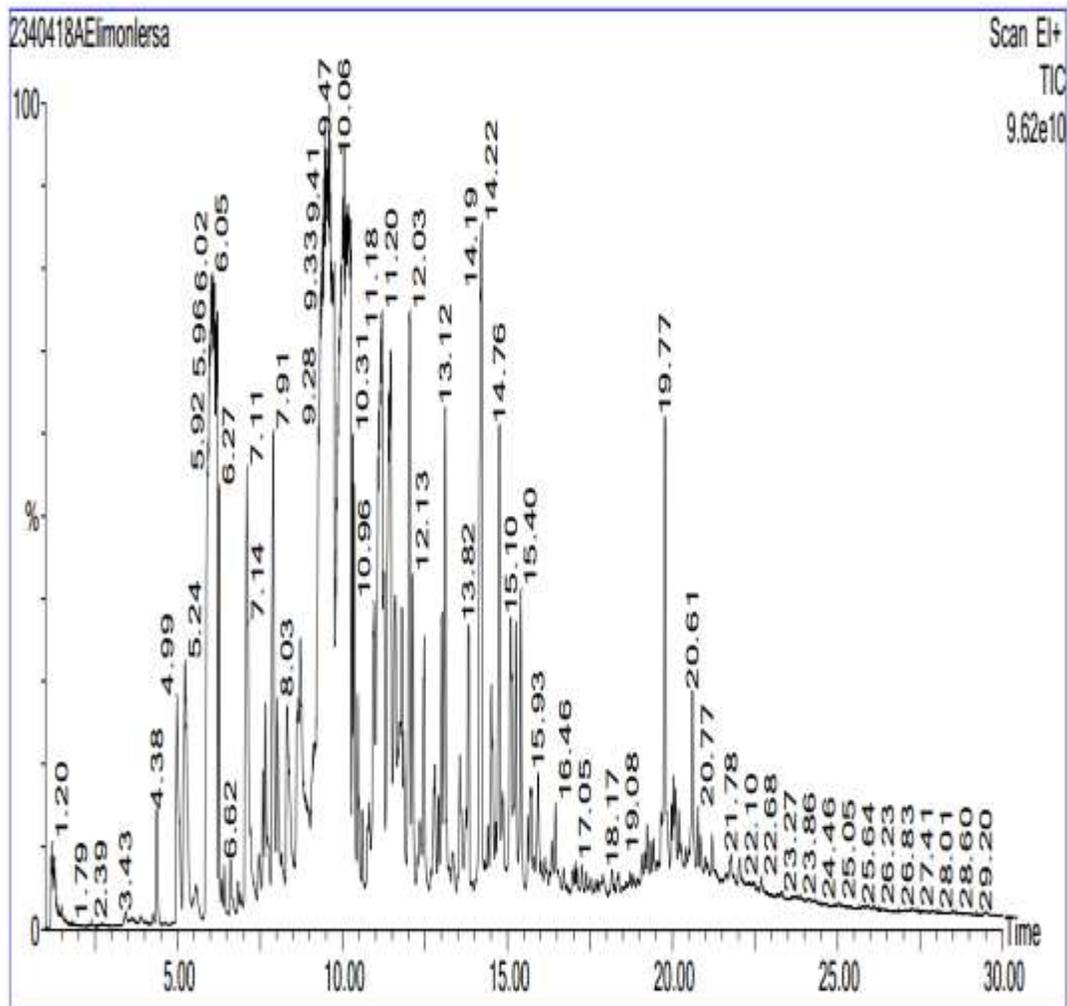
### Library Search Report

File: C:\TURBOMASS\SEM\VOCS\_PROD\data\2330418\AEI\monPera.raw  
 Acquired: 06-Apr-18 11:48:29 AM Printed: 11-Apr-18 12:23 PM  
 Description: 233.04.18 Esculinia hojas Laboratorio  
 GC/MS Method: GC: Aceite esencial120214.ms2.mth MS: Aceite esencial120214 Page 1 of 11  
 Sample ID: 233.04.18 Esculinia hojas Laboratorio Vial Number: 0

PK #	RT	Hit	Compound Name	Match	R.Match	Prob.	CAS	Library
1	1.178	1	2-Aminocycanoacetamide	921	921	0.0	6719-21-7	mainlib
		2	2H-Tetrazole, 2-methyl-	872	872	0.0	16681-78-0	mainlib
		3	1,4-Dioxane-2,5-dione, 3,6-dimethyl-, (3S-cis)-	861	861	0.0	4511-42-6	mainlib
2	1.259	1	3-Amino-1-propanol	936	980	0.0	156-87-6	nist_msms
		2	1-Propanamine, 3-(benzo[b,e]thiepin-11(6H)-ylidene-N,N-dimethyl-, S-oxide	938	979	0.0	1447-71-8	mainlib
		3	Betaine	913	953	0.0	107-43-7	nist_msms
3	1.474	1	3-Buten-2-ol, 2-methyl-	962	980	0.0	115-18-4	mainlib
		2	3-Buten-2-ol, 2-methyl-	934	973	0.0	115-18-4	replib
		3	3-Buten-2-ol, 2-methyl-	950	970	0.0	115-18-4	replib
4	3.414	1	Cyclopentane, 1-methyl-3-(1-methylethyl)-	976	979	0.0	53771-88-3	mainlib
		2	Cyclohexane, (1-methylpropyl)-	920	941	0.0	7058-01-7	replib
		3	Cyclohexane, (1-methylpropyl)-	902	925	0.0	7058-01-7	mainlib
5	4.365	1	$\Delta$ -Pinene	992	992	0.0	80-56-8	replib
		2	(1R)-2,6,6-Trimethylbicyclo[3.1.1]hept-2-ene	989	991	0.0	7785-70-8	replib
		3	Tricyclo[2.2.1.0(2,6)]heptane, 1,3,3-trimethyl-	983	987	0.0	488-97-1	replib
6	4.975	1	Bicyclo[3.1.0]hexane, 4-methylene-1-(1-methylethyl)-	957	958	0.0	3387-41-5	mainlib
		2	Cyclohexane, 4-methylene-1-(1-methylethyl)-	866	945	0.0	99-84-3	mainlib
		3	3-Carene	910	942	0.0	13466-78-9	replib
7	5.050	1	3-Methylxanthine	361	839	0.0	1076-22-8	nist_msms
		2	$\Delta$ -Myrcene	807	832	0.0	123-35-3	replib
		3	$\Delta$ -Myrcene	804	832	0.0	123-35-3	mainlib
8	5.235	1	1-Methylene-2-vinylcyclopentane	519	952	0.0	6196-78-7	mainlib
		2	3-Methylenecycloheptene	503	923	0.0	34564-56-2	mainlib
		3	2-Cyclopenten-1-one, 2,3,5-trimethyl-4-methylene-	478	907	0.0	29765-85-3	mainlib
9	5.550	1	3-Carene	777	939	0.0	13466-78-9	replib
		2	4-Carene, (1S,3S,6R)-(-)-	779	938	0.0	5208-50-4	mainlib
		3	4-Carene, (1S,3R,6R)-(-)-	777	927	0.0	5208-49-1	mainlib
10	6.035	1	Phenethylamine, p, $\alpha$ -dimethyl-	359	931	0.0	64-11-9	mainlib
		2	3-Hexen-1-yne	301	847	0.0	2806-56-6	mainlib
		3	Methyl 2-hydroxy-4-methoxybenzoate	366	840	0.0	5446-02-6	nist_msms

Fuente: Departamento de Toxicología, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia.

Anexo 4. **Cromatografía de gases con acoplamiento a espectrometría de masas GC-MS para el aceite esencial de limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) obtenido de las hojas a escala laboratorio para el departamento de Santa Rosa**



Continuación del anexo 4.

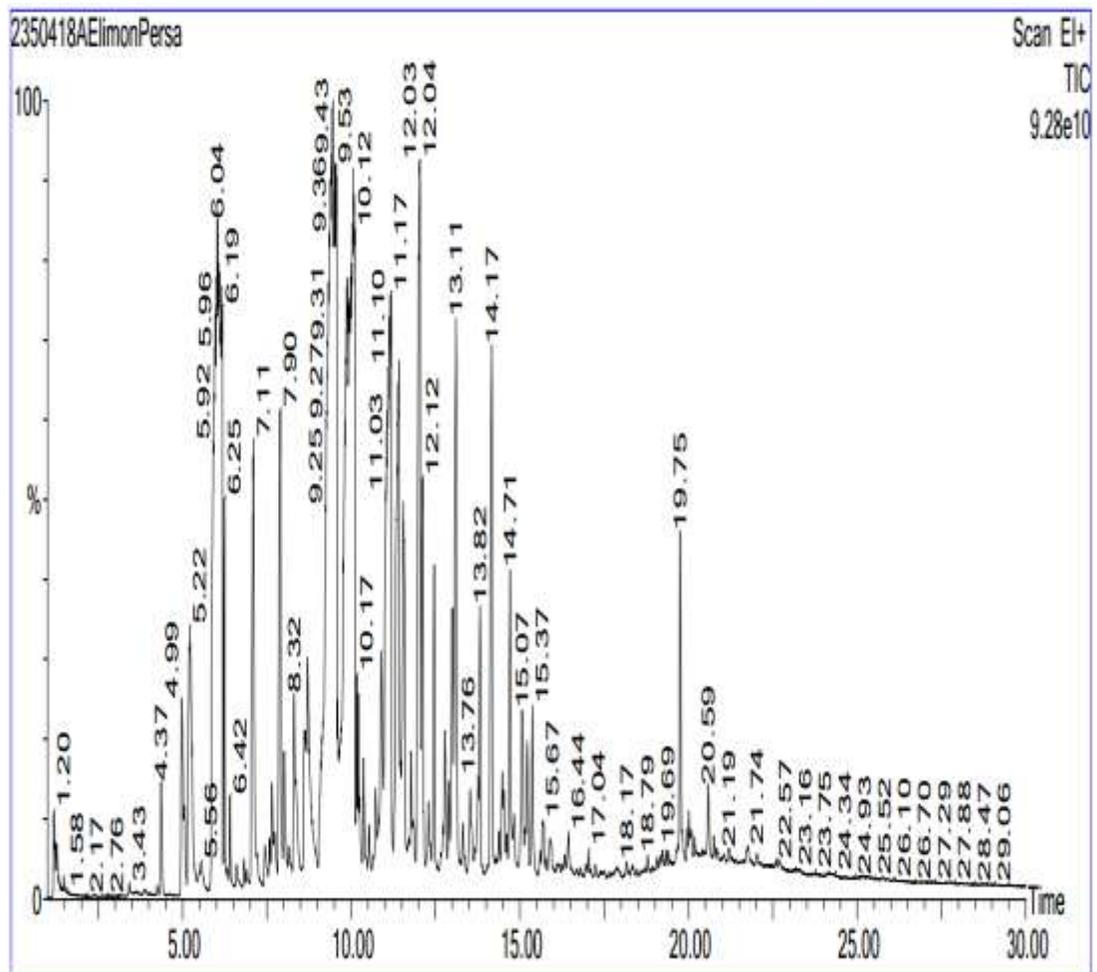
### Library Search Report

File: C:\TURBOMASS\SEM\VOCS\_PROD\data\2340418AE\monlorosa.raw  
 Acquired: 06-Apr-18 12:35:13 PM Printed: 11-Apr-18 12:31 PM  
 Description: 234.04.18 Sta. Rosa hojas Laboratorio  
 GC/MS Method: GC: Aceite esencial120214ms2.mth MS: Aceite esencial120214 Page 1 of 11  
 Sample ID: 234.04.18 Sta. Rosa hojas Laboratorio Vial Number: 0

Pk #	RT	Hit	Compound Name	Match	R.Match	Prob.	CAS	Library
1	1.178	1	Azetidina, 1-chloro-	502	502	0.0	32115-53-0	mainlib
		2	Azetidina, 1-chloro-	495	495	0.0	32115-53-0	replib
		3	2-Chloropropionyl chloride	492	492	0.0	7623-09-8	replib
3	1.274	1	Betaine	921	979	0.0	107-43-7	nist_msms
		2	Betaine aldehyde cation	918	976	0.0		nist_msms
		3	Betaine	917	975	0.0	107-43-7	nist_msms
4	1.494	1	3-Buten-2-ol, 2-methyl-	921	961	0.0	115-18-4	mainlib
		2	3-Buten-2-ol, 2-methyl-	908	948	0.0	115-18-4	replib
		3	3-Buten-2-ol, 2-methyl-	887	946	0.0	115-18-4	replib
5	3.429	1	Cyclopentane, 1-methyl-3-(1-methylethyl)-	955	963	0.0	53771-86-3	mainlib
		2	Cyclopentane, (2-methylpropyl)-	916	927	0.0	3788-32-7	replib
		3	Cyclohexane, (1-methylpropyl)-	891	916	0.0	7058-01-7	replib
6	4.380	1	(1R)-2,6,6-Trimethylbicyclo[3.1.1]hept-2-ene	972	978	0.0	7785-70-8	replib
		2	$\alpha$ -Pinene	952	975	0.0	80-56-8	mainlib
		3	Tricyclo[3.2.1.0(2,4)]octane, 8-methylene-, (1 $\alpha$ ,2 $\alpha$ ,4 $\alpha$ ,5 $\alpha$ )-	491	971	0.0	38310-48-4	mainlib
7	4.990	1	1-Methylene-2-vinylcyclopentane	597	940	0.0	6196-78-7	mainlib
		2	Bicyclo[2.2.1]heptane, 7,7-dimethyl-2-methylene-	915	922	0.0	471-84-1	replib
		3	3-Carene	886	921	0.0	13466-78-9	replib
8	5.235	1	5-Hepten-2-one, 6-methyl-	842	933	0.0	110-93-0	replib
		2	Silabenzene, 1-methyl-	357	932	0.0	63878-65-9	mainlib
		3	1,2-Cyclooctadiene	362	896	0.0	7124-40-5	mainlib
9	5.575	1	Piperazine, 1,4-dinitro-	339	909	0.0	4164-37-8	mainlib
		2	Val-Glu-Lys	346	864	0.0		nist_msms
		3	Octanal	567	861	0.0	124-13-0	replib
10	6.045	1	2-Hydroxy-3-methoxybenzoic acid	246	869	0.0	877-22-5	nist_msms
		2	2-Hydroxy-3-methoxybenzoic acid	255	857	0.0	877-22-5	nist_msms
		3	2-Hydroxy-3-methoxybenzoic acid	271	851	0.0	877-22-5	nist_msms

Fuente: Departamento de Toxicología, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia.

Anexo 5. **Cromatografía de gases con acoplamiento a espectrometría de masas GC-MS para el aceite esencial de limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) obtenido de las hojas a escala laboratorio para el departamento de Suchitepéquez**



Continuación del anexo 5.

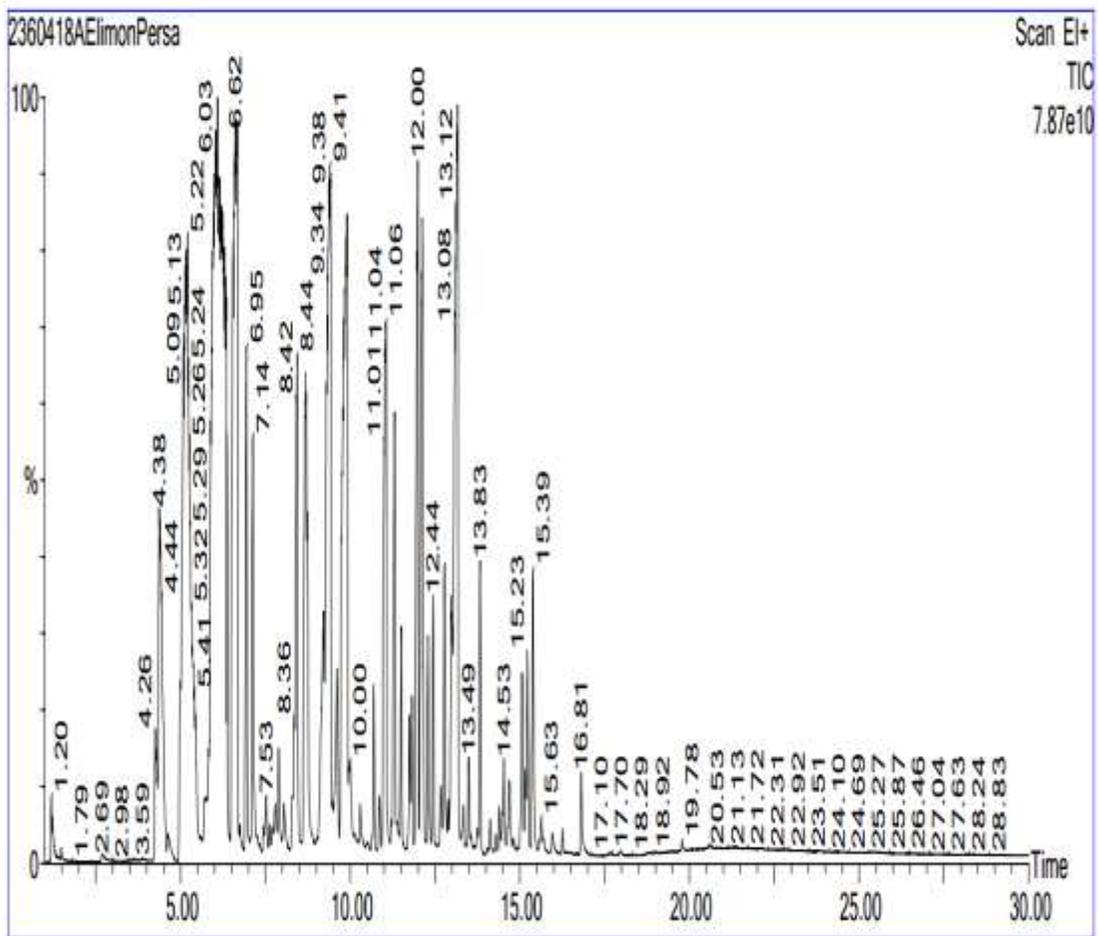
### Library Search Report

File: C:\TURBOMASS\SEMIVOCs.PRO\Data\2350418A\ElmonPeraa.raw  
 Acquired: 06-Apr-18 01:19:43 PM Printed: 11-Apr-18 12:39 PM  
 Description: 235.04.18 Suchitepequez hojas Laboratorio  
 GC/MS Method: GC: Aceite esencial120214ms2.mth MS: Aceite esencial120214 Page 1 of 11  
 Sample ID: 235.04.18 Suchitepequez hojas Laboratorio Vial Number: 0

PK #	RT	Hit	Compound Name	Match	R.Match	Prob.	CAS	Library
1	1.198	1	3-Ureidopropionic acid	625	625	0.0	462-88-4	nist_msms
		2	3-Ureidopropionic acid	576	576	0.0	462-88-4	nist_msms
		3	8-Chloro-1-octanol	550	550	0.0	23144-52-7	nist_msms
2	1.279	1	N-Dimethylaminomethyl-tert.-butyl-isopropylphosphine	943	994	0.0	83718-54-1	mainlib
		2	Betaine	947	982	0.0	107-43-7	nist_msms
		3	3-Amino-1-propanol	944	979	0.0	156-87-6	nist_msms
3	1.489	1	3-Buten-2-ol, 2-methyl-	963	977	0.0	115-18-4	mainlib
		2	3-Buten-2-ol, 2-methyl-	953	967	0.0	115-18-4	replib
		3	3-Buten-2-ol, 2-methyl-	935	965	0.0	115-18-4	replib
4	1.549	1	Cyclopentane, methyl-	932	934	0.0	96-37-7	mainlib
		2	Formic acid, hexyl ester	901	908	0.0	629-33-4	replib
		3	Formic acid, hexyl ester	900	904	0.0	629-33-4	mainlib
5	4.375	1	(1R)-2,6,6-Trimethylbicyclo[3.1.1]hept-2-ene	982	987	0.0	7785-70-8	replib
		2	α-Pinene	974	985	0.0	80-56-8	mainlib
		3	α-Pinene	978	979	0.0	80-56-8	replib
6	4.985	1	Bicyclo[3.1.0]hexane, 4-methylene-1-(1-methylethyl)-	934	935	0.0	3387-41-5	mainlib
		2	1-Methylene-2-vinylcyclopentane	623	923	0.0	6196-78-7	mainlib
		3	Bicyclo[3.1.1]heptane, 6,6-dimethyl-2-methylene-, (1S)-	907	921	0.0	18172-67-3	replib
7	5.220	1	5-Hepten-2-one, 6-methyl-	849	938	0.0	110-93-0	replib
		2	3-Hydroxycapric acid	365	923	0.0	5661-87-5	nist_msms
		3	Stibenzene, 1-methyl-	365	919	0.0	63878-65-9	mainlib
8	5.555	1	3-Carene	667	921	0.0	13466-78-9	replib
		2	4-Carene, (1S,3S,6R)-(-)-	653	899	0.0	5208-50-4	mainlib
		3	Piperazine, 1,4-dinitro-	247	894	0.0	4164-37-8	mainlib
9	6.040	1	Mesalamine	144	948	0.0	89-57-6	nist_msms
		2	3-Hydroxyanthranilic acid	189	908	0.0	548-93-6	nist_msms
		3	Ethanesulfinic acid, methyl ester	174	887	0.0	31401-21-5	mainlib

Fuente: Departamento de Toxicología, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia.

Anexo 6. **Cromatografía de gases con acoplamiento a espectrometría de masas GC-MS para el aceite esencial de limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) obtenido del fruto a escala laboratorio para el departamento de Suchitepéquez**



Continuación del anexo 6.

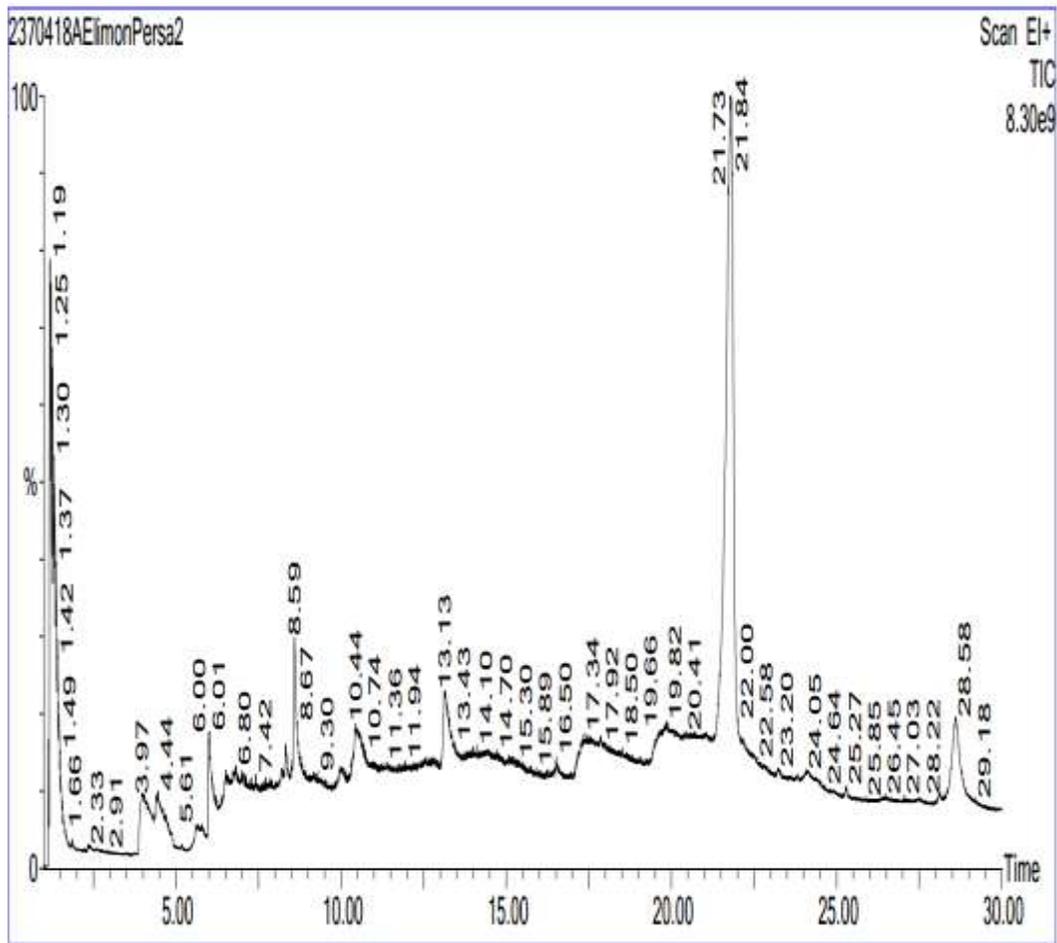
### Library Search Report

File: C:\TURBOMASS\SEMIVOCs.PRO\Data\2380418A\ElimonPerse.raw  
 Acquired: 06-Apr-18 02:28:22 PM Printed: 11-Apr-18 12:42 PM  
 Description: 238.04.18 Suchitepequez Fruto Laboratorio  
 GC/MS Method: GC: Aceite esencia120214ma2.mth MS: Aceite esencial120214 Page 1 of 11  
 Sample ID: 238.04.18 Suchitepequez Fruto Laboratorio Vial Number: 0

PK #	RT	Hit	Compound Name	Match	R.Match	Prob.	CAS	Library
2	1.228	1	2-Methyl-1-butene	922	922	0.0	563-46-2	replib
		2	2-Butene, 2-methyl-	915	915	0.0	513-35-9	replib
		3	Methyl vinyl ketone	898	898	0.0	78-94-4	replib
3	1.489	1	3-Buten-2-ol, 2-methyl-	982	983	0.0	115-18-4	mainlib
		2	3-Buten-2-ol, 2-methyl-	946	960	0.0	115-18-4	replib
		3	3-Buten-2-ol, 2-methyl-	950	956	0.0	115-18-4	replib
4	2.709	1	Hexanal	870	993	0.0	66-25-1	replib
		2	Hexanal	926	982	0.0	66-25-1	replib
		3	1,2-Diamino-2-methylpropane	680	955	0.0	811-93-8	nist_msms
5	3.669	1	Ethanone, 1-(2-methyl-2-cyclopenten-1-yl)-	669	941	0.0	1767-84-6	mainlib
		2	(R)-Lavandulol	634	904	0.0	58461-27-1	nist_msms
		3	Bicyclo[2.2.1]heptan-2-one, 1,3,3-trimethyl-	802	882	0.0	1195-79-5	mainlib
6	3.875	1	Nonane	941	973	0.0	111-84-2	mainlib
		2	Nonane	955	964	0.0	111-84-2	replib
		3	Nonane	933	961	0.0	111-84-2	replib
7	4.265	1	Δ-Phellandrene	960	968	0.0	99-83-2	replib
		2	Bicyclo[3.1.0]hex-2-ene, 2-methyl-5-(1-methylethyl)-	957	966	0.0	2867-05-2	mainlib
		3	Bicyclo[3.1.0]hex-2-ene, 2-methyl-5-(1-methylethyl)-	940	963	0.0	2867-05-2	replib
8	4.380	1	Tricyclo[3.2.1.0(2,4)]octane, 8-methylene-, (1a,2a,4a,5a)-	344	942	0.0	38310-48-4	mainlib
		2	Bicyclo[5.1.0]octane, 8-methylene-	580	920	0.0	54211-15-3	mainlib
		3	3-Octen-5-yne, 2,7-dimethyl-, (E)-	911	911	0.0	55956-33-7	mainlib
9	4.635	1	Camphene	966	966	0.0	79-92-5	replib
		2	Camphene	961	962	0.0	79-92-5	replib
		3	Bicyclo[2.2.1]heptane, 2,2-dimethyl-3-methylene-, (1S)-	954	958	0.0	5794-04-7	mainlib
10	5.215	1	exo-Norbornene	356	949	0.0	497-37-0	nist_msms
		2	2-Norbornanemethanol	338	921	0.0	5240-72-2	nist_msms
		3	1,5-Hexadien-3-ol	288	909	0.0	924-41-4	nist_msms

Fuente: Departamento de Toxicología, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia.

Anexo 7. **Cromatografía de gases con acoplamiento a espectrometría de masas GC-MS para el aceite esencial de limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) obtenido del fruto a escala planta piloto para el departamento de Suchitepéquez**



Continuación del anexo 7.

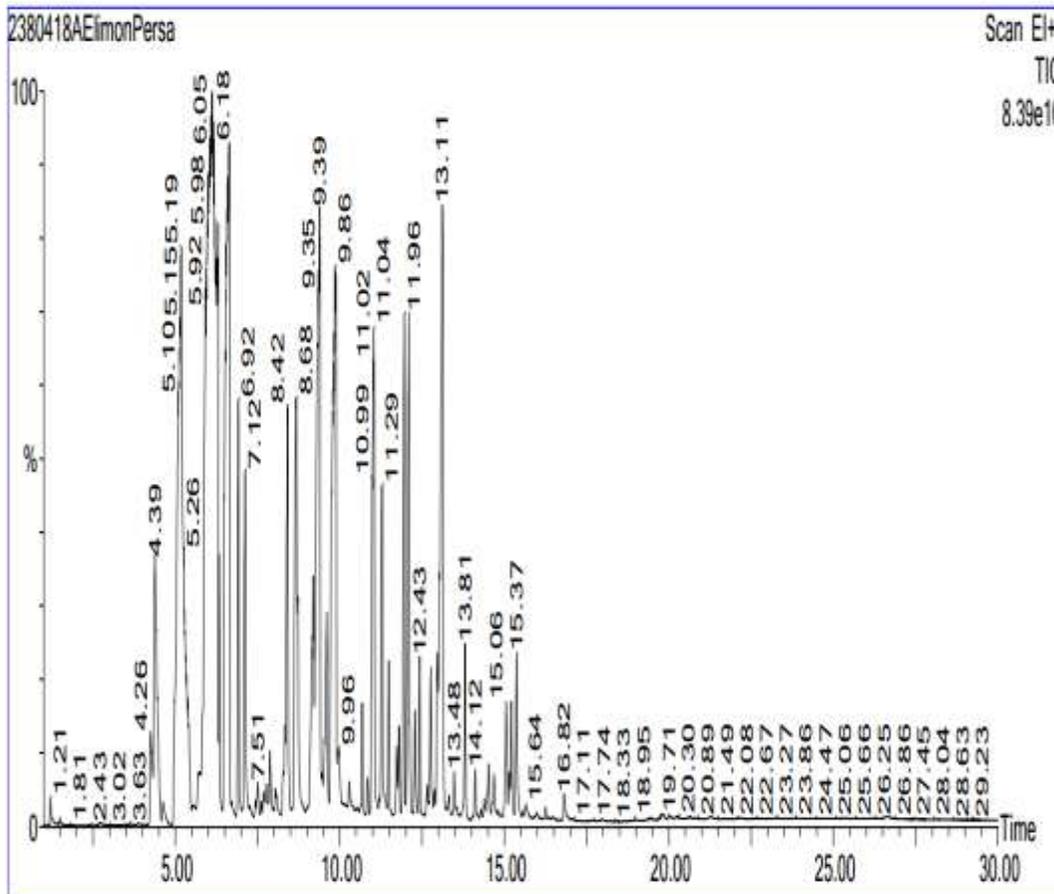
### Library Search Report

File: C:\TURBOMASS\SEMIVOCs.PRO\Data\2370418A\ElimonPersa2.raw  
 Acquired: 10-Apr-18 10:12:18 AM Printed: 11-Apr-18 12:45 PM  
 Description: 237.04.18 Suchitepequez Fruto planta piloto2  
 GC/MS Method: GC: Aceite esencia120214ma2.mth MS: Aceite esencial120214 Page 1 of 10  
 Sample ID: 237.04.18 Suchitepequez Fruto planta piloto2 Vial Number: 0

Pk #	RT	Hit	Compound Name	Match	R.Match	Prob.	CAS	Library
1	1.148	1	Nitrosyl chloride	999	999	0.0	2696-92-6	mainlib
		2	Difluoromethane	876	876	0.0	75-10-5	mainlib
		3	Difluoromethyl difluoromethanesulfonate	820	820	0.0	101817-80-5	mainlib
3	1.229	1	5-Ethyl-1,3-dioxane-5-methanol	492	492	0.0	5187-23-5	nist_msms
		2	5-Ethyl-1,3-dioxane-5-methanol	472	472	0.0	5187-23-5	nist_msms
		3	5-Ethyl-1,3-dioxane-5-methanol	466	466	0.0	5187-23-5	nist_msms
4	1.254	1	Propanal	962	962	0.0	123-38-6	replib
		2	1-Propanamine, 3-dibenzo[b,e]thiepin-11(6H)-ylidene-N,N-dimethyl-, S-oxide	955	955	0.0	1447-71-8	mainlib
		3	Holdenine	891	953	0.0	539-15-1	replib
5	1.299	1	1-(2-Methoxyethoxy)-2-methyl-2-propanol	741	950	0.0	211321-90-3	nist_msms
		2	1-(2-Methoxyethoxy)-2-methyl-2-propanol	738	947	0.0	211321-90-3	nist_msms
		3	1-(2-Methoxyethoxy)-2-methyl-2-propanol	738	946	0.0	211321-90-3	nist_msms
6	1.824	1	Furan, tetrahydro-2,5-dimethyl-, trans-(R)-	564	945	0.0	38484-59-2	mainlib
		2	Furan, tetrahydro-3-methyl-	604	927	0.0	13423-15-9	replib
		3	5,5-Dimethyl-1,3-dioxane	557	904	0.0	872-98-0	mainlib
7	1.874	1	Tetrahydrofuran, 2,2-dimethyl-	790	937	0.0	1003-17-4	mainlib
		2	Cyclohexanemethanol, $\alpha,\beta,\delta$ -trimethyl-	347	905	0.0	498-81-7	replib
		3	meso-3,4-Hexanediol	279	886	0.0	22520-39-4	mainlib
8	2.349	1	2H-Pyran, 3,4-dihydro-6-methyl-	789	980	0.0	16015-11-5	mainlib
		2	Diethylcyanamide	564	951	0.0	617-83-4	replib
		3	4-Penten-2-one, 3-methyl-	541	945	0.0	758-87-2	replib
9	2.784	1	Arecoline	126	749	0.0	63-75-2	nist_msms
		2	2-Methoxy-5-methylphenol	219	658	0.0	1195-09-1	nist_msms
		3	2',6'-Dihydroxyacetophenone	213	647	0.0	699-83-2	nist_msms
10	2.944	1	2-Thiobarbituric acid	142	933	0.0	504-17-6	nist_msms
		2	2-Thiobarbituric acid	139	915	0.0	504-17-6	nist_msms
		3	2-Thiobarbituric acid	136	884	0.0	504-17-6	nist_msms

Fuente: Departamento de Toxicología, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia.

Anexo 8. **Cromatografía de gases con acoplamiento a espectrometría de masas GC-MS para el aceite esencial de limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) obtenido del fruto a escala laboratorio para el departamento de Santa Rosa**



Continuación del anexo 8.

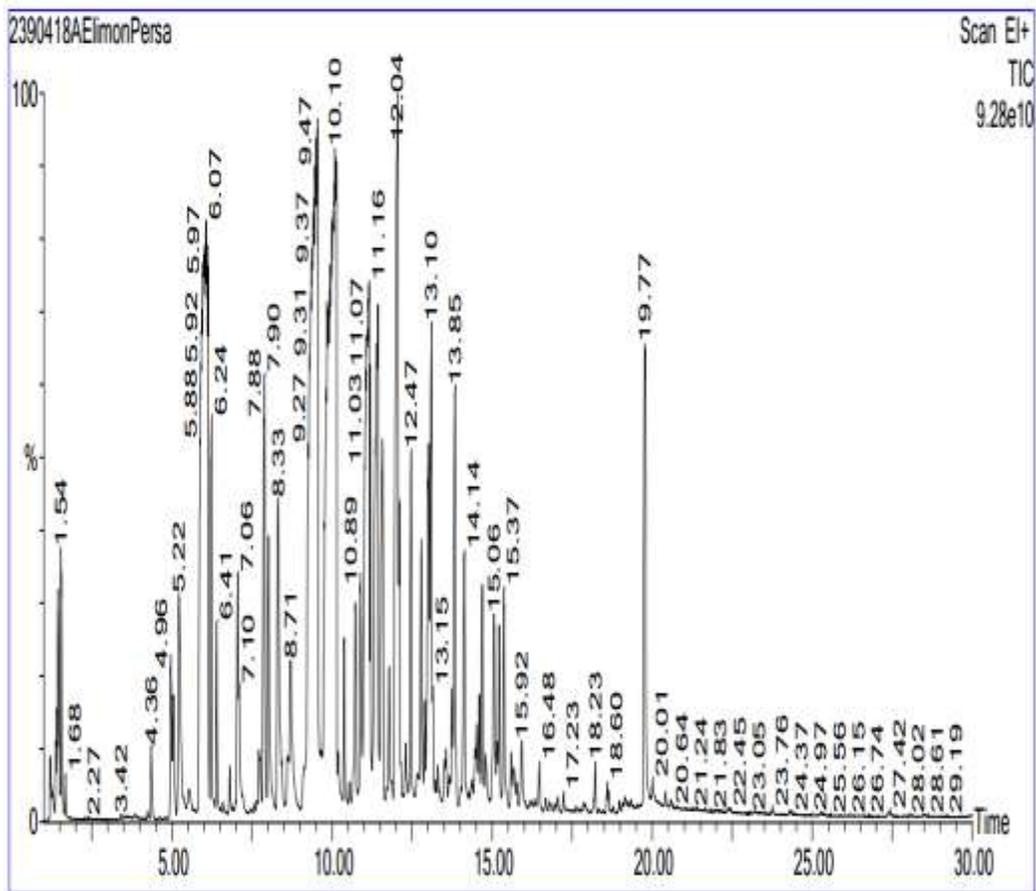
### Library Search Report

File: C:\TURBOMASS\SEMIVOCs.PRO\Data\2380418A\ElimonPera.raw  
 Acquired: 09-Apr-18 11:25:22 AM Printed: 11-Apr-18 12:47 PM  
 Description: 238.04.18 Sta.Rosa Fruto Laboratorio  
 GC/MS Method: GC: Aceite esencia120214ma2.mth MS: Aceite esencia120214 Page 1 of 11  
 Sample ID: 238.04.18 Sta.Rosa Fruto Laboratorio Vial Number: 0

Pk #	RT	Hit	Compound Name	Match	R.Match	Prob.	CAS	Library
1	1.209	1	2-Aminocycanoacetamide	921	921	0.0	6719-21-7	mainlib
		2	2H-Tetrazole, 2-methyl-	872	872	0.0	16681-78-0	mainlib
		3	1,4-Dioxane-2,5-dione, 3,6-dimethyl-, (3S-cis)-	861	861	0.0	4511-42-6	mainlib
2	1.489	1	3-Buten-2-ol, 2-methyl-	976	978	0.0	115-18-4	mainlib
		2	3-Buten-2-ol, 2-methyl-	944	952	0.0	115-18-4	replib
		3	3-Buten-2-ol, 2-methyl-	931	952	0.0	115-18-4	replib
3	2.694	1	Hexanal	894	993	0.0	66-25-1	replib
		2	Hexanal	935	985	0.0	66-25-1	replib
		3	1,2-Diamino-2-methylpropane	678	966	0.0	811-93-8	nist_msms
4	3.865	1	Nonane	965	987	0.0	111-84-2	mainlib
		2	Nonane	975	981	0.0	111-84-2	replib
		3	Nonane	950	979	0.0	111-84-2	replib
5	4.255	1	Δ-Phellandrene	947	956	0.0	99-83-2	replib
		2	Bicyclo[3.1.0]hex-2-ene, 2-methyl-5-(1-methylethyl)-	941	955	0.0	2867-05-2	mainlib
		3	Bicyclo[3.1.0]hex-2-ene, 4-methyl-1-(1-methylethyl)-	914	950	0.0	28634-89-1	mainlib
6	4.385	1	Tricyclo[3.2.1.0(2,4)]octane, 8-methylene-, (1a,2a,4a,5a)-	359	950	0.0	38310-48-4	mainlib
		2	Bicyclo[5.1.0]octane, 8-methylene-	584	912	0.0	54211-15-3	mainlib
		3	diazadamantane	639	907	0.0	24175-02-8	mainlib
7	4.630	1	Camphene	993	993	0.0	79-92-5	replib
		2	Bicyclo[2.2.1]heptane, 2,2-dimethyl-3-methylene-, (1S)-	985	989	0.0	5794-04-7	mainlib
		3	Camphene	983	985	0.0	79-92-5	replib
8	5.185	1	Tricyclo[3.2.1.0(2,4)]octane, 8-methylene-, (1a,2a,4a,5a)-	284	901	0.0	38310-48-4	mainlib
		2	Diazene, methylphenyl-, 1-oxide, (E)-	277	900	0.0	35150-75-5	mainlib
		3	cis-Bicyclo[4.2.0]octa-3,7-diene	343	864	0.0	103148-59-0	mainlib
9	5.531	1	Δ-Phellandrene	826	896	0.0	99-83-2	replib
		2	Δ-Phellandrene	815	894	0.0	99-83-2	replib
		3	Δ-Phellandrene	791	887	0.0	99-83-2	replib

Fuente: Departamento de Toxicología, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia.

Anexo 9. **Cromatografía de gases con acoplamiento a espectrometría de masas GC-MS para el aceite esencial de limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) obtenido de las hojas a escala planta piloto para el departamento de Suchitepéquez**



Continuación del anexo 9.

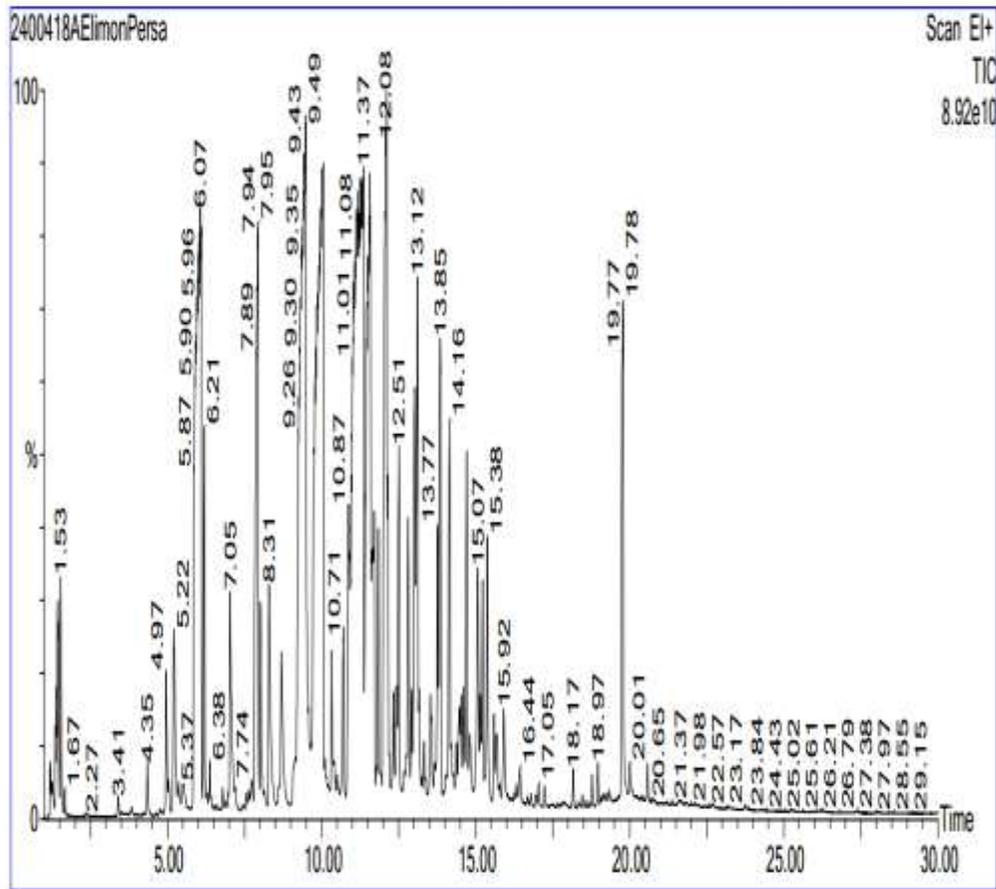
### Library Search Report

File: C:\TURBOMASS\SEMIVOC.S.PRO\Data\2390418A\ElimonPersa.raw  
 Acquired: 09-Apr-18 12:05:00 PM Printed: 11-Apr-18 12:50 PM  
 Description: 239.04.18 Suchitepequez hojas planta piloto  
 GC/MS Method: GC: Aceite esencia120214ma2\_mth MS: Aceite esencial120214 Page 1 of 11  
 Sample ID: 239.04.18 Suchitepequez hojas planta piloto Vial Number: 0

Pk #	RT	Hit	Compound Name	Match	R.Match	Prob.	CAS	Library
1	1.198	1	Butane, 1-chloro-	798	798	0.0	109-69-3	replib
		2	Butane, 1-chloro-	779	779	0.0	109-69-3	mainlib
		3	Butane, 1-chloro-	765	765	0.0	109-69-3	replib
2	1.374	1	1,2-Diamino-2-methylpropane	349	985	0.0	811-93-8	nist_msms
		2	1,2-Diamino-2-methylpropane	345	972	0.0	811-93-8	nist_msms
		3	L-Valine	341	961	0.0	72-18-4	nist_msms
3	1.414	1	1,2-Diamino-2-methylpropane	894	980	0.0	811-93-8	nist_msms
		2	L-Valine	817	979	0.0	72-18-4	nist_msms
		3	1,2-Diamino-2-methylpropane	814	977	0.0	811-93-8	nist_msms
4	1.444	1	Ethanone, 1-oxiranyl-	511	941	0.0	4401-11-0	mainlib
		2	2-Imidazolidinone	418	876	0.0	120-93-4	replib
		3	Thiirane, ethenyl-	417	842	0.0	5954-75-6	mainlib
5	1.539	1	Butanimidamide, N-(1-chloro-2-methyl-1-butenyl)-2-methyl-	436	942	0.0	40645-73-6	mainlib
		2	2-Methyl-1,4-butanediol	395	939	0.0	2938-98-9	nist_msms
		3	2-Methyl-1,4-butanediol	324	939	0.0	2938-98-9	nist_msms
6	1.679	1	Cyclohexane	995	995	0.0	110-82-7	mainlib
		2	Cyclohexane	943	992	0.0	110-82-7	replib
		3	Cyclohexane	990	990	0.0	110-82-7	replib
7	3.880	1	p-Xylene	569	980	0.0	106-42-3	replib
		2	1,3-Cyclopentadiene, 5-(1-methylethylidene)-	520	946	0.0	2175-91-9	replib
		3	L(-)-Fucose	252	910	0.0	2438-80-4	nist_msms
8	4.250	1	Bicyclo[3.1.0]hex-2-ene, 2-methyl-5-(1-methylethyl)-	973	981	0.0	2867-05-2	mainlib
		2	Bicyclo[3.1.0]hex-2-ene, 2-methyl-5-(1-methylethyl)-	963	979	0.0	2867-05-2	replib
		3	α-Phellandrene	969	974	0.0	99-83-2	replib
9	4.385	1	α-Pinene	990	992	0.0	80-56-8	replib
		2	(1R)-2,6,6-Trimethylbicyclo[3.1.1]hept-2-ene	985	990	0.0	7785-70-8	replib
		3	α-Pinene	975	987	0.0	80-56-8	mainlib

Fuente: Departamento de Toxicología, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia.

Anexo 10. **Cromatografía de gases con acoplamiento a espectrometría de masas GC-MS para el aceite esencial de limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) obtenido de las hojas a escala planta piloto para el departamento de Escuintla**



Continuación del anexo 10.

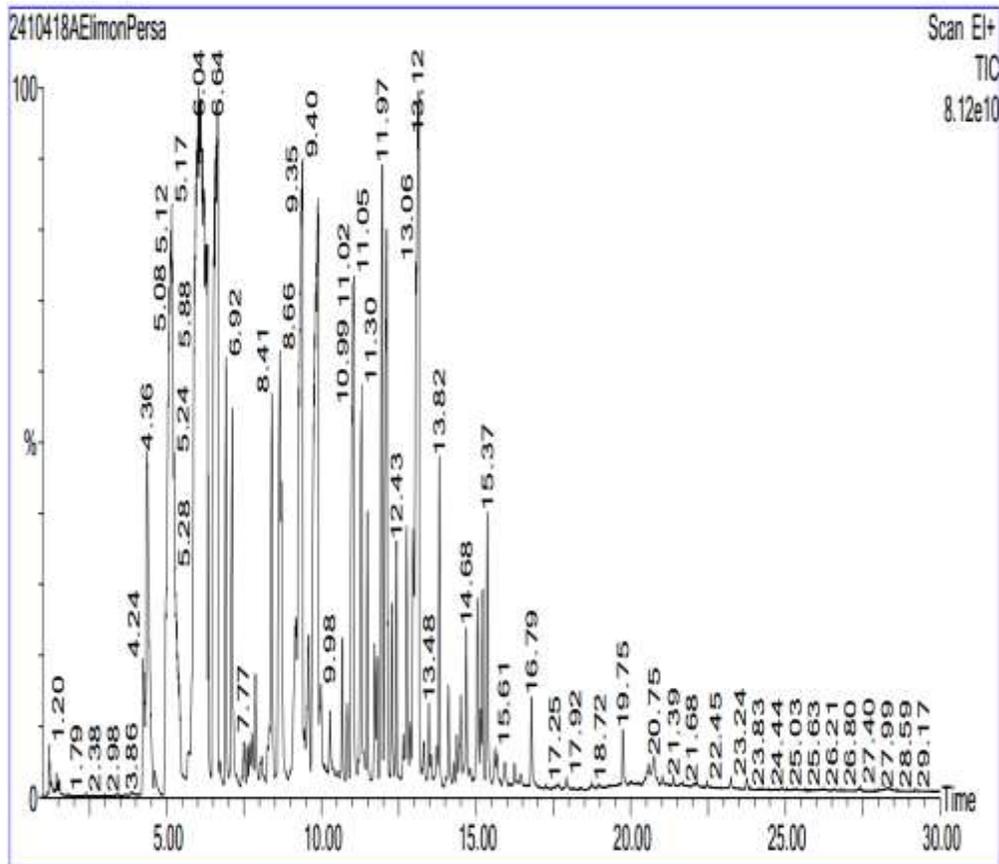
### Library Search Report

File: C:\TURBOMASS\SEM\VOCS.PRO\Data\2400418A\ElmonPensa.raw  
 Acquired: 09-Apr-18 12:43:09 PM Printed: 11-Apr-18 12:52 PM  
 Description: 240.04.18 Esculina hoja planta piloto  
 GC/MS Method: GC: Acalite esencia120214ms2.mth MS: Acalite esencia120214 Page 1 of 11  
 Sample ID: 240.04.18 hoja planta piloto Vial Number: 0

PK #	RT	Hit	Compound Name	Match	R.Match	Prob.	CAS	Library
1	1.194	1	2-Aminocianoacetamide	921	921	0.0	6719-21-7	mainlib
		2	2H-Tetrazole, 2-methyl-	872	872	0.0	16681-78-0	mainlib
		3	1,4-Dioxane-2,5-dione, 3,6-dimethyl-, (3S-cis)-	861	861	0.0	4511-42-6	mainlib
2	1.279	1	1-Pentadecanamine, N,N-dimethyl-	924	929	0.0	17578-60-3	mainlib
		2	1-Tridecanamine, N,N-dimethyl-	923	928	0.0	17373-29-4	mainlib
		3	1-Nonadecanamine, N,N-dimethyl-	910	925	0.0	49859-87-2	mainlib
3	1.369	1	1,2-Diamino-2-methylpropane	325	988	0.0	811-93-8	nist_msms
		2	1,2-Diamino-2-methylpropane	320	971	0.0	811-93-8	nist_msms
		3	L-Valine	318	965	0.0	72-18-4	nist_msms
4	1.399	1	4-Methyl-3-heptanol	319	953	0.0	14979-39-6	nist_msms
		2	1,2-Diamino-2-methylpropane	856	946	0.0	811-93-8	nist_msms
		3	L-Valine	764	939	0.0	72-18-4	nist_msms
5	1.444	1	cis-2-Hexen-1-ol	121	997	0.0	928-94-9	nist_msms
		2	cis-2-Penten-1-ol	106	994	0.0	1576-95-0	nist_msms
		3	2-Methyl-3-buten-2-ol	106	993	0.0	115-18-4	nist_msms
6	1.534	1	(S)-3-Ethyl-4-methylpentanol	592	869	0.0		mainlib
		2	1-Pentene, 5-nitro-	727	865	0.0	23542-51-0	mainlib
		3	cis-2-Penten-1-ol	378	863	0.0	1576-95-0	nist_msms
7	1.674	1	Cyclohexane	995	995	0.0	110-82-7	mainlib
		2	Cyclohexane	991	991	0.0	110-82-7	replib
		3	Cyclohexane	936	991	0.0	110-82-7	replib
8	2.374	1	Cyclobutene, 2-propenylidene-	812	983	0.0	52097-85-5	mainlib
		2	Toluene	831	982	0.0	108-88-3	replib
		3	Toluene	831	981	0.0	108-88-3	replib
9	3.414	1	Cyclopentane, 1-methyl-3-(1-methylethyl)-	946	961	0.0	53771-88-3	mainlib
		2	Cyclohexane, (1-methylethyl)-	820	926	0.0	696-29-7	replib
		3	Cyclohexane, (1-methylpropyl)-	892	917	0.0	7058-01-7	replib
10	3.850	1	Nonane	659	940	0.0	111-84-2	mainlib
		2	Octane	566	935	0.0	111-65-9	replib
		3	Methanamine, N-butylidene-	365	933	0.0	6898-69-7	mainlib

Fuente: Departamento de Toxicología, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia.

Anexo 11. **Cromatografía de gases con acoplamiento a espectrometría de masas GC-MS para el aceite esencial de limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) obtenido del fruto a escala planta piloto para el departamento de Santa Rosa**



Continuación del anexo 11.

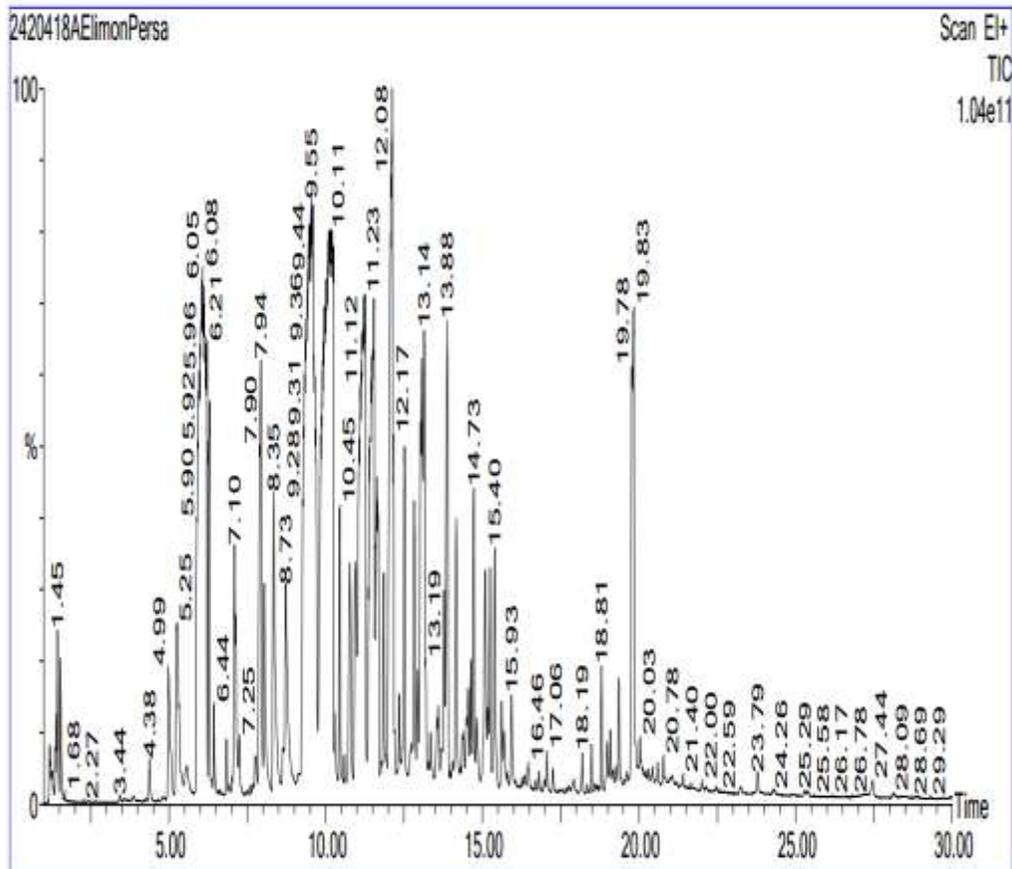
### Library Search Report

Fuente: **File:** C:\TURBOMASS\SEMIVOCS.PRO\Data\2410418A\ElimonPera.raw  
**Acquired:** 09-Apr-18 01:21:20 PM **Printed:** 11-Apr-18 12:59 PM  
**Description:** 241.04.18 Sta.Rosa Fruto planta piloto  
**GC/MS Method:** GC: Aceite esencia120214ma2.mth MS: Aceite esencia120214 Page 1 of 11  
**Sample ID:** 241.04.18 Sta.Rosa Fruto planta piloto **Val Number:** 0

Pk #	RT	Hit	Compound Name	Match	R.Match	Prob.	CAS	Library
1	1.204	1	1-Aminocyclopropanecarboxylic acid	999	999	0.0	22059-21-8	nist_msms
		2	N-Acetyl-L-alanine	999	999	0.0	97-69-8	nist_msms
		3	Ala-Gly	958	958	0.0	687-69-4	nist_msms
2	1.439	1	n-Hexane	995	995	0.0	110-54-3	replib
		2	Methane, isocyanato-	821	991	0.0	624-83-9	replib
		3	Methane, isocyanato-	819	988	0.0	624-83-9	mainlib
3	1.484	1	2-Methyl-1,4-butanediol	104	999	0.0	2938-98-9	nist_msms
		2	2-Methyl-1,4-butanediol	119	991	0.0	2938-98-9	nist_msms
		3	3-Buten-2-ol, 2-methyl-	975	980	0.0	115-18-4	mainlib
4	1.534	1	Cyclopentane, methyl-	984	984	0.0	96-37-7	mainlib
		2	1-Octen-3-ol	375	951	0.0	3391-86-4	nist_msms
		3	1-Pentene, 2-methyl-	940	940	0.0	763-29-1	replib
5	3.855	1	Nonane	954	982	0.0	111-84-2	mainlib
		2	Nonane	956	980	0.0	111-84-2	replib
		3	Nonane	967	975	0.0	111-84-2	replib
6	4.240	1	(1R)-2,6,6-Trimethylbicyclo[3.1.1]hept-2-ene	940	946	0.0	7785-70-8	replib
		2	α-Pinene	930	946	0.0	80-56-8	mainlib
		3	α-Phellandrene	929	939	0.0	99-83-2	replib
7	4.365	1	Bicyclo[5.1.0]octane, 8-methylene-	546	928	0.0	54211-15-3	mainlib
		2	Bicyclo[6.1.0]non-1-ene	563	925	0.0	2570-06-1	mainlib
		3	Bicyclo[5.2.0]non-1-ene	559	918	0.0	65811-17-8	mainlib
8	4.615	1	Camphene	987	987	0.0	79-92-5	replib
		2	Bicyclo[2.2.1]heptane, 2,2-dimethyl-3-methylene-, (1S)-	978	981	0.0	5794-04-7	mainlib
		3	Camphene	979	979	0.0	79-92-5	replib
9	5.165	1	Diazene, methylphenyl-, 1-oxide, (E)-	272	891	0.0	35150-75-5	mainlib
		2	1,5-Hexadien-3-ol	316	881	0.0	924-41-4	nist_msms
		3	1,5-Hexadien-3-ol	313	874	0.0	924-41-4	nist_msms

Departamento de Toxicología, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia.

Anexo 12. **Cromatografía de gases con acoplamiento a espectrometría de masas GC-MS para el aceite esencial de limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) obtenido de las hojas a escala planta piloto para el departamento de Santa Rosa**



Continuación del anexo 12.

### Library Search Report

File: C:\TURBOMASS\SEMIVOCS.PRO\Data\2420418AE\ImonPersa.raw  
 Acquired: 09-Apr-18 02:15:39 PM Printed: 11-Apr-18 01:01 PM  
 Description: 242.04.18 Sta.Rosa hojas planta piloto  
 GC/MS Method: GC: Aceite esencia120214ma2.mth MS: Aceite esencia120214 Page 1 of 11  
 Sample ID: 242.04.18 Sta.Rosa hojas planta piloto Vial Number: 0

Pk #	RT	Hit	Compound Name	Match	R.Match	Prob.	CAS	Library
1	1.198	1	Butane, 1-chloro-	630	630	0.0	109-69-3	replib
		2	Butane, 1-chloro-	616	616	0.0	109-69-3	replib
		3	Carbonochloridic acid, butyl ester	611	611	0.0	592-34-7	mainlib
2	1.374	1	1,2-Diamino-2-methylpropane	316	983	0.0	811-93-8	nist_msms
		2	1,2-Diamino-2-methylpropane	310	965	0.0	811-93-8	nist_msms
		3	L-Valine	308	960	0.0	72-18-4	nist_msms
3	1.409	1	1,2-Diamino-2-methylpropane	883	978	0.0	811-93-8	nist_msms
		2	1,2-Diamino-2-methylpropane	913	972	0.0	811-93-8	nist_msms
		3	L-Valine	862	966	0.0	72-18-4	nist_msms
4	1.449	1	L-Valine	358	961	0.0	72-18-4	nist_msms
		2	1,2-Diamino-2-methylpropane	353	950	0.0	811-93-8	nist_msms
		3	2,2-Dimethyl-propyl 2,2-dimethyl-propanesulfinyl sulfone	443	938	0.0	82360-14-3	mainlib
5	1.544	1	Pentane, 3-methylene-	839	979	0.0	760-21-4	replib
		2	1-Pentene, 3-methyl-	874	967	0.0	760-20-3	mainlib
		3	2-Pentene, 3-methyl-, (Z)-	880	955	0.0	922-62-3	replib
6	3.880	1	Octane	484	919	0.0	111-65-9	replib
		2	Octane	480	915	0.0	111-65-9	replib
		3	Nonane	566	905	0.0	111-84-2	mainlib
7	4.385	1	α-Pinene	968	983	0.0	80-56-8	replib
		2	(1R)-2,6,6-Trimethylbicyclo[3.1.1]hept-2-ene	961	983	0.0	7785-70-8	replib
		3	α-Pinene	944	983	0.0	80-56-8	mainlib
8	4.990	1	Bicyclo[3.1.0]hexane, 4-methylene-1-(1-methylethyl)-	936	940	0.0	3387-41-5	mainlib
		2	1-Methylene-2-vinylcyclopentane	618	931	0.0	6196-78-7	mainlib
		3	3-Carene	890	930	0.0	13466-78-9	replib
9	5.260	1	1-Methylene-2-vinylcyclopentane	559	954	0.0	6196-78-7	mainlib
		2	Bicyclo[4.1.0]heptane, 7-methylene-	421	922	0.0	54211-14-2	replib
		3	Bicyclo[3.1.1]heptane, 6,6-dimethyl-2-methylene-, (1S)-	866	917	0.0	18172-67-3	replib

Fuente: Departamento de Toxicología, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia.