



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

**EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE LA EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN
FISICOQUÍMICA DEL ACEITE ESENCIAL OBTENIDO DE LAS HOJAS Y FRUTOS DE LA
PIMIENTA GORDA (*Pimenta dioica* (L.) Merrill), CULTIVADA EN ALTA VERAPAZ Y PETÉN
REALIZADO A ESCALA LABORATORIO**

Kevin Fernando Carías Villela

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

Guatemala, septiembre de 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE LA EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN
FISICOQUÍMICA DEL ACEITE ESENCIAL OBTENIDO DE LAS HOJAS Y FRUTOS DE LA
PIMIENTA GORDA (*Pimenta dioica* (L.) Merrill), CULTIVADA EN ALTA VERAPAZ Y PETÉN
REALIZADO A ESCALA LABORATORIO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

KEVIN FERNANDO CARÍAS VILLELA

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

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

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

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Manuel Gilberto Galván Estrada
EXAMINADOR	Ing. Carlos Salvador Wong Davi
EXAMINADOR	Ing. Adolfo Narciso Gramajo Antonio
SECRETARIA	Inga. Lesbía Magalí Herrera López

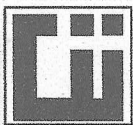
HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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:

**EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE LA EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN
FISICOQUÍMICA DEL ACEITE ESENCIAL OBTENIDO DE LAS HOJAS Y FRUTOS DE LA
PIMIENTA GORDA (*Pimenta dioica* (L.) Merrill), CULTIVADA EN ALTA VERAPAZ Y PETÉN
REALIZADO A ESCALA LABORATORIO**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 16 de junio de 2016.

Kevin Fernando Carías Villela



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



Guatemala, 04 de Julio de 2017

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 **“EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE LA EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL ACEITE ESENCIAL OBTENIDO DE LAS HOJAS Y FRUTOS DE LA PIMIENTA GORDA (*Pimenta dioica* (L.) Merrill.), CULTIVADA EN ALTA VERAPAZ Y PETÉN REALIZADO A ESCALA LABORATORIO”**, del estudiante de Ingeniería Química Kevin Fernando Carías Villela quien se identifica con CUI No. 1951 63230 0101 y registro académico número 2009-14319.

Sin otro particular me suscribo de usted.

Atentamente,

Ing. Geo. Mario José Mérida Méndez

JEFE

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



INGENIERO QUÍMICO
Mario José Mérida Méndez
Colegiado 1411

Inga. Qca. Telma Maricela Cano Morales

Profesora Investigadora Titular

Sección Química Industrial

Centro de Investigaciones de Ingeniería / USAC
Asesora



INGENIERA QUÍMICA
Telma Maricela Cano M.
Colegiada 433



Guatemala, 09 de agosto de 2017.
Ref. EI.Q.TG-IF.030.2017.

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

Estimado Ingeniero Wong:

Como consta en el registro de evaluación del informe final EI.Q-PRO-REG-007 correlativo **005-2016** 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

Solicitado por el estudiante universitario: **Kevin Fernando Carías Villela**.
Identificado con número de carné: **2009-14319**.
Previo a optar al título de **INGENIERO QUÍMICO**.

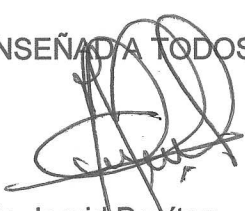
Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE LA EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL ACEITE ESENCIAL OBTENIDO DE LAS HOJAS Y FRUTOS DE LA PIMIENTA GORDA (*Pimenta dioica* (L.) Merril.), CULTIVADA EN ALTA VERAPAZ Y PETEN REALIZADO A ESCALA LABORATORIO

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

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 ENSEÑADA A TODOS"


Licda. Ingrid Benítez
COORDINADORA DE TERNA
Tribunal de Revisión
Trabajo de Graduación





Ref.EIQ.TG.048.2017

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Trabajo de Graduación del estudiante, **KEVIN FERNANDO CARÍAS VILLELA** titulado: **"EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE LA EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN FISCOQUÍMICA DEL ACEITE ESENCIAL OBTENIDO DE LAS HOJAS Y FRUTOS DE LA PIMIENTA GORDA (*Pimenta dioica* (L.) Merrill), CULTIVADA EN ALTA VERAPAZ Y PETÉN REALIZADO A ESCALA LABORATORIO"**. 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, septiembre 2017

Cc: Archivo
CSWD/ale



DTG. 440.2017

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al Trabajo de Graduación titulado: **EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE LA EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL ACEITE ESENCIAL OBTENIDO DE LAS HOJAS Y FRUTOS DE LA PIMIENTA GORDA (*Pimenta dioica* (L.) Merrill), CULTIVADA EN ALTA VERAPAZ Y PETÉN REALIZADO A ESCALA LABORATORIO**, presentado el estudiante universitario: **Kevin Fernando Carías Villela**, 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, septiembre de 2017

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por ser el fundamento que sostiene toda mi existencia y la razón de mi ser.
Virgen María	Por ser un ejemplo de entrega, prudencia y paciencia a la voluntad de Dios.
Mi madre	Tomasa Villela, por ser una inspiración, un ejemplo de amor sincero y abnegación para mi crecimiento personal.
Mi hermano	Carlos Carías, por ser un apoyo incondicional y ser un ejemplo del esfuerzo personal y voluntad.
Mis tíos	Jimi Duque y Cristina Villela, por el apoyo en todo momento de mi vida y recibirme en su hogar como a otro hijo más.
Mis abuelos	Agustina Pineda y Ángel Villela (q.e.p.d), por ser un ejemplo de trabajo duro, perseverancia y honradez.
Mi primo	Jimmy Duque, por ser un primo un amigo y un hermano y apoyarme en todo momento de mi carrera.

Mis sobrinos

Ángel, Gabriel y Pablo Carías, por su cariño incondicional y con quienes comparto mis sueños.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Por ser el fundamento que sostiene toda mi existencia, y darme la capacidad y oportunidad de culminar esta etapa de mi vida.
Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser mi <i>alma mater</i> , que me dio la oportunidad de formarme como profesional.
Facultad de Ingeniería	Por brindarme la oportunidad de formarme como profesional.
LIEXVE	Por darme la oportunidad de elaborar mi estudio de investigación para poder realizarme como profesional.
Mi madre	Por brindarme todo lo necesario para la realización de esta meta.
Mi hermano	Por la influencia positiva y apoyo en todo momento.
Mis tíos	Por darme todo su apoyo a lo largo de mi vida y formación profesional, sus consejos y abrirme las puertas de su hogar en todo momento.

Mis primos

Jimmy Villela, Jeff Villela, Diego Villela, Raquel, Ingrid Villela, José Villela y Tony Villela (q. e. p. d.), por todo el apoyo durante mi carrera universitaria.

Mis amigos

José García, Edy Payes, Luis Ríos, Marco Toribio, Danilo Ajcip, Gerson Cuzco, María Ponce, Cecilia Vaquero, Any Ortiz, por su amistad y compartir momentos de alegría y tristeza durante toda la carrera.

Mis asesores

Inga. Telma Cano e Ing. Mario Mérida por brindarme todo su conocimiento y apoyo en la elaboración de este estudio de investigación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	XV
GLOSARIO	XVII
RESUMEN	XXI
OBJETIVOS.....	XXIII
HIPÓTESIS.....	XXIV
INTRODUCCIÓN	XXVII
1. ANTECEDENTES	1
2. MARCO TEÓRICO.....	3
2.1. Pimenta dioica (pimienta gorda)	3
2.2. Taxonomía.....	3
2.3. Árbol de pimienta gorda.....	4
2.3.1. Forma	4
2.3.2. Copas / hojas.....	4
2.3.3. Troncos / ramas.....	5
2.3.4. Corteza	5
2.3.5. Flores.....	6
2.3.6. Frutos	6
2.3.7. Semillas	7
2.4. Condiciones edafoclimáticas para el cultivo de la pimienta gorda	7
2.4.1. Precipitación	7
2.4.2. Suelos.....	7

2.4.3.	Temperatura.....	7
2.4.4.	Altitud	8
2.5.	Cosecha y poscosecha del cultivo	8
2.5.1.	Cosecha de frutos	8
2.5.2.	Cosecha de hojas.....	9
2.5.3.	Limpieza y selección del grano	9
2.5.4.	Usos	9
2.6.	Aceites esenciales.....	10
2.6.1.	Clasificación	11
2.6.2.	Clasificación por consistencia	13
2.6.3.	Clasificación por su origen	13
2.6.4.	Aislamiento y extracción.....	14
2.6.5.	Hidrodestilación como técnica de extracción sólido líquido destilado por arrastre de vapor.....	15
2.6.6.	Sistema de extracción de aceite esencial a escala laboratorio	17
2.6.7.	Equilibrio ternario	22
2.6.8.	Solventes.....	23
2.6.9.	Ventajas	24
2.6.10.	Desventajas.....	25
2.7.	Propiedades fisicoquímicas del aceite esencial	25
2.7.1.	Cromatografía	27
2.7.2.	Cromatografía de capa fina	28
2.7.3.	Cromatografía de gases acoplado a espectrofotometría de masas	28
2.7.4.	Índice de refracción	29
2.7.5.	Densidad de los aceites esenciales	29
2.7.6.	Solubilidad de los aceites esenciales	29

3.	DISEÑO METODOLÓGICO	31
3.1.	Localización	31
3.2.	Variables.....	31
3.2.1.	Variables independientes	31
3.2.2.	Variables dependientes	32
3.3.	Delimitación del campo de estudio	33
3.3.1.	Obtención de la materia prima.....	33
3.3.2.	Extracción del aceite esencial.....	33
3.3.3.	Análisis fisicoquímico del aceite esencial	34
3.4.	Recursos humanos.....	34
3.5.	Recursos materiales disponibles	34
3.6.	Técnica cuantitativa	35
3.6.1.	Extracción de aceite esencial de pimienta gorda (<i>Pimenta dioica</i> (L.) Merrill), con el método de hidrodestilación.....	35
3.6.2.	Cálculo del rendimiento del aceite esencial	36
3.6.3.	Cálculo de la densidad del aceite	37
3.6.4.	Medición del índice de refracción	37
3.6.5.	Cromatografía gaseosa con acoplamiento de espectrometría de masas	38
3.7.	Recolección y ordenamiento de la información	38
3.7.1.	Diseño de tratamientos	39
3.7.2.	Factor A: parte de la planta	39
3.7.3.	Factor B: departamento de procedencia.....	39
3.7.4.	Factor C: nivel altitudinal de plantación	40
3.7.5.	Repeticiones	40
3.7.6.	Número de combinaciones para la simulación del experimento	40

3.8.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.....	51
3.9.	Análisis estadístico.....	60
3.9.1.	Supuestos del ANDEVA.....	60
3.9.2.	Proceso de análisis de varianza.....	61
3.9.3.	Modelo estadístico	62
3.9.4.	Media aritmética.....	62
3.9.5.	Desviación.....	62
4.	RESULTADOS.....	77
4.1.	Determinación del rendimiento extractivo del aceite esencial de la pimienta gorda a partir de las hojas y sus frutos	77
4.2.	Evaluación de la capacidad extractiva del aceite esencial de la pimienta gorda a partir de tres niveles altitudinales.....	78
4.3.	Evaluación del rendimiento extractivo del aceite esencial de la pimienta gorda a partir del área de cultivo, Petén y Alta Verapaz.....	80
4.4.	Caracterización fisicoquímica del aceite esencial extraído de las hojas y frutos de la pimienta gorda para determinar densidad e índice de refracción y una cromatografía de gases con acoplamiento de espectrofotometría de masas (GC/MS) para determinar su composición química.....	81
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	85
	CONCLUSIONES.....	93
	RECOMENDACIONES	95
	BIBLIOGRAFÍA.....	97

APÉNDICES	101
ANEXOS	109

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Árbol de pimienta dioica	4
2.	Flor y hojas.....	5
3.	Frutos	6
4.	Monoterpenos y sesquiterpenos	12
5.	Neoclevenger en vidrio Pyrex	19
6.	Lixiviación en una sola etapa	21
7.	Diagrama ternario.....	23
8.	Media y 95 % de Fisher LSD para el rendimiento extractivo del aceite esencial analizado mediante su nivel altitudinal	65
9.	Media y 95 % de Fisher LSD para el rendimiento extractivo del aceite esencial analizado mediante su sección vegetal	66
10.	Media y 95 % de Fisher LSD para el rendimiento extractivo del aceite esencial analizado mediante su procedencia	68
11.	Media y 95 % de Fisher LSD para la densidad del aceite esencial analizado mediante su nivel altitudinal	70
12.	Media y 95 % de Fisher LSD para la densidad del aceite esencial analizado mediante su sección vegetal.....	71
13.	Media y 95 % de Fisher LSD para la densidad del aceite esencial analizado mediante su procedencia.....	73
14.	Media y 95 % de Fisher LSD para la química del aceite esencial analizado mediante su sección vegetal.....	74
15.	Media y 95 % de Fisher LSD para el índice de refracción del aceite esencial analizado mediante su sección vegetal.....	75

16.	Rendimiento extractivo del aceite esencial de la pimienta gorda (<i>Pimenta dioica</i> (L.) Merrill), en función de la sección vegetal	78
17.	Rendimiento extractivo del aceite esencial analizado mediante su nivel altitudinal	79
18.	Rendimiento extractivo del aceite esencial analizado mediante su procedencia	80
19.	Densidad del aceite esencial analizado mediante su sección vegetal	81
20.	Contenido de eugeol en las hojas y frutos de la pimienta gorda (<i>Pimenta dioica</i> (L.) Merrill), respecto a su procedencia y locación de cultivo.....	83

TABLAS

I.	Propiedades de la pimienta gorda frutos	26
II.	Variables independientes para el proceso de extracción por hidrodestilación.....	32
III.	Variables dependientes para el proceso de extracción por hidrodestilación.....	32
IV.	Materia prima y reactivos.....	34
V.	Cristalería, equipo y otros	35
VI.	Cuadro resumen del diseño experimental	41
VII.	Combinaciones para el diseño experimental	41
VIII.	Combinatorio para el diseño experimental completamente al azar	42
IX.	Rendimiento extractivo del aceite esencial obtenido de las hojas y frutos de la pimienta gorda (<i>Pimenta dioica</i> (L.) Merrill), cultivada en Alta Verapaz y Petén, a nivel laboratorio	42

X.	Densidad del aceite esencial obtenido de las hojas y frutos de la pimienta gorda (<i>Pimenta dioica</i> (L.) Merrill), cultivada en Alta Verapaz y Petén, a nivel laboratorio.....	44
XI.	Índice de refracción del aceite esencial obtenido de las hojas y frutos de la pimienta gorda (<i>Pimenta dioica</i> (L.) Merrill), cultivada en Alta Verapaz y Petén, a nivel laboratorio	45
XII.	Composición química del aceite esencial de frutos de pimienta gorda procedentes de Campur obtenida por GC-MS	45
XIII.	Composición química del aceite esencial de frutos de pimienta gorda procedentes de San Pedro Carchá obtenida por GC-MS	46
XIV.	Composición química del aceite esencial de frutos de pimienta gorda procedentes de Santa María Cahabón obtenida por GC-MS.....	46
XV.	Composición química del aceite esencial de hojas de pimienta gorda procedentes de Campur obtenida por GC-MS	47
XVI.	Composición química del aceite esencial de hojas de pimienta gorda procedentes de San Pedro Carchá obtenida por GC-MS	47
XVII.	Composición química del aceite esencial de hojas de pimienta gorda procedentes de Santa María Cahabón obtenida por GC-MS.....	48
XVIII.	Composición química del aceite esencial de frutos de pimienta gorda procedentes de San Luis obtenida por GC-MS.....	48
XIX.	Composición química del aceite esencial de frutos de pimienta gorda procedentes de Dolores obtenida por GC-MS	49
XX.	Composición química del aceite esencial de frutos de pimienta gorda procedentes de Melchor de Mencos obtenida por GC-MS.....	49
XXI.	Composición química del aceite esencial de hojas de pimienta gorda procedentes de San Luis obtenida por GC-MS.....	50
XXII.	Composición química del aceite esencial de hojas de pimienta gorda procedentes de Dolores obtenida por GC-MS	50

XXIII.	Composición química del aceite esencial de hojas de pimienta gorda procedentes de Melchor de Mencos obtenida por GC-MS	51
XXIV.	Rendimiento extractivo del aceite esencial obtenido de las hojas y frutos de la pimienta gorda (<i>Pimenta dioica</i> (L.) Merrill), cultivada en Alta Verapaz y Petén, a nivel laboratorio	52
XXV.	Densidad del aceite esencial obtenido de las hojas y frutos de la pimienta gorda (<i>Pimenta dioica</i> (L.) Merrill), cultivada en Alta Verapaz y Petén, a nivel laboratorio	53
XXVI.	Índice de refracción del aceite esencial obtenido de las hojas y frutos de la pimienta gorda (<i>Pimenta dioica</i> (L.) Merrill), cultivada en Alta Verapaz y Petén, a nivel laboratorio	54
XXVII.	Composición química del aceite esencial de frutos de pimienta gorda procedentes de Campur obtenida por GC-MS.....	54
XXVIII.	Composición química del aceite esencial de frutos de pimienta gorda procedentes de San Pedro Carchá obtenida por GC-MS.....	55
XXIX.	Composición química del aceite esencial de frutos de pimienta gorda procedentes de Santa María Cahabón obtenida por GC-MS	55
XXX.	Composición química del aceite esencial de hojas de pimienta gorda procedentes de Campur obtenida por GC-MS.....	56
XXXI.	Composición química del aceite esencial de hojas de pimienta gorda procedentes de San Pedro Carchá obtenida por GC-MS	56
XXXII.	Composición química del aceite esencial de hojas de pimienta gorda procedentes de Santa María Cahabón obtenida por GC-MS	57
XXXIII.	Composición química del aceite esencial de frutos de pimienta gorda procedentes de San Luis obtenida por GC-MS	57
XXXIV.	Composición química del aceite esencial de frutos de pimienta gorda procedentes de Dolores obtenida por GC-MS	58
XXXV.	Composición química del aceite esencial de frutos de pimienta gorda procedentes de Melchor de Mencos obtenida por GC-MS	58

XXXVI.	Composición química del aceite esencial de hojas de pimienta gorda procedentes de San Luis obtenida por GC-MS.....	59
XXXVII.	Composición química del aceite esencial de hojas de pimienta gorda procedentes de Dolores obtenida por GC-MS	59
XXXVIII.	Composición química del aceite esencial de hojas de pimienta gorda procedentes de Melchor de Mencos obtenida por GC-MS.....	60
XXXIX.	Datos ANDEVA	63
XL.	Resumen estadístico para el rendimiento extractivo del aceite esencial analizado mediante su nivel altitudinal	63
XLI.	ANOVA para el rendimiento extractivo del aceite esencial analizado mediante su nivel altitudinal	64
XLII.	Comparación entre niveles para el rendimiento extractivo del aceite esencial analizado mediante su nivel altitudinal	64
XLIII.	Resumen estadístico para el rendimiento extractivo del aceite esencial analizado mediante su sección vegetal.....	65
XLIV.	ANOVA para el rendimiento extractivo del aceite esencial analizado mediante su sección vegetal	66
XLV.	Comparación entre niveles para el rendimiento extractivo del aceite esencial analizado mediante su sección vegetal.....	66
XLVI.	Resumen estadístico para el rendimiento extractivo del aceite esencial analizado mediante su procedencia.....	67
XLVII.	ANOVA para el rendimiento extractivo del aceite esencial analizado mediante su procedencia	67
XLVIII.	Comparación entre niveles para el rendimiento extractivo del aceite esencial analizado mediante su procedencia.....	67
XLIX.	Resumen estadístico de la densidad del aceite esencial analizado mediante su nivel altitudinal	68
L.	ANOVA para la densidad del aceite esencial analizado mediante su nivel altitudinal.....	69

LI.	Comparación entre niveles para la densidad del aceite esencial analizado mediante su nivel altitudinal.....	69
LII.	Resumen estadístico de la densidad del aceite esencial analizado mediante su sección vegetal.....	70
LIII.	ANOVA para la densidad del aceite esencial analizado mediante su sección vegetal	71
LIV.	Comparación entre niveles para la densidad del aceite esencial analizado mediante su sección vegetal	71
LV.	Resumen estadístico de la densidad del aceite esencial analizado mediante su procedencia.....	72
LVI.	ANOVA para la densidad del aceite esencial analizado mediante su procedencia	72
LVII.	Comparación entre niveles para la densidad del aceite esencial analizado mediante su procedencia.....	72
LVIII.	Resumen estadístico de la composición química del aceite esencial analizado mediante su sección vegetal	73
LIX.	ANOVA para la composición química del aceite esencial analizado mediante su sección vegetal.....	73
LX.	Comparación entre niveles para la química del aceite esencial analizado mediante su sección vegetal	74
LXI.	Resumen estadístico del índice de refracción del aceite esencial analizado mediante su sección vegetal	74
LXII.	ANOVA para el índice de refracción del aceite esencial analizado mediante su sección vegetal.....	75
LXIII.	Comparación entre niveles para el índice de refracción del aceite esencial analizado mediante su sección vegetal	75
LXIV.	Rendimiento extractivo del aceite esencial de la pimienta gorda (<i>Pimenta dioica</i> (L.) Merrill), analizado mediante su sección vegetal....	77

LXV.	Rendimiento extractivo del aceite esencial en función del nivel altitudinal.....	79
LXVI.	Rendimiento extractivo del aceite esencial analizado mediante su procedencia.....	80
LXVII.	Densidad del aceite esencial analizado mediante su sección vegetal.....	81
LXVIII.	Índice de refracción del aceite esencial obtenido de las hojas y frutos de la pimienta gorda (<i>Pimenta dioica</i> (L.) Merrill), cultivada en Alta Verapaz y Petén, a nivel laboratorio	82
LXIX.	Contenido de eugeol en las hojas y frutos de la pimienta gorda (<i>Pimenta dioica</i> (L.) Merrill), respecto a su procedencia y locación de cultivo	82

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
GC/MS	Cromatografía de gas acoplada a una espectrometría de masas
ρ	Densidad
°C	Grado centígrado
GL	Grados de libertad
g	Gramos
Kg	Kilogramo
m ³	Metro cúbico
msnm	Metros sobre el nivel del mar
mL	Mililitros
min	Minutos
%	Porcentaje

GLOSARIO

Aceite esencial	Constituyente volátil presente en diversas plantas que se caracteriza por estar constituido por diversas mezclas de terpenos, sesquiterpenos y sus derivados oxigenados y a veces por compuestos aromáticos, se volatiliza a temperatura ambiente y tiene aspecto aceitoso.
ANDEVA	Análisis estadístico de varianza.
Árbol dioico	Una especie dioica es aquella en la que hay individuos machos o hembras.
Cromatografía de gases con acoplamiento a	Cromatografía de gases con acoplamiento a espectrometría de masas, técnica que permite la separación, identificación y cuantificación de mezclas masas GC-MS complejas.
Eugenol	Es guayacol con una cadena alil sustituda. i.e. 2 metoxi-4-(2-propenilfenol. El eugenol es un miembro de los compuestos de la clase alilbencenos. Es un líquido oleoso de color amarillo pálido extraído de ciertos aceites esenciales, especialmente, el clavo de olor, la nuez moscada y la canela. Es difícilmente soluble en agua y soluble en solventes orgánicos. Tiene un agradable olor a clavo.

**Extracción
líquido líquido**

También conocida como extracción con solventes o extracción con disolventes; es un proceso químico empleado para separar una mezcla utilizando la diferencia de solubilidad de sus componentes entre dos líquidos inmiscibles o parcialmente miscibles.

**Extracción
líquido sólido**

La separación de una mezcla de compuestos sólidos, también, se puede llevar a cabo aprovechando diferencias de solubilidad de los mismos en un determinado disolvente. En el caso favorable de una mezcla de sólidos en la cual uno de los compuestos es soluble en un determinado disolvente (normalmente un disolvente orgánico), mientras que los otros son insolubles, se pueden hacer una extracción consistente en añadir este disolvente a la mezcla contenida en un vaso de precipitados.

Hidrodestilación

En este método, el material a extraer está completamente sumergido en agua, la cual es calentada. La separación de una mezcla de compuestos sólidos también se puede llevar a cabo aprovechando diferencias de solubilidad de los mismos en un determinado disolvente.

Hidrolato

Solución constituida de agua y aceite esencial.

Metabolitos secundarios	Son aquellos compuestos orgánicos sintetizados por el organismo que no tienen un rol directo en su crecimiento o reproducción.
Neoclevenger	Actualmente, se utiliza la técnica de extracción de aceites esenciales con el aparato clevenger o neoclevenger para la realización de extracciones con fines analíticos.
Punto de rocío	Es la temperatura a la que empieza a condensar el vapor de agua contenido en el aire, produciendo rocío, neblina o cualquier tipo de nube.
Rotaevaporador	Es un aparato de destilación rotatorio asociado a un baño María, usado principalmente en laboratorios de síntesis químicas, investigaciones en bioquímica y análisis químico cualitativo y cuantitativo de extractos de naturaleza orgánica e inorgánica. Se utiliza, principalmente, para separar por medio de evaporación a presión reducida y suave, el solvente que acompaña al soluto de interés, o bien, para realizar destilaciones fraccionadas.
Solubilidad	Capacidad de una sustancia para poder disolverse en otra; la sustancia que se disuelve se conoce como soluto, mientras que aquella en la cual este se disuelve recibe el nombre de solvente.

Vacío

Se llama vacío a la ausencia total o parcial de aire, también, podría decirse presión inferior a la atmosférica.

RESUMEN

El presente trabajo de graduación evalúa el rendimiento extractivo y caracteriza fisicoquímicamente el aceite esencial obtenidos de las hojas y frutos de la pimienta gorda (*Pimenta dioica* (L) Merrill.) con el método de hidrodestilación y rotaevaporación por refinado a escala laboratorio.

El método consistió en seleccionar diferentes áreas de cultivo (procedencias): Alta Verapaz y Petén; dentro de estas variables se localizaron tres diferentes niveles altitudinales para compararlos entre sí; así mismo, se tomaron en cuenta dos secciones vegetales de la planta de pimienta gorda: hojas y frutos, y se compararon los rendimientos. El tamaño de los lotes fue de 50 g; se estableció en relación con el solvente a 1:15 para hojas y 1:10 para frutos, se utilizó como solvente agua desmineralizada. Esta mezcla heterogénea se colocaba a ebullición durante 4 horas a partir de su punto de rocío para, luego, ser separado el aceite esencial del solvente.

Para realizar la caracterización fisicoquímica se realizaron análisis de densidad, índice de refracción y cromatografía de gases con acoplamiento a espectrofotometría de masas GC-MS. Para la realización del análisis estadístico se realizó un análisis ANOVA para diferenciar las muestras con diferencias estadísticamente significativas mediante la prueba F. Sí existió diferencia estadísticamente significativa para todas las pruebas de rendimiento, pero no para las pruebas fisicoquímicas para las cuales no existió diferencia estadísticamente significativa.

OBJETIVOS

General

Evaluar el rendimiento extractivo y caracterizar fisicoquímicamente el aceite esencial obtenido de las hojas y frutos de la pimienta gorda (*Pimenta dioica* (L) Merrill.) con el método de hidrodestilación.

Específicos

1. Determinar el rendimiento extractivo del aceite esencial de la pimienta gorda a partir de las hojas y sus frutos.
2. Evaluar la capacidad extractiva del aceite esencial de la pimienta gorda a partir de tres niveles altitudinales.
3. Evaluar el rendimiento extractivo del aceite esencial de la pimienta gorda a partir del área de cultivo: Petén y Alta Verapaz.
4. Realizar la caracterización fisicoquímica del aceite esencial extraído de las hojas y frutos de la pimienta gorda determinando, densidad e índice de refracción, así como una cromatografía de gases con acoplamiento de espectrofotometría de masas (GC/MS) para determinar su composición química.

Hipótesis

Es posible extraer el aceite esencial de los frutos y de las hojas de la pimienta gorda (*Pimenta dioica* (L.) Merrill) por medio de hidrodestilación con agua y rotaevaporación, para determinar el rendimiento de extracción y caracterización fisicoquímica.

Hipótesis nula

Ho₁: no existe diferencia significativa en la evaluación del porcentaje de rendimiento de la extracción a escala laboratorio del aceite esencial de la pimienta en relación al nivel altitudinal.

Ho₂: no existe diferencia significativa en la evaluación del porcentaje de rendimiento de la extracción a escala laboratorio del aceite esencial de la pimienta de frutos y de hojas.

Ho₃: no existe diferencia significativa en la evaluación del porcentaje de rendimiento de la extracción a escala laboratorio del aceite esencial de la pimienta en relación al lugar de cultivo: Alta Verapaz y Petén.

Ho₄: no existe un cambio significativo en las propiedades fisicoquímicas de la extracción a escala laboratorio del aceite esencial de la pimienta en relación a su nivel altitudinal.

Ho₅: no existe un cambio significativo en las propiedades fisicoquímicas de la extracción a escala laboratorio del aceite esencial de la pimienta de frutos y de hojas.

Ho₆: no existe un cambio significativo en las propiedades fisicoquímicas de la extracción a escala laboratorio del aceite esencial de la pimienta en relación al lugar de cultivo: Alta Verapaz y Petén.

Hipótesis alternativa

Hi₁: existe diferencia significativa en la evaluación del porcentaje de rendimiento de la extracción a escala laboratorio del aceite esencial de la pimienta en relación al nivel altitudinal.

Hi₂: existe diferencia significativa en la evaluación del porcentaje de rendimiento de la extracción a escala laboratorio del aceite esencial de la pimienta de frutos y de hojas.

Hi₃: existe diferencia significativa en la evaluación del porcentaje de rendimiento de la extracción a escala laboratorio del aceite esencial de la pimienta en relación al lugar de cultivo: Alta Verapaz y Petén.

Hi₄: existe un cambio significativo en las propiedades fisicoquímicas de la extracción a escala laboratorio del aceite esencial de la pimienta en relación a su nivel altitudinal.

Hi₅: existe un cambio significativo en las propiedades fisicoquímicas de la extracción a escala laboratorio del aceite esencial de la pimienta de frutos y de hojas.

Hi₆: existe un cambio significativo en las propiedades fisicoquímicas de la extracción a escala laboratorio del aceite esencial de la pimienta en relación al lugar de cultivo: Alta Verapaz y Petén.

INTRODUCCIÓN

La pimienta gorda (*pimenta dioica* (L.) Merrill), también es conocida en algunos lugares como pimienta dulce; el nombre en inglés de *allspice* proviene de su aroma: la combinación de nuez moscada, canela y clavo de olor; esta se obtiene de un árbol perennifolio; presentan edades de 7 a 10 años; la altura oscila entre de 6 a 10 metros (en estado natural hasta 30 metros), diámetro de copa de 6 a 8 metros, con diámetro a la altura del pecho de 10 a 15 cm (en estado natural de 20 a 50 cm).

En Guatemala, las áreas de cultivo de pimienta gorda se dedican en su mayoría a la cultivación y exportación de los frutos de este árbol; sin embargo, existe un mercado para el aceite esencial, que se puede extraer de los frutos y una porción de las hojas; el aceite esencial está compuesto en su gran mayoría de una molécula denominada eugenol; la presencia de esta se determinará por medio de una cromatografía de gases acoplado a espectrofotometría de masas.

El aceite esencial se extrajo con de una técnica llamada hidrodestilación utilizando el equipo denominado neoclevenger; todo a escala laboratorio para determinar sus porcentajes de rendimiento, en función a dos residencias del árbol sus dos partes y tres niveles altitudinales lo cual se comparó por medio de un análisis de varianza de ANDEVA que mide su confiabilidad mediante la prueba F.

El alcance de este proyecto de investigación ha sido obtener datos experimentales, con los cuales se pretende determinar las mejores condiciones para extraer la mayor cantidad de aceite esencial, para luego poder proyectar

estos escenarios a escala planta piloto y obtener su valor agregado, ya que este aceite esencial se puede utilizar en la industria alimenticia, aromática, y de saborizantes.

Este estudio toma en consideración las directrices del proyecto de investigación CONCYT 037- 2015. Es una contribución a este proyecto de investigación propuesto por el Laboratorio de Investigaciones de Extractos Vegetales de la Facultad de Ingeniería.

1. ANTECEDENTES

Armando Gaspar realizó la tesis de grado *determinación de las especificaciones químicas de la pimienta dioica (pimienta gorda) de 15 comunidades de la Sierra Totonacapan bajo la Norma NMX-FF-063-1987*. En dicho estudio se realizan especificaciones del área de Totonacapan el cual se caracteriza por la presencia de un clima cálido húmedo predominante, con temperaturas extremas mínimas de 5° C en las partes altas durante el invierno y de 38° C en primavera. Estas condiciones han permitido la germinación de diversos frutos cuyas características han sido aprovechadas por los habitantes de la región. Un recurso de mayor importancia que actualmente está siendo sobrevaluado es la producción de pimienta gorda que contiene de 2 % a 5,2 % en peso de aceite esencial, aunque el contenido exacto depende del tiempo y lugar de cosecha.

Anabella López Lobos realizó el trabajo de tesis *estudio de factibilidad de una planta de extracción de aceite esencial y oleorresina de pimienta gorda, pimienta dioica* en la Universidad Rafael Landívar de Guatemala, Facultad de Ingeniería. En ese estudio se propone realizar una planta de extracción de aceite esencial y oleorresina de la pimienta dioica hacen estudios preliminares a escala laboratorio y luego llevarlos a nivel industrial, el rendimiento de aceite esencial a nivel laboratorio en dos muestras tuvo una media de 2,05.

Con una desviación típica de 0,024, y el rendimiento a nivel planta piloto en dos muestras tuvo una media de 1,66 con una desviación típica de 0,159. ¿Hay diferencia significativa entre los rendimientos obtenidos al nivel de significación de 0,10?

Telma Cano, Blanca Chávez, Jorge Godínez, David Monzón, realizaron la investigación dentro del Programa Universitario de Investigación en Desarrollo Industrial -PUIDI- denominado *obtención y caracterización del aceite esencial y oleorresina de la pimienta negra (Piper nigrum L.) cultivada en Guatemala. Una alternativa de desarrollo agroindustrial para el agricultor guatemalteco* en el cual se presentan datos obtenidos de porcentaje de rendimiento de aceite esencial que se interpretaron por medio de un análisis de varianza, se concluye que el factor tamaño de lote influye en el porcentaje de rendimiento de aceite esencial, obteniendo un porcentaje medio de 0,802 %. Asimismo, se realizó el análisis de varianza para los porcentajes de rendimiento de oleorresina, se concluyó que los dos factores estudiados; tamaño de lote y concentración de solvente, influyen significativamente en el rendimiento de oleorresina obtenido, el cual fue un valor promedio de 5,57, el lote fue de 10 libras y el etanol al 70 % los niveles más favorables para obtener el más alto rendimiento porcentual de oleorresina a nivel planta piloto con pimienta negra molida de 15 % de humedad, el valor reportado por Farell (1975) es de 6 %, para pimienta negra cultivada en otros países.

Ernest Guenther, *The essential oils [los aceites esenciales]* escribe un libro detallado de la extracción del aceite esencial; del aceite de la pimienta gorda (*Pimenta dioica* (L) Merrill), afirma que: "la destilación simple y fraccionada es aplicable sólo a mezclas que son completamente miscibles o solubles"¹. Pero cuando los líquidos no son mutuamente solubles (inmiscibles), también, pueden ser destilados y la extracción con solventes es la técnica más empleada para separar un producto orgánico de una mezcla de reacción o para aislarlo de sus fuentes naturales. La hidrodestilación puede definirse como la separación de un componente de una mezcla por medio de un disolvente.

¹ GUENTHER, Ernest. *The essential oils*. [http://www.jpharmsci.org/article/S0095-9553\(15\)31350-0/pdf](http://www.jpharmsci.org/article/S0095-9553(15)31350-0/pdf). Consulta: 14 de mayo de 2016.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Pimenta dioica (pimienta gorda)

La pimienta es un producto perteneciente al segmento de las especias que poseen propiedades aromáticas. Es una planta perenne, nativa de la India, país que en la actualidad es uno de los mayores productores de esta especia, en América Latina el principal productor es Brasil y el país que más importa es Estados Unidos. A partir de las frutas se elaboran las dos clases conocidas de pimienta: la negra en que la fruta entera es secada y la blanca en que las frutas maduras son fermentadas para quitarle la cáscara y los granos que quedan son secados.

2.2. Taxonomía

- Reino: Eukaryota
- Subreino: Cormobionta
- División: Spermatophyta
- Subdivisión: Magnoliophytina
- Clase: Magnoliatae
- Subclase: Rosidae
- Orden: Myrtales
- Familia: Myrtaceae
- Género: Pimenta
- Especie: dioica

2.3. Árbol de pimienta gorda

2.3.1. Forma

Árbol perennifolio, en el municipio de Siuna presentan edades de 7 a 10 años, la altura oscila entre de 6 a 10 metros (en estado natural hasta 30 metros), diámetro de copa de 6 a 8 metros, con diámetro a la altura del pecho de 10 a 15 cm (en estado natural de 20 cm a 50 cm).

Figura 1. **Árbol de pimienta dioica**



Fuente: CASTILLO, Jasmill. *Manual técnico para productores. Cultivo de pimienta gorda (pimienta dioica)*. p. 8

2.3.2. Copas / hojas

Copa redondeada o irregular, densa. Hojas simples, opuestas, decusadas; lámina de 4 a 16 cm de largo por 2 a 6 cm de ancho, elíptica, margen entero; haz oscuro, brillante, glabro, envés pálido, con numerosos puntos glandulosos. Al estrujarlas emanan un olor a pimienta.

Figura 2. Flor y hojas



Fuente: CASTILLO, Jasmill. *Manual técnico para productores. Cultivo de pimienta gorda (pimenta dioica)*. p. 8

2.3.3. Troncos / ramas

Tronco derecho, ligeramente acanalado, de porte bajo (2-4 mts) en plantaciones puras de 7 a 10 años. Ramas ascendentes.

2.3.4. Corteza

Externa lisa, desprendiéndose en escamas muy delgadas y alargadas, pardo verdosa o amarillenta con manchas moreno rojizas. Interna color crema amarillento o rosado, quebradiza, de sabor amargo y olor muy fragante. Grosor total: 4 mm a 6 mm.

2.3.5. Flores

En panículas axilares de 6 cm a 12 cm de largo, con las ramas cimosas, finamente pubescentes; pedicelos de 1 a 5 mm o flores sésiles; flores actinomórficas, fragantes, de 6 mm de diámetro; cáliz verde y pétalos blancos.

2.3.6. Frutos

Son bayas de 10 mm por 5 mm, redondas, aplanadas en el ápice, verrugosas, con el cáliz persistente, con glándulas convexas aceitosas, comúnmente dos semillas comprimidas lateralmente, el embrión en forma de una doble espiral (20,31). Los frutos tienen un fuerte olor fragante, ya que contienen de 2 % a 5% de aceite esencial, cuyo contenido principal es eugenol (65 % - 85 %). Los frutos se cosechan del árbol semiverdes y son secadas a los rayos del sol. Los frutos maduran en los meses de junio a octubre, algunas veces hasta diciembre.

Figura 3. **Frutos**



Fuente: CASTILLO, Jasmill. *Manual técnico para productores. Cultivo de pimienta gorda (pimenta dioica)*. p. 9

2.3.7. Semillas

Semillas de 5 mm a 6 mm de largo por 4,8 mm a 5,6 mm de ancho y 2,3 mm a 3 mm de grueso, verdosas y esféricas a hemisféricas. Semilla de color oscuro a café rojizo, tiene 4,85 % de aceites esenciales.

2.4. Condiciones edafoclimáticas para el cultivo de la pimienta gorda

2.4.1. Precipitación

Se desarrolla en climas de tipo cálido húmedo (trópicos) con lluvias todo el año, en la región prospera de forma natural y en plantaciones con precipitaciones de 1 500 a 2 500 mm anuales.

2.4.2. Suelos

Prospera sobre suelos arcillosos derivados de margas calcáreas; suelos: negro profundo, lateríticos con textura migajón arcilloso.

2.4.3. Temperatura

La temperatura, para lograr buenas producciones, debe ser de alrededor de 21 grados centígrados ya que estimula mejor floración, cuajado del fruto y producción. De acuerdo con observaciones de campo, temperaturas máximas de 28 a 32 grados centígrados y mínimas de 14 a 16 grados son muy beneficiosas para el desarrollo y producción, pero el mínimo indicado debe influir durante unas pocas horas entre noviembre y diciembre de cada año.

2.4.4. Altitud

La altura es un factor que regula o determina los lugares en donde deben cultivarse estas plantas. Para Guatemala, este rango debe oscilar entre los 0 msnm y 1500 msnm en el norte y la costa atlántica y de 450 msnm a 1 500 msnm en el declive del litoral del pacífico. El régimen de lluvias necesario es de 2 000 mm a 4 000 mm anuales, lo cual será suficiente para que las plantas crezcan y prosperen como cultivo económico.

2.5. Cosecha y poscosecha del cultivo

Cosecha o recolección: el período de producción de frutos en las plantaciones del municipio inició a partir de los 7 años de establecidas las plantaciones, con un incremento constante de la producción hasta los 15 años, período donde se homogeniza la producción (15 kg a 30 kg de frutos secos).

2.5.1. Cosecha de frutos

La cosecha se efectúa en los meses de agosto a septiembre, se realiza cuando se inicia el período de maduración, donde los frutos cambian de color verde a café oscuro. Por lo general, al momento de cosechar no todos los frutos están maduros por lo que es necesario dejar los granos por un período de 4 días, para la maduración total de los granos.

El secado de los frutos se debe realizar en secadores solares contruidos con plástico transparente y madera obtenida en la zona para minimiza los costos. Las semillas maduras se riegan en bandejas de madera blanca que no tenga olores ni sabores (palo de agua, cedro macho) por un período de 6 a 8 días, hasta que las semillas se encuentren con un porcentaje de humedad no mayor del 10 %.

2.5.2. Cosecha de hojas

Las hojas se cosechan desde 3 hasta 5 meses, período en que se encuentran las mayores concentraciones de aceite. Se cosechan de forma manual aprovechando un 40 % del árbol. Las cosechas se pueden realizar cada cuatro meses. La cosecha se realiza en árboles con edades mayores de cinco años con producciones de 5 kg de hojas por árbol.

2.5.3. Limpieza y selección del grano

Se realiza de forma manual: primero se extraen las impurezas como residuos de hojas, pequeñas ramas semillas vanas; posteriormente, se clasifican los granos para la comercialización con el fin de darle una presentación excelente al producto. Almacenamiento: después del empaque hermético de los frutos secos de pimienta se pueden almacenar por períodos de tres a seis meses, siempre que a estos se les haya realizado correctamente la técnica de poscosecha.

2.5.4. Usos

Los frutos, las semillas y las hojas de la pimienta gorda contienen aceite esencial, que se usa como agente aromatizante. Además, las hojas de la pimienta gorda contienen esencias volátiles que una vez destiladas se utilizan para la fabricación de cosméticos, esencias y perfumes y como fuente para la elaboración de eugenol y vainilla. El fruto aromático se utiliza como condimento alimenticio en la elaboración de alimentos, además junto con las hojas son utilizados como estimulante en la medicina casera como antiséptico, carminativo y desinflamatorio.

2.6. Aceites esenciales

Los aceites esenciales son mezclas compuestas por líquidos y sólidos que varían ampliamente en cuanto a su composición y punto de ebullición. De acuerdo con los aceites esenciales son mezclas complejas de químicos; las porciones relativas de estos son usualmente característicos de una especie específica, pero pueden variar según la especie, fuente y condiciones ambientales durante el crecimiento, cosecha y preparación de la especie para el mercado. Son productos químicos que forman las esencias odoríferas de un gran número de vegetales. El término aceite esencial se aplica también a las sustancias sintéticas similares preparadas a partir del alquitrán de hulla, y a las sustancias semisintéticas preparadas a partir de los aceites naturales esenciales. Los aceites esenciales proceden de las flores, frutos, hojas, raíces, semillas y corteza de los vegetales. Los aceites se forman en las partes verdes (con clorofila) del vegetal y al crecer la planta son transportadas a otros tejidos, en concreto a los brotes en flor.

Son las fracciones líquidas volátiles, generalmente, destilables por arrastre con vapor de agua, que contienen las sustancias responsables del aroma de las plantas y que son importantes en la industria cosmética (perfumes y aromatizantes), de alimentos (condimentos y saborizantes) y farmacéutica (saborizantes). Los aceites esenciales generalmente son mezclas complejas de hasta más de 100 componentes que pueden ser:

- Compuestos alifáticos de bajo peso molecular (alcanos, alcoholes, aldehídos, cetonas, ésteres y ácidos).
- Monoterpenos.
- Sesquiterpenos.
- Fenilpropanos.

En su gran mayoría son de olor agradable, aunque existen algunos de olor relativamente desagradable, por ejemplo, los del ajo y la cebolla, los cuales contienen compuestos azufrados.

2.6.1. Clasificación

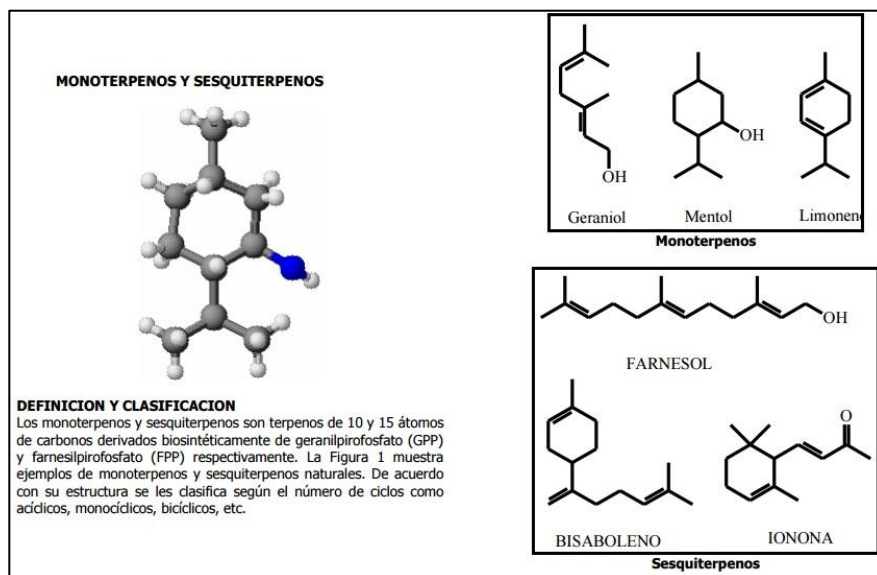
Los aceites esenciales se clasifican con base en diferentes criterios: consistencia, origen y naturaleza química de los componentes mayoritarios. De acuerdo con su consistencia los aceites esenciales se clasifican en esencias fluidas, bálsamos y oleorresinas. Las esencias fluidas son líquidos volátiles a temperatura ambiente. Los bálsamos son de consistencia más espesa, son poco volátiles y propensos a sufrir reacciones de polimerización, por ejemplo, el bálsamo de copaiba, el bálsamo del Perú, benjuí, bálsamo de Tolú, estoraque, etc. Las oleorresinas tienen el aroma de las plantas en forma concentrada y son típicamente líquidos muy viscosos o sustancias semisólidas (caucho, gutapercha, chicle, balata, oleorresina de paprika, de pimienta negra, de clavero, entre otros).

De acuerdo a su origen los aceites esenciales se clasifican como naturales, artificiales y sintéticas. Los naturales se obtienen directamente de la planta y no sufren modificaciones físicas ni químicas posteriores, debido a su rendimiento tan bajo son muy costosas. Los artificiales se obtienen a través de procesos de enriquecimiento de la misma esencia con uno o varios de sus componentes, por ejemplo, la mezcla de esencias de rosa, geranio y jazmín enriquecida con linalool, o la esencia de anís enriquecida con anetol. Los aceites esenciales sintéticos como su nombre lo indica son los producidos por la combinación de sus componentes los cuales son la mayoría de las veces producidos por procesos de síntesis química. Estos son más económicos y, por lo tanto, son mucho más utilizados como aromatizantes y saborizantes (esencias de vainilla, limón, fresa, entre otros).

Desde el punto de vista químico y a pesar de su composición compleja con diferentes tipos de sustancias, los aceites esenciales se pueden clasificar de acuerdo con el tipo de sustancias que son los componentes mayoritarios. Según esto los aceites esenciales ricos en monoterpenos se denominan aceites esenciales monoterpenoides (p.ej. hierbabuena, albahaca, salvia, etc.). Los ricos en sesquiterpenos son los aceites esenciales sesquiterpenoides (p.ej. copaiba, pino, junípero, entre otros).

Los ricos en fenilpropanos son los aceites esenciales fenilpropanoides (p.ej. clavo, canela, anís, entre otros). Aunque esta clasificación es muy general resultará útil para propósitos de estudiar algunos aspectos fitoquímicos de los monoterpenos, los sesquiterpenos y los fenilpropanos; sin embargo, existen clasificaciones más complejas como la de González Patiño que tienen en cuenta otros aspectos químicos.

Figura 4. **Monoterpenos y sesquiterpenos**



Fuente: MARTÍNEZ, Alejandro. *Aceites esenciales*. p. 4.

2.6.2. Clasificación por consistencia

Las esencias fluidas son líquidos volátiles a temperatura ambiente.

Los bálsamos son de consistencia más espesa, poco volátiles y propensos a sufrir reacciones de polimerización, por ejemplo, el bálsamo de copaiba, el bálsamo del Perú, bálsamo de Tolú, estoraque, entre otros.

Las oleorresinas tienen el aroma de las plantas en forma concentrada y son típicamente líquidos muy viscosos o sustancias semisólidas (caucho, gutapercha, chicle, oleorresina de paprika, de pimienta negra, de clavo, entre otros).

2.6.3. Clasificación por su origen

Los naturales se obtienen directamente de la planta y no sufren modificaciones físicas ni químicas posteriores, debido a su rendimiento tan bajo son muy costosos.

Los artificiales se obtienen a través de procesos de enriquecimiento de la misma esencia con uno o varios de sus componentes, por ejemplo, la mezcla de esencias de rosa, geranio y jazmín enriquecida con linalol.

Los sintéticos como su nombre lo indica son los producidos por procesos de síntesis química. Estos son más económicos y por lo tanto son mucho más utilizados como aromatizantes y saborizantes.

2.6.4. Aislamiento y extracción

Los aceites esenciales se pueden extraer de las muestras vegetales mediante varios métodos: expresión, destilación con vapor de agua, extracción con solventes volátiles, enfleurage y con fluidos supercríticos. En la expresión el material vegetal es exprimido para liberar el aceite que es recolectado y filtrado. Este método es utilizado para el caso de las esencias de cítricos. En la destilación por arrastre con vapor de agua, la muestra vegetal, generalmente fresca y cortada en trozos pequeños, es encerrada en una cámara inerte y sometida a una corriente de vapor de agua sobrecalentado, la esencia así arrastrada es posteriormente condensada, recolectada y separada de la fracción acuosa. Esta técnica es muy utilizada especialmente, para esencias fluídas, especialmente las utilizadas para perfumería.

Se utiliza a nivel industrial debido a su alto rendimiento, la pureza del aceite obtenido y porque no requiere tecnología sofisticada. En el método de extracción con solventes volátiles.

La muestra seca y molida se pone en contacto con solventes como alcohol, cloroformo, etc. Estos solventes solubilizan la esencia, también solubilizan y extraen otras sustancias como grasas y ceras, obteniéndose al final una esencia impura. Se utiliza a escala de laboratorio pues a nivel industrial resulta costoso por el valor comercial de los solventes, porque se obtienen esencias impurificadas con otras sustancias, además, por el riesgo de explosión e incendio característicos de muchos solventes orgánicos volátiles.

2.6.5. Hidrodestilación como técnica de extracción sólido líquido destilado por arrastre de vapor

Generalmente, es llamado destilación por arrastre de vapor; sin embargo, no existe un nombre claro y conciso para definirlo, debido a que se desconoce exactamente lo que sucede en el interior del equipo principal y porque se usan diferentes condiciones del vapor de agua para el proceso. Es así que, cuando se usa vapor saturado o sobrecalentado, fuera del equipo principal, es llamado destilación por arrastre de vapor.

Cuando se usa vapor saturado, pero la materia prima está en contacto íntimo con el agua generadora del vapor, se le llama hidrodestilación. Cuando se usa vapor saturado, pero la materia no está en contacto con el agua generadora, sino con un reflujo del condensado formado en el interior del destilador y se asumía que el agua era un agente extractor, se le denominó hidroextracción.

El término hidrodestilación se define como el proceso para obtener el aceite esencial de una planta aromática, mediante el uso del vapor saturado a presión atmosférica. El generador de vapor no forma parte del recipiente donde se almacena la materia prima, es externo y suministra un flujo constante de vapor. Su presión es superior a la atmosférica, pero el vapor efluente, que extrae al aceite esencial está a la presión atmosférica. La materia prima forma un lecho compacto y se desprecia el reflujo interno de agua debido a la condensación del vapor circundante.

Para describir el proceso de hidrodestilación se deben tomar en cuenta las siguientes consideraciones: la materia prima vegetal es cargada en un hidrodestilador, de manera que forme un lecho fijo compactado. Su estado

puede ser molido, cortado, entero o su combinación. 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. La generación del vapor puede ser local (hervidor), remota (caldera) o interna (base del recipiente).

Conforme el vapor entra en contacto con el lecho, la materia prima se calienta y va liberando el aceite esencial contenido y este, a su vez, debido a su alta volatilidad se va evaporando. Al ser soluble en el vapor circundante, es arrastrado corriente arriba hacia el tope del hidrodestilador. La mezcla, vapor saturado y aceite esencial, fluye hacia un condensador, mediante un cuello de cisne o prolongación curvada del conducto de salida del hidrodestilador. En el condensador, la mezcla es condensada y enfriada, hasta la temperatura ambiental. A la salida del *condensador*, se obtiene una emulsión líquida inestable, la cual es separada en un decantador dinámico o florentino.

Este equipo está lleno de agua fría al inicio de la operación y el aceite esencial se va acumulando, debido a su casi inmiscibilidad (baja capacidad para disolverse) en el agua y a la diferencia de densidad y viscosidad con el agua. Posee un ramal lateral, por el cual el agua es desplazada para favorecer la acumulación del aceite. El vapor condensado acompañante del aceite esencial y que también se obtiene en el florentino, es llamado agua floral.

Posee una pequeña concentración de los compuestos químicos solubles del aceite esencial, lo cual le otorga un ligero aroma, semejante al aceite obtenido. Si un hervidor es usado para suministrar el vapor saturado, el agua floral puede ser reciclada continuamente, por lo que es almacenada como un subproducto. El proceso termina cuando el volumen del aceite esencial acumulado en el florentino no varíe con el tiempo de extracción. A continuación,

el aceite es retirado del florentino y almacenado en un recipiente y en lugar apropiado. El hidrodestilador es evacuado y llenado con la siguiente carga de materia prima vegetal para iniciar una nueva operación.

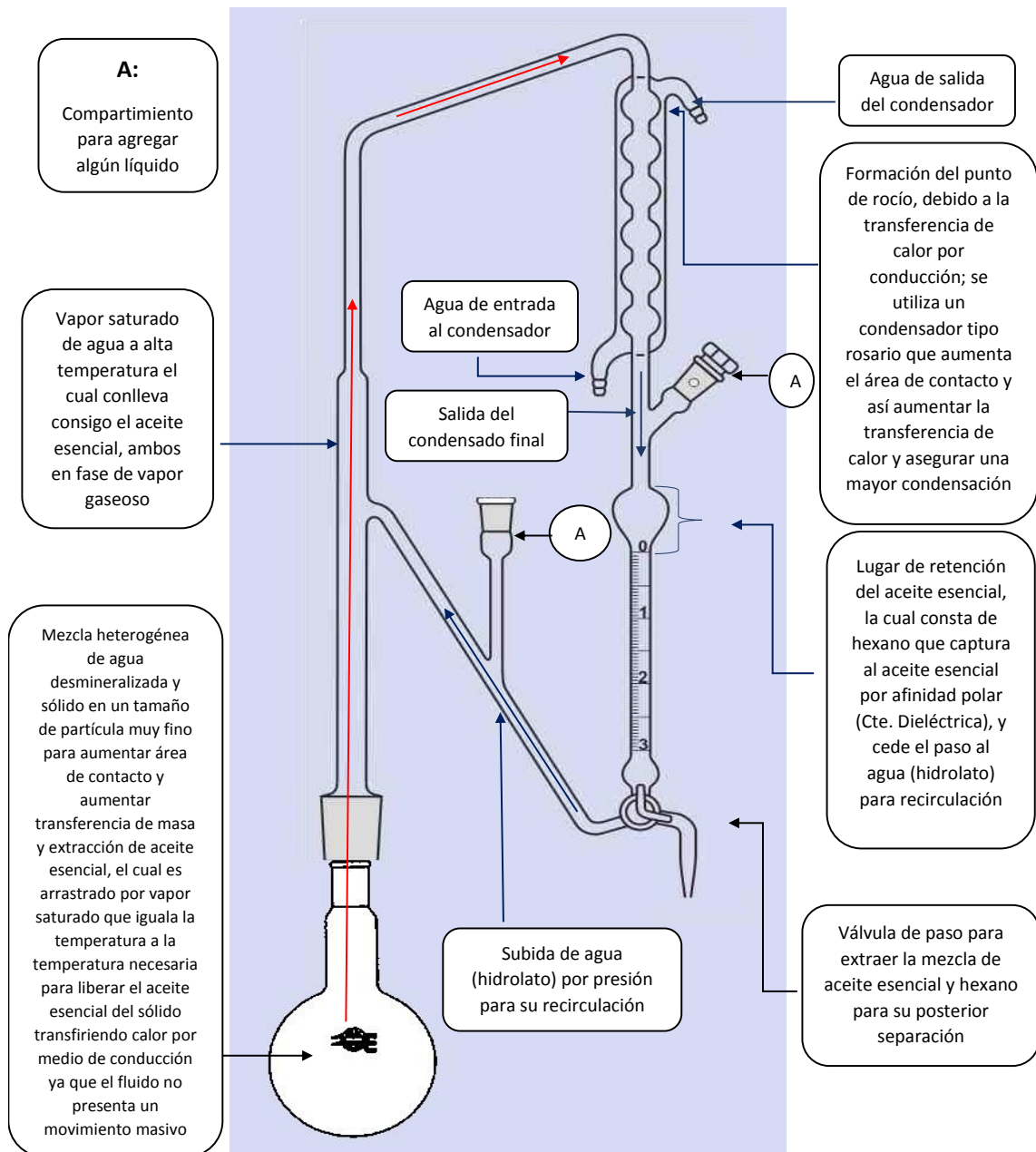
Se presenta un esquema básico del proceso, donde el hidrodestilador es cargado por lotes y trabaja en modo semicontinuo. El condensador, comúnmente funciona en modo continuo, con el flujo del agua de refrigeración a contracorriente. Un generador de vapor de agua es alimentado con agua fresca y además de agua floral cuando hay reciclo. Los usos de los aceites esenciales obtenidos por hidrodestilación son muy amplios, aunque básicamente están orientados a la perfumería, la cosmética, la industria farmacéutica, como aditivo e insumo para sintetizar compuestos, la alimentaria, como aditivo y como insumo para la fabricación de productos de higiene personal y de limpieza doméstica. La industria farmacéutica requiere de aceites esenciales libres de terpenos porque se busca solo los principios activos farmacológicos de la planta, comúnmente los terpenos y sesquiterpenos oxigenados, para complementar un medicamento.

2.6.6. Sistema de extracción de aceite esencial a escala laboratorio

El más conocido es el equipo cleverger usado en muchos laboratorios y considerado en varios estándares internacionales como el más adecuado para la determinación del contenido total del aceite esencial de una planta aromática. Está compuesto de un matraz redondo donde se deposita la materia prima molida y una cantidad conocida de agua pura. Se le calienta constantemente, los aceites esenciales con el agua presente se evaporan continuamente. Un condensador va acoplado al matraz y una conexión en forma de D permite acumular y separar el aceite esencial de la mezcla condensada. El agua floral condensada regresa al matraz por el rebose de la conexión.

En la figura 6 se aprecian los dos tipos de conexiones: cuando el aceite esencial es más denso que el agua y cuando es menos denso. Las ventajas de este equipo son su simplicidad y flexibilidad para trabajar con aceites de diferente densidad y naturaleza. Las desventajas radican en la incapacidad de usar los resultados obtenidos para un escalado porque el material vegetal no forma un lecho fijo, sino está en contacto permanente con el agua, lo cual no responde al tipo de hidrodestilación industrial empleado comúnmente. Además, el hecho de estar molido genera que el aceite se encuentre disponible para su vaporización y arrastre, lo cual no ocurre a mayores escalas. El tiempo de extracción es muy largo comparado con el usado industrialmente, porque se busca agotar todo el aceite contenido en la planta y no sirve para establecer el tiempo óptimo de operación.

Figura 5. Neoclevenger en vidrio Pyrex



Fuente: elaboración propia.

El sistema neoclevenguer presenta los tres tipos de fenómenos de transporte:

Presenta levemente el fenómeno de movimiento en el retorno del agua condensada hacia el balón de fondo redondo por medio de un empuje de presión hidrostática para su recirculación, esta agua puede considerarse levemente como hidrolato debido a que pasa llevándose una pequeña cantidad de aceite esencial cuando pasa por el hexano.

Presenta el fenómeno de transporte conocido como transferencia de energía, cuando intercambia calor en dos momentos del fenómeno, en ambos momentos se presenta como transferencia de calor por conducción; en la sección del balón de fondo redondo alcanza una temperatura parecida a la temperatura del sólido con la cual logra extraer el aceite esencial del sólido y se lo lleva en forma de vapor una operación unitaria conocida como lixiviación de semillas vegetales; esta transferencia de calor se da por conducción y no por convección debido a que el fluido caliente no presenta un movimiento masivo.

Luego, se da otro fenómeno de transferencia de calor en el condensador cuando se da un cambio en el estado de fase de vapor saturado; este cambio se da de vapor a líquido, también, por medio de una transferencia de calor por conducción debido al agua fría circulando por las paredes externas al rosario estas transfieren la energía por medio de las secciones circulares del condensador lo cual aumenta el área de contacto lo que facilita el cambio de fase de vapor a líquido.

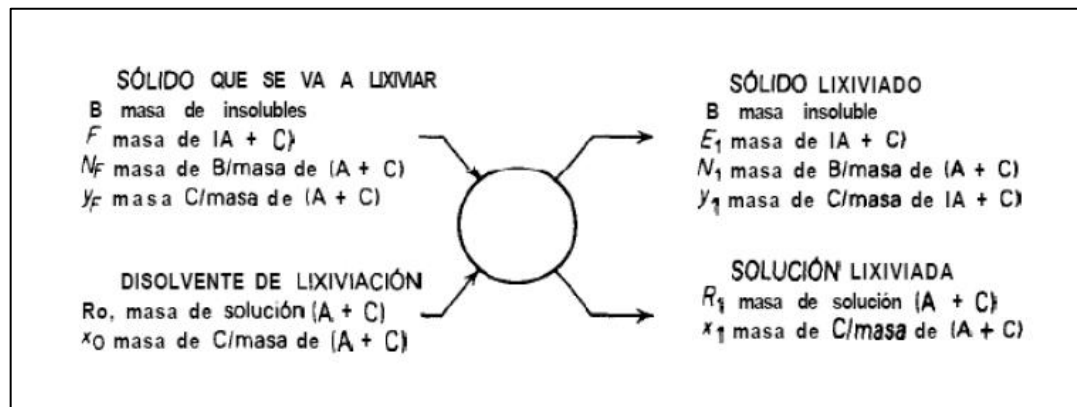
Por último, se da un fenómeno de transferencia de masa en el balón de fondo plano cuando el vapor de arrastre entra en contacto con el sólido finamente molido para aumentar el área de contacto y así realizar la extracción

más rápidamente; la extracción que se realiza es una extracción denominada lixiviación por decocción, de semillas vegetales; esta operación unitaria se refiere específicamente al uso de disolvente a su temperatura de ebullición cuando se pone en contacto con el sólido.

La lixiviación en una solo etapa como la que se realiza en el neoclevenger se define según Treybal con el siguiente análisis de ecuaciones:

$$B = N_F F = E_1 N_1 \quad (\text{Ec.1})$$

Figura 6. Lixiviación en una solo etapa



Fuente: TREYBAL, Robert E. *Operaciones de transferencia de masa*. p. 97.

- Balance de soluto C

$$F y_F + R_0 x_0 = E_1 y_1 + R_1 x_1 \quad (\text{Ec. 2})$$

- Balance disolvente A

$$F(1 - y_F) + R_0(1 - x_0) = E_1(1 - y_1) + R_1(1 - x_1) \quad (\text{Ec. 3})$$

- Balance de solución líquido más solvente

$$F + R_0 = E + R = M_1 \quad (\text{Ec. 4})$$

- El mezclado de los sólidos se van a lixiviar y el disolvente de lixiviación produce una mezcla de masa MI libre de B tal que:

$$N_{MI} = \frac{B}{F + R_0} = \frac{B}{M_1}$$

$$y_{M1} = \frac{y_F F + R_0 x_0}{F + R_0} \quad (\text{Ec. 5 y 6})$$

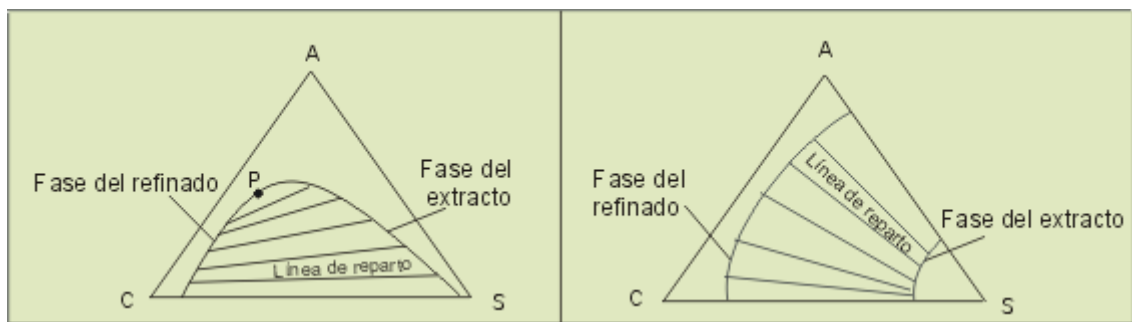
2.6.7. Equilibrio ternario

Diagramas que representan el equilibrio entre las distintas fases que se forman mediante tres componentes, como una función de la temperatura. Normalmente, la presión no es una variable indispensable en la construcción de diagramas de fases ternarios, por lo tanto, se mantiene constante a 1 atm.

En un diagrama ternario cualquiera, la suma de las proporciones de las variables implicadas a, b y c es siempre igual a una constante K. Los valores suelen ser indicados de forma porcentual y la constante se suele representar en este caso como 1,0 % o 100 %. Como la suma de las tres proporciones suma siempre K, se puede ver que existe una relación de dependencia entre dos cualesquiera de las variables con la tercera, por ejemplo, se puede representar

la variable c como $K-a-b$. De esta forma solo se requiere de dos coordenadas (grados de libertad) para encontrar el punto correspondiente a una muestra, es decir, se pueden representar las tres variables en un gráfico bidimensional.

Figura 7. Diagrama ternario



Fuente: CHINCHILLA, Juan. *Inventario y propuesta de manejo de las poblaciones de pimienta gorda (pimenta dioica (L.) Merrill) y chicozapote (manilkara achras (Mill) Fosberg) en la zona de uso especial del Parque Nacional Yaxha, en la reserva de la biosfera maya*. p. 43

2.6.8. Solventes

Heath, divide a los solventes en dos categorías: polares y no polares. Los solventes polares tienen altas constantes dieléctricas, generalmente, son más poderosos y disuelven un rango más amplio de sustancias.

Para la elección del solvente se toma en cuenta lo siguiente:

- El solvente no reacciona químicamente con el principio activo que será extraído, de otra manera la estructura y características del principio activo será alterado.

- Es esencial el solvente tenga un punto de ebullición bajo con alta volatilidad para evitar la descomposición del principio activo al concentrar el extracto por su destilación (no mayor de 50 °C), que utiliza la presión negativa necesaria para evitar la descomposición del principio activo.
- Se desea que el solvente tenga una acción selectiva con alto poder disolvente del producto deseado en comparación a otros principios activos y principios inmediatos.
- Deberá ser razonablemente barato y fácilmente disponible en grado reactivo.
- No es posible usar solventes como el benceno el cual puede producir cáncer.
- El solvente a utilizar es hexano grado químico, con las siguientes características:
 - CAS 110-54-3
 - P ebullición 69 °C
 - Densidad 0,66 g/ml a 20 °C
 - Índice de Refracción 1,38 °C a 20 °C
 - Constante dieléctrica 2,0

2.6.9. Ventajas

Los aceites esenciales tienen las siguientes ventajas:

- Higiénico, exentos de bacterias, etc.
- Sabor corriente suficientemente fuerte
- Calidad del sabor conforme con la materia prima
- No colorean al producto
- Exento de enzimas
- Exento de taninos
- Estables sí se almacenan en buenas condiciones

De acuerdo al Centro de Comercio Internacional, UNCTAD - GATT (1974):

2.6.10. Desventajas

La mayor desventaja de los aceites esenciales de acuerdo al Centro de Comercio Internacional UNCTAD - GATT (1974) son:

- Buen sabor, pero incompleto.
- Sabor a menudo mal distribuido.
- Algunos se oxidan fácilmente.
- No contienen ningún antioxidante natural.
- Se alteran fácilmente.
- Muy concentrados, por lo tanto, difíciles de manipular y de pesar con precisión.
- No se dispersan fácilmente sobre todo en los productos secos.

2.7. Propiedades fisicoquímicas del aceite esencial

Según Guenther son:

- Gravedad específica a 15 °C: 1,024 – 1,055.
- Rotación óptica: -0° 32' a -5°.
- Índice refractivo a 20°C: 1,525 – 1,536.
- Contenido de fenol (determinado con una solución al 3 % de hidróxido de sodio): 65 % - 89 %.
- Solubilidad: soluble en 1 a 2 volúmenes y más de alcohol al 70 %; ocasionalmente, con opalescencia y turbidez en la disolución.

Según Heath las propiedades fisicoquímicas son:

- Gravedad específica a 25 °C/ 25°C: 1,018 – 1,048.
- Rotación Óptica 20 °C: 0° a -3°.
- Índice refractivo a 20°C: 1,53 – 1,54.
- Contenido de fenol: menos de 65 %, por volumen (principalmente eugenol).
- Solubilidad: soluble en 2 volúmenes de alcohol al 70 %, ocasionalmente, con opalescencia.

Tabla I. **Propiedades de la pimienta gorda frutos**

Compuesto	Cantidad
Agua	8,5 g
Energía	263 kcal
Proteína	6,1 g
Grasa	8,7 g
Carbohidratos totales	72,1 g
Fibra	21,6 g
Cenizas	4,7 g
Calcio	661 mg
Hierro	7 mg

Continuación de la tabla I.

Magnesio	135 mg
Fósforo	113 mg
Potasio	1044 mg
Sodio	77 mg
Zinc	1 mg
Ácido ascórbico	39,2 mg
Tiamina	0,1 mg
Riboflavina	0,1 mg
Niacina	22,9 mg
Vitamina A	540 UI

Fuente: elaboración propia.

2.7.1. Cromatografía

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

Diferencias sutiles en el coeficiente de partición de los compuestos dan como resultado una retención diferencial sobre la fase estacionaria y, por tanto, una separación efectiva en función de los tiempos de retención de cada componente de la mezcla.

La cromatografía puede cumplir dos funciones básicas que no se excluyen mutuamente:

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

2.7.2. Cromatografía de capa fina

Es una técnica sencilla que le debe el nombre a que la fase estacionaria es una capa fina de una materia porosa, extendida para su manejo sobre un soporte inerte; donde la fase móvil se mezcla con disolventes, esta se traslada por la capilaridad de la capa fina, donde esta arrastra los componentes en su mayoría con un coeficiente de reparto alto.

2.7.3. Cromatografía de gases acoplado a espectrofotometría de masas

La cromatografía de gases (GC) se emplea cuando los componentes de la mezcla problema son volátiles o semivolátiles y térmicamente estables a temperaturas de hasta 350 - 400 grados centígrados. A menudo, la cromatografía de gases se emplea para confirmar la presencia o ausencia de un compuesto en una muestra determinada. Por otra parte, la espectrometría de masas (MS) puede identificar de manera casi inequívoca cualquier sustancia pura, pero normalmente no es capaz de identificar los componentes individuales de una mezcla sin separar previamente sus componentes, debido a la extrema complejidad del espectro obtenido por superposición de los espectros particulares de cada componente.

2.7.4. Índice de refracción

Para medir este parámetro se utiliza un refractómetro, el cual tiene la capacidad de comparar el ángulo de incidencia con el ángulo de refracción de la luz a una longitud de onda específica. Este es una medida de la relación entre la velocidad de la luz y la velocidad de un medio transparente. Este parámetro se puede ver afectado a cambio de temperatura y a la longitud de onda.

2.7.5. Densidad de los aceites esenciales

La densidad de un aceite esencial medida a temperatura estándar (25 grados centígrados), permite distinguir un aceite esencial auténtico de esencias sintéticas comunes. La densidad se expresa en unidades de masa por volumen, usualmente gramos por centímetro cúbico, la mayoría de los aceites esenciales al estar compuestos fundamentalmente por terpenos y derivados, compuestos orgánicos con átomos ligeros (C,H,O) formando cadenas y anillos, tienen una densidad menor que la densidad del agua. Sin embargo, hay algunos aceites con densidad mayor como canela, clavo de olor o perejil.

2.7.6. Solubilidad de los aceites esenciales

Los aceites esenciales son completamente solubles en alcohol puro. Si a este se le añade agua de forma progresiva, la mezcla disolverá menos aceite esencial. Según el tipo de aceite esencial, se disolverá completamente en una mezcla alcohol-agua que lleve como máximo una determinada proporción de agua. Por lo tanto, esta caracterización es para determinar para un aceite esencial la proporción alcohol-agua correcta con la menor cantidad de alcohol posible, pero suficiente para disolver completamente formando solo una fase, una cantidad específica de aceite esencial.

3. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Localización

La parte experimental de estudio, la de extracción del aceite esencial, su rotaevaporación y la caracterización fisicoquímica se detallan a continuación:

- Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales (LIECVE), Sección de Química Industrial, Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Instituto de Investigaciones, CIB/Departamento de Química, Laboratorio de Instrumentación de Química Avanzada LIQA, Universidad del Valle de Guatemala.

3.2. Variables

Propiedad, característica o atributo susceptible de asumir diferentes valores, es decir, puede variar.

3.2.1. Variables independientes

- Segmento del árbol utilizado para la extracción de aceite esencial (hojas y frutos).

Tabla II. **Variables independientes para el proceso de extracción por hidrodestilación**

Núm.	Variable	Dimensional	Descripción
1	Parte de la planta	Adimensional	Hojas y frutos
2	Procedencia	Adimensional	Petén y Alta Verapaz
3	Nivel altitudinal	Msnm	Tres diferentes niveles altitudinales

Fuente: elaboración propia.

3.2.2. Variables dependientes

Es la variable donde su valor depende del valor de la variable independiente de dicha función.

Tabla III. **Variables dependientes para el proceso de extracción por hidrodestilación**

Núm.	Variable	Dimensional	Descripción
1	% rendimiento	%	Depende de la relación con solvente y tiempo
2	Densidad	g/mL	Depende de la extracción total del solvente
3	Índice de refracción	Adimensional	Depende del lote utilizado para la extracción
5	Cromatografía gaseosa	Adimensional	Depende del lote utilizado para la extracción

Fuente: elaboración propia.

3.3. Delimitación del campo de estudio

El trabajo de investigación es del tipo cuantitativo-experimental-comparativo, en donde se evalúa una especie cultivada en el norte del país denominada pimienta gorda (*Pimenta dioica* (L.) Merrill), específicamente en Alta Verapaz y Petén, conforme a tres niveles altitudinales de cada departamento tomando en cuenta dos secciones de la planta (hojas y frutos) para comparar cuál de todos los tratamientos realizados posee la mayor cantidad de aceite esencial con un mayor contenido de eugenol, por medio del método de extracción de hidrodestilación y rotaevaporación a nivel laboratorio.

3.3.1. Obtención de la materia prima

La materia prima para la extracción del aceite esencial fue obtenida de Petén y Alta Verapaz; dicha materia prima se colocó en envases de preferencia de vidrio para conservar sus aromas originales; luego, fueron trasladados a la Universidad de San Carlos de Guatemala donde se procedió a secar en el secador eléctrico de flujo transversal de bandejas instalado en el Laboratorio del Centro de Investigaciones de Ingeniería y en el secador solar CEDA de la Facultad de Agronomía; luego, se procedió a realizar las extracciones necesarias ya descritas.

3.3.2. Extracción del aceite esencial

Para la extracción del aceite esencial se utilizarán los frutos y las hojas del árbol de pimienta gorda con el método de hidrodestilación; dicha operación unitaria se realizó en el Laboratorio de Investigaciones de Ingeniería de Extractos Vegetales, LIECVE, del Centro de Investigaciones de Ingeniería, CII, ciudad universitaria zona 12.

3.3.3. Análisis fisicoquímico del aceite esencial

La caracterización del aceite esencial, de su densidad y refracción, se realizó en el Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales –LIECVE-, en la Sección de Química Industrial de la Universidad de San Carlos de Guatemala, ciudad universitaria zona 12; la caracterización de cromatografía de gases con acoplado de masas (GC/MS) se realizó en el Programa de Análisis Químico PAQ de la Universidad del Valle de Guatemala, zona 15, Vista Hermosa III.

3.4. Recursos humanos

- Investigador: Br. Kevin Fernando Carias Villela.
- Asesores: Inga. Qca. Telma Maricela Cano Morales, Ing. Qco. Mario José Mérida Meré.

3.5. Recursos materiales disponibles

Es la materia prima, materiales auxiliares, cristalería, reactivos y equipos utilizados en el desarrollo adecuado de la parte experimental del proyecto de investigación. Se enlistan a continuación:

Tabla IV. **Materia prima y reactivos**

Materia prima	Hojas y frutos de la pimienta gorda
Reactivos	Agua desmineralizada tipo II
	Hexano grado analítico

Fuente: elaboración propia.

Tabla V. **Cristalería, equipo y otros**

Cristalería	Beacker 200 mL
	Erlenmeyer 500 mL
	Ampolla de decantación 500 mL
	Varillas de agitación
	Embudo
	Probetas graduadas 25 mL y 1000 mL
	Crisol
Instrumentos de medición	Balón de 250 mL
	Balón aforado 100 mL
	Refractómetro Fisher Scientific de 60 Hertz
	Termómetro
	Cronómetro
	Cromatógrafo de gases con acoplamiento a espectrometría de masas (GC/MS).
Equipo Auxiliar	Secador de bandejas PREMLAB
	Neoclevenger
	Rotaevaporador
Otros	Cuaderno de bitácora
	Papel mayordomo

Fuente: elaboración propia.

3.6. Técnica cuantitativa

En el presente estudio de investigación se utilizaron técnicas cuantitativas para determinar el rendimiento de la extracción de aceite esencial de la pimienta gorda (*Pimenta dioica* (L.) Merrill), a partir de dos secciones de la planta, hojas y frutos, las cuales se detallan a continuación.

3.6.1. Extracción de aceite esencial de pimienta gorda (*Pimenta dioica* (L.) Merrill), con el método de hidrodestilación

- Limpiar materia prima.
- Reducir tamaño de materia prima por medio de un molino de cuchillas.

- Determinar humedad.
- Revisar si la humedad es menor al 10 %.
- Armar equipo neoclevenger con plancha de calentamiento.
- Colocar materia prima con agua destilada en la proporción preliminar.
- Encender plancha de calentamiento.
- Verificar que sistema de enfriamiento sea el adecuado.
- Esperar primera gota del condensado y dejar el tiempo preliminar.
- Anotar la hora inicial de la extracción y dejar el sistema en funcionamiento.
- Luego de finalizada la extracción, recuperar el aceite extraído en los viales color ámbar previamente tarados.
- Anotar la cantidad del aceite esencial extraído.

3.6.2. Cálculo del rendimiento del aceite esencial

- Escribir en la bitácora el peso inicial de la materia prima.
- Tarar un *beacker*.
- Colocar el aceite extraído de la muestra en el *beacker* y pesar en balanza analítica.
- El rendimiento se determina como la razón del peso del aceite esencial en función de la materia prima inicial. Utilizar la siguiente ecuación.

$$\%Rendimiento = \frac{w_f - w_t}{w_{mp}} \quad (\text{Ec. 7})$$

Donde:

- Porcentaje de Rendimiento: porcentaje de rendimiento del aceite esencial
- Wf: peso final del beacker con el aceite esencial (g)

- Wt: tara del *beacker* vacío (g)
- Wmp: peso de la materia prima (g)

3.6.3. Cálculo de la densidad del aceite

- Limpiar con etanol el picnómetro y secar.
- Tarar el picnómetro de 1mL.
- Utilizar una micropipeta para verter la muestra del aceite en el picnómetro.
- Pesar el picnómetro con la muestra.
- Utilizar la siguiente ecuación.

$$\rho = \frac{w_{fp} - w_{op}}{v_p} \quad (\text{Ec. 8})$$

Donde:

- ρ : densidad (g/mL)
- Wfp: peso final del picnómetro con la muestra del aceite esencial (g)
- Wop: peso inicial del picnómetro (g)
- Vp: volumen del picnómetro (mL)

3.6.4. Medición del índice de refracción

- Limpiar el lente del prisma con agua desionizada.
- Agregar una o dos gotas de aceite esencial al prisma.
- Encender la lámpara con el interruptor en el lado izquierdo y ajustar para asegurar el brillo adecuado en la medición.

- Girar la perilla de compensación de color hasta que aparezca una línea clara y definida en el campo de visión.
- Girar la perilla de medición alineando la línea delimitadora con las líneas de intersección.
- Mover la palanca de la parte inferior izquierda.
- Leer en la escala superior el índice de refracción.

3.6.5. Cromatografía gaseosa con acoplamiento de espectrometría de masas

- Inyectar dentro del espectrómetro 0,2 μ L de aceite esencial diluido en 1 mL de metanol.
- Comparar el peso molecular de las especies que se encuentran en el aceite a partir de un patrón por medio de iones.
- Asignar un área porcentual a cada pico del cromatograma que representa un tiempo de retención.
- Identificar y nombrar cada componente del aceite según la librería contenida en el programa del cromatógrafo tomando en cuenta todas las muestras.

3.7. Recolección y ordenamiento de la información

Para el presente estudio de investigación el cual tiene como objetivo principal la determinación de la extracción de aceite esencial de la pimienta gorda (*Pimenta dioica* (L.) Merrill), luego de definir las variables dependientes e independientes, se procedió a realizar su parte experimental.

Para la extracción del aceite esencial, el cual se obtuvo por medio de hidrodestilación, se realizaron 36 tratamientos en total los cuales incluyeron la

procedencia de la planta, distintos niveles altitudinales y diferentes secciones de la planta (hojas y frutos), estos tratamientos se realizaron con relaciones de agua desmineralizada, 1:10 para hojas y 1:15 para frutos; se realiza con 3 réplicas para cada tratamiento, el orden de extracción fue tomado totalmente aleatorio.

3.7.1. Diseño de tratamientos

De acuerdo a los incisos anteriores, para la evaluación estadística se utilizará un diseño completamente al azar con un arreglo combinatorio para un experimento factorial que evalúa el efecto que tiene la parte de la planta, el departamento de origen y el nivel altitudinal de plantación sobre el rendimiento obtenido del aceite esencial.

3.7.2. Factor A: parte de la planta

- Niveles del factor A: se tomarán dos partes de la planta para la extracción.
 - p_1 (hojas de árboles hembra)
 - p_2 (frutos)

3.7.3. Factor B: departamento de procedencia

- Niveles del factor B: se tomarán dos departamentos de procedencia de la especie.
 - d_1 (Petén)
 - d_2 (Alta Verapaz)

3.7.4. Factor C: nivel altitudinal de plantación

- Niveles del factor C: se tomarán tres valores altitudinales.
 - a_1 (75 & 238 msnm)
 - a_2 (400 & 1300 msnm)
 - a_3 (575 & 1475 msnm)

3.7.5. Repeticiones

Se trabajarán con tres repeticiones por cada tratamiento, porque es el valor mínimo que se puede utilizar en la toma de datos para diferenciar el resultado promedio en las simulaciones del experimento.

3.7.6. Número de combinaciones para la simulación del experimento

$$N = a * b * c * r \quad (\text{Ec. 9})$$

Donde:

- a = número de niveles del factor A
- b = número de niveles del factor B
- c = número de niveles del factor C
- r = número de repeticiones por cada nivel

$$N = 2 * 2 * 3 * 3 = 36$$

- $N = 36$ combinaciones

Tabla VI. Cuadro resumen del diseño experimental

FACTORES	A: niveles altitudinales B: departamentos de materia prima C: partes extractiva de la planta	NÚMERO DE FACTORES	3
NIVELES	A: msnm B: Petén y Alta Verapaz C: hojas y frutos	NÚMERO DE NIVELES	A: 3 B: 2 C: 2
NÚMERO DE TRATAMIENTOS		12	
NÚMERO DE REPETICIONES		3	

Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. Combinaciones para el diseño experimental

1	p1.d1.a1.R1	4	p1.d1.a2.R1	7	p1.d1.a3.R1
2	p1.d1.a1.R2	5	p1.d1.a2.R2	8	p1.d1.a3.R2
3	p1.d1.a1.R3	6	p1.d1.a2.R3	9	p1.d1.a3.R3
10	p1.d2.a1.R1	13	p1.d2.a2.R1	16	p1.d2.a3.R1
11	p1.d2.a1.R2	14	p1.d2.a2.R2	17	p1.d2.a3.R2
12	p1.d2.a1.R3	15	p1.d2.a2.R3	18	p1.d2.a3.R3
19	p2.d1.a1.R1	22	p2.d1.a2.R1	25	p2.d1.a3.R1
20	p2.d1.a1.R2	23	p2.d1.a2.R2	26	p2.d1.a3.R2
21	p2.d1.a1.R3	24	p2.d1.a2.R3	27	p2.d1.a3.R3
28	p2.d2.a1.R1	31	p2.d2.a2.R1	34	p2.d2.a3.R1
29	p2.d2.a1.R2	32	p2.d2.a2.R2	35	p2.d2.a3.R2
30	p2.d2.a1.R3	33	p2.d2.a2.R3	36	p2.d2.a3.R3

Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. **Combinatorio para el diseño experimental completamente al azar**

1	p2.d2.a3.R3	4	p1.d2.a3.R2	7	p2.d2.a3.R2
2	p2.d2.a2.R3	5	p2.d1.a1.R2	8	p2.d1.a2.R2
3	p2.d2.a1.R3	6	p1.d1.a1.R3	9	p1.d2.a2.R1
10	p1.d1.a3.R2	13	p1.d2.a2.R3	16	p2.d1.a3.R2
11	p1.d2.a1.R2	14	p2.d1.a1.R3	17	p1.d2.a1.R3
12	p2.d2.a1.R2	15	p2.d2.a2.R2	18	p1.d1.a2.R2
19	p2.d2.a3.R1	22	p2.d2.a1.R1	25	p2.d2.a2.R1
20	p2.d1.a1.R1	23	p1.d2.a3.R1	26	p2.d1.a2.R3
21	p1.d2.a2.R2	24	p1.d1.a2.R3	27	p2.d1.a3.R1
28	p2.d1.a2.R1	31	p1.d2.a1.R1	34	p1.d2.a3.R3
29	p1.d1.a3.R3	32	p1.d1.a2.R1	35	p1.d1.a3.R1
30	p1.d1.a1.R2	33	p2.d1.a3.R3	36	p1.d1.a1.R1

Fuente: elaboración propia.

Tabla IX. **Rendimiento extractivo del aceite esencial obtenido de las hojas y frutos de la pimienta gorda (*Pimenta dioica* (L.) Merrill), cultivada en Alta Verapaz y Petén, a nivel laboratorio**

Núm.	Experimento	Aleatorizado	Peso materia prima (g)	Relación con solvente	Rendimiento (%)
1	36	p2.d2.a3.R3	50	1:10	0,9816
2	33	p2.d2.a2.R3	50	1:10	1,0580
3	30	p2.d2.a1.R3	50	1:10	1,4826
4	17	p1.d2.a3.R2	50	1:15	0,2580
5	20	p2.d1.a1.R2	50	1:10	2,0438
6	3	p1.d1.a1.R3	50	1:15	1,3044
7	35	p2.d2.a3.R2	50	1:10	0,9400
8	23	p2.d1.a2.R2	50	1:10	2,9268
9	13	p1.d2.a2.R1	50	1:15	1,1092
10	8	p1.d1.a3.R2	50	1:15	1,4832
11	11	p1.d2.a1.R2	50	1:15	1,0874

Continuación de la tabla IX.

12	29	p2.d2.a1.R2	50	1:10	0,9800
13	15	p1.d2.a2.R3	50	1:15	1,2440
14	21	p2.d1.a1.R3	50	1:10	1,8936
15	32	p2.d2.a2.R2	50	1:10	0,7960
16	26	p2.d1.a3.R2	50	1:10	3,0584
17	12	p1.d2.a1.R3	50	1:15	0,9182
18	5	p1.d1.a2.R2	50	1:15	0,3572
19	34	p2.d2.a3.R1	50	1:10	1,1601
20	19	p2.d1.a1.R1	50	1:10	2,2528
21	14	p1.d2.a2.R2	50	1:15	1,3610
22	28	p2.d2.a1.R1	50	1:10	1,0600
23	16	p1.d2.a3.R1	50	1:15	0,3086
24	6	p1.d1.a2.R3	50	1:15	0,4770
25	31	p2.d2.a2.R1	50	1:10	1,0400
26	24	p2.d1.a2.R3	50	1:10	3,1000
27	25	p2.d1.a3.R1	50	1:10	2,9884
28	22	p2.d1.a2.R1	50	1:10	2,8464
29	9	p1.d1.a3.R3	50	1:15	1,6130
30	2	p1.d1.a1.R2	50	1:15	1,7406
31	10	p1.d2.a1.R1	50	1:15	0,8514
32	4	p1.d1.a2.R1	50	1:15	0,4012
33	27	p2.d1.a3.R3	50	1:10	3,4452
34	18	p1.d2.a3.R3	50	1:15	0,2200
35	7	p1.d1.a3.R1	50	1:15	1,7516
36	1	p1.d1.a1.R1	50	1:15	1,9454

Fuente: elaboración propia.

Tabla X. **Densidad del aceite esencial obtenido de las hojas y frutos de la pimienta gorda (*Pimenta dioica* (L.) Merrill), cultivada en Alta Verapaz y Petén, a nivel laboratorio**

Núm.	Experimento	Aleatorizado	Peso materia prima (g)	Relación con solvente	Densidad (g/mL)
1	36	p2.d2.a3.R3	50	1:10	0,92595775
2	33	p2.d2.a2.R3	50	1:10	0,94734518
3	30	p2.d2.a1.R3	50	1:10	0,95501859
4	17	p1.d2.a3.R2	50	1:15	0,92423375
5	20	p2.d1.a1.R2	50	1:10	0,95332059
6	3	p1.d1.a1.R3	50	1:15	0,93306516
7	35	p2.d2.a3.R2	50	1:10	0,95644466
8	23	p2.d1.a2.R2	50	1:10	0,92080000
9	13	p1.d2.a2.R1	50	1:15	0,93042701
10	8	p1.d1.a3.R2	50	1:15	0,93247467
11	11	p1.d2.a1.R2	50	1:15	0,95940000
12	29	p2.d2.a1.R2	50	1:10	0,94734518
13	15	p1.d2.a2.R3	50	1:15	0,92995795
14	21	p2.d1.a1.R3	50	1:10	0,95920412
15	32	p2.d2.a2.R2	50	1:10	0,95028372
16	26	p2.d1.a3.R2	50	1:10	0,93306516
17	12	p1.d2.a1.R3	50	1:15	0,94830000
18	5	p1.d1.a2.R2	50	1:15	0,95016883
19	34	p2.d2.a3.R1	50	1:10	0,94040064
20	19	p2.d1.a1.R1	50	1:10	0,94628993
21	14	p1.d2.a2.R2	50	1:15	0,92208052
22	28	p2.d2.a1.R1	50	1:10	0,93012988
23	16	p1.d2.a3.R1	50	1:15	0,95920412
24	6	p1.d1.a2.R3	50	1:15	0,95247325
25	31	p2.d2.a2.R1	50	1:10	0,9414027
26	24	p2.d1.a2.R3	50	1:10	0,94050228
27	25	p2.d1.a3.R1	50	1:10	0,95664206
28	22	p2.d1.a2.R1	50	1:10	0,94734518
29	9	p1.d1.a3.R3	50	1:15	0,93510000
30	2	p1.d1.a1.R2	50	1:15	0,94270571
31	10	p1.d2.a1.R1	50	1:15	0,93094757
32	4	p1.d1.a2.R1	50	1:15	0,94734518
33	27	p2.d1.a3.R3	50	1:10	0,95489251
34	18	p1.d2.a3.R3	50	1:15	0,94734518
35	7	p1.d1.a3.R1	50	1:15	0,93630000
36	1	p1.d1.a1.R1	50	1:15	0,93263152

Fuente: elaboración propia.

Tabla XI. **Índice de refracción del aceite esencial obtenido de las hojas y frutos de la pimienta gorda (*Pimenta dioica* (L.) Merrill), cultivada en Alta Verapaz y Petén, a nivel laboratorio**

Procedencia	Sección vegetal	Locación	Índice de refracción
Alta Verapaz	Frutos	Campur	1,528
Alta Verapaz		San Pedro Carchá	1,530
Alta Verapaz		Santa María Cahabón	1,532
Alta Verapaz	Hojas	Campur	1,543
Alta Verapaz		San Pedro Carchá	1,532
Alta Verapaz		Santa María Cahabón	1,527
Petén	Frutos	San Luis	1,532
Petén		Dolores	1,530
Petén		Melchor de Mencos	1,533
Petén	Hojas	San Luis	1,531
Petén		Dolores	1,521
Petén		Melchor de Mencos	1.529

Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. **Composición química del aceite esencial de frutos de pimienta gorda procedentes de Campur obtenida por GC-MS**

Núm.	Tiempo de retención (min)	Porcentaje área	Componente químico	Número CAS
1	053,365	3,19	Fenol, 4- (2 - propenil)	000501-92-8
2	048,517	46,52	Eugenol	000097-53-0
3	032,546	1,74	3-Ciclohexeno-1-metanol, alfa.,. Alfa - 4 - trimetil -	000098-55-5
4	031,723	3,41	1,4,7, -Ciclododecatrieno, 1,5,9,9-tetrametil-, Z, Z, Z-	1000062-61-9
5	029,139	5,27	Caryophyllene	000087-44-5
6	029,03	10,22	Cariofileno	000087-44-5
7	028,63	3,79	Ciclohexano, 1 - etenil - 1 - metil - 2,4 - bis (1 - metiletenil)	110823-68-2
8	014,684	2,53	1,3,6 - octatrieno, 3,7 - dimetil-, (Z) -	003338-55-4
9	013,392	1,36	Eucaliptol	000470-82-6
10	011,6	10,89	Beta. -Mirceno	000123-35-3

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIII. **Composición química del aceite esencial de frutos de pimienta gorda procedentes de San Pedro Carchá obtenida por GC-MS**

Núm.	Tiempo de retención (min)	Porcentaje área	Componente químico	Número CAS
1	053,365	1,92	Fenol, 4- (2 - propenil) -	000501-92-8
2	048,526	43,13	Eugenol	000097-53-0
3	043,358	2,07	Óxido de cariofileno	001139-30-6
4	032,546	1,65	3-Ciclohexeno-1-metanol, alfa., Alfa - 4 - trimetil	000098-55-5
5	031,705	2,8	Alfa-cariofileno	006753-98-6
6	029,126	4,31	Cariofileno	000087-44-5
7	029,026	8,53	Cariofileno	000087-44-5
8	028,621	3,06	Ciclohexano, 1 - etenil - 1 - metil - 2,4 - bis (1 - metiletenil)	110823-68-2
9	014,716	3,05	1,3,6 - octatrieno, 3,7 - dimetil-, (Z) -	003338-55-4
10	011,695	15,69	Beta. -Mirceno	000123-35-3

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIV. **Composición química del aceite esencial de frutos de pimienta gorda procedentes de Santa María Cahabón obtenida por GC-MS**

Núm.	Tiempo de retención (min)	Porcentaje área	Componente químico	Número CAS
1	053,365	2,15	Fenol, 4- (2 - propenil) -	000501-92-8
2	048,53	38,23	Eugenol	000097-53-0
3	031,705	3,34	Alfa. cariofileno	006753-98-6
4	029,208	5,89	Cariofileno	000087-44-5
5	029,057	8,41	Cariofileno	000087-44-5
6	028,653	3,61	Ciclohexano, 1 - etenil - 1 - metil - 2,4 - bis (1 - metiletenil)	110823-68-2
7	014,743	3,32	3,6 - octatrieno, 3,7 - dimetil-, (Z) -	003338-55-4
8	013,442	1,72	Eucaliptol	000470-82-6
9	011,773	17,15	Beta. -Pineno	000127-91-3
10	03,999	1,65	Pentano, 2 - metil	000107-83-5

Fuente: elaboración propia.

Tabla XV. **Composición química del aceite esencial de hojas de pimienta gorda procedentes de Campur obtenida por GC-MS**

Núm.	Tiempo de retención (min)	Porcentaje área	Componente químico	Número CAS
1	055,685	4,92	Isolemicina	000487-12-7
2	054,166	5,58	Fenol, 2 - metoxi - 4- (1 - propenil) -, (E) -	005932-68-3
3	049,49	17,19	Benzeno, 1,2-dimetoxi-4- (1-propenil)	000093-16-3
4	048,83	11,35	Eugenol	000097-53-0
5	043,872	7,77	Benzeno, 1,2-dimetoxi-4- (2-propenil)	000093-15-2
6	029,408	9,55	Cariofileno	000087-44-5
7	014,907	3,06	1,3,6 - octatrieno, 3,7 - dimetil-, (Z) -	003338-55-4
8	013,601	2,77	Eucaliptol	000470-82-6
9	011,764	5,9	Beta. -Pineno	000127-91-3
10	06,173	3,97	Alcohol etílico	000064-17-5

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVI. **Composición química del aceite esencial de hojas de pimienta gorda procedentes de San Pedro Carchá obtenida por GC-MS**

Núm.	Tiempo de retención (min)	Porcentaje área	Componente químico	Número CAS
1	048,789	39,76	Eugenol	000097-53-0
2	032,869	7,39	Terpineol	1000157-89-9
3	031,878	1,86	1,4,7, -Ciclododecatrieno, 1,5,9,9-tetrametil-, Z, Z, Z-	1000062-61-9
4	029,317	3,32	Cariofileno	000087-44-5
5	029,208	7,75	Cariofileno	000087-44-5
6	014,938	5,98	1,3,6 - octatrieno, 3,7 - dimetil-, (Z) -	003338-55-4
7	013,724	11,13	Eucaliptol	000470-82-6
8	013,055	1,81	Limoneno	000138-86-3
9	011,745	8,89	Beta. -Pineno	000127-91-3
10	053,625	1,58	Fenol, 4- (2 - propenil) -	000501-92-8

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVII. **Composición química del aceite esencial de hojas de pimienta gorda procedentes de Santa María Cahabón obtenida por GC-MS**

Núm.	Tiempo de retención (min)	Porcentaje área	Componente químico	Número CAS
1	049,062	3,46	Benzeno, 1,2 - dimetoxi - 4- (1 - propenil) -	000093-16-3
2	048,799	41,55	Eugenol	000097-53-0
3	043,677	3,63	Benzeno, 1,2 - dimetoxi - 4- (2 - propenil) -	000093-15-2
4	043,263	1,57	Óxido de cariofileno	001139-30-6
5	032,706	2,05	Terpineol	1000157-89-9
6	031,778	1,33	1,4,7, -Ciclododecatrieno, 1,5,9,9-tetrametil-, Z, Z, Z-	1000062-61-9
7	029,099	8,83	Cariofileno	000087-44-5
8	014,679	1,77	1,3,6 - octatrieno, 3,7 - dimetil-, (Z) -	003338-55-4
9	013,469	4,41	Eucaliptol	000470-82-6
10	011,504	12,37	Beta. -Pineno	000127-91-3

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVIII. **Composición química del aceite esencial de frutos de pimienta gorda procedentes de San Luis obtenida por GC-MS**

Núm.	Tiempo de retención (min)	Porcentaje área	Componente químico	Número CAS
1	053,365	3,48	Fenol, 4- (2 - propenil) -	000501-92-8
2	048,526	30,39	Eugenol	000097-53-0
3	043,654	24,74	Benzeno, 1,2 - dimetoxi - 4- (2 - propenil) -	000093-15-2
4	029,089	3,22	Cariofileno	000087-44-6
5	028,998	6,34	Cariofileno	000087-44-5
6	026,538	1,52	1,6 - octadien - 3 - ol, 3,7 - dimetil -	000078-70-6
7	014,729	2,53	1,3,6 - octatrieno, 3,7 - dimetil-, (Z) -	003338-55-4
8	014,593	1,29	1,4 - Ciclohexadieno, 1 - metil - 4- (1 - metiletil) -	000099-85-4
9	013,447	2,39	Eucaliptol	000470-82-6
10	011,686	11,6	Beta. -Pineno	000123-35-3

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIX. **Composición química del aceite esencial de frutos de pimienta gorda procedentes de Dolores obtenida por GC-MS**

Núm.	Tiempo de retención (min)	Porcentaje área	Componente químico	Número CAS
1	053,366	1,73	Fenol, 4- (2 - propenil) -	000501-92-8
2	048,508	36,84	Eugenol	000097-53-0
3	043,695	14,62	Benzeno, 1,2 - dimetoxi - 4- (2 - propenil) -	000093-15-2
4	034,812	1,42	Naftaleno, 1,2,3,5,6, 8a - hexahidro - 4,7 - dimetil - 1- (1 - metiletil) - (1S - cis) -	000483-76-1
5	031,714	2,3	Alfa. cariofileno	006753-98-6
6	029,194	5,8	Cariofileno	000087-44-6
7	029,058	10,31	Cariofileno	000087-44-5
8	024,673	1,85	Alfa. -Cubebeno	017699-14-8
9	013,429	2,55	Eucaliptol	000470-82-6
10	011,627	9,57	Beta. -Mirceno	000123-35-3

Fuente: elaboración propia.

Tabla XX. **Composición química del aceite esencial de frutos de pimienta gorda procedentes de Melchor de Mencos obtenida por GC-MS**

Núm.	Tiempo de retención (min)	Porcentaje área	Componente químico	Número CAS
1	048,508	39,08	Eugenol	000097-53-0
2	043,681	8,1	Benzeno, 1,2 - dimetoxi - 4- (2 - propenil) -	000093-15-3
3	043,472	3,87	Benzeno, 1,2 - dimetoxi - 4- (2 - propenil) -	000093-15-2
4	034,816	1,19	Naftaleno, 1,2,3,5,6, 8a - hexahidro - 4,7 - dimetil - 1- (1 - metiletil) - (1S - cis) -	000483-76-1
5	031,682	2,09	Alfa. cariofileno	006753-98-6
6	029,139	4,43	Cariofileno	000087-44-5
7	029,03	9,66	Cariofileno	000087-44-5
8	026,551	2,09	1,6 - octadien - 3 - ol, 3,7 - dimetil -	000078-70-6
9	014,766	5,05	1,3,6 - octatrieno, 3,7 - dimetil-, (Z) -	003338-55-4
10	011,704	14,39	Beta. -Pineno	000127-91-3

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXI. **Composición química del aceite esencial de hojas de pimienta gorda procedentes de San Luis obtenida por GC-MS**

Núm.	Tiempo de retención (min)	Porcentaje área	Componente químico	Número CAS
1	053,625	3,51	Fenol, 4- (2 - propenil) -	000501-92-8
2	048,767	43,41	Eugenol	000097-53-0
3	043,554	1,4	Óxido de cariofileno	001139-30-6
4	031,846	2,29	1,4,7, -Cicoundecatrieno, 1,5,9,9-tetrametil-, Z, Z, Z-	1000062-61-9
5	029,294	3,9	Cariofileno	000087-44-5
6	029,203	8,27	Cariofileno	000087-44-5
7	026,715	1,65	1,6 - octadien - 3 - ol, 3,7 - dimetil -	000078-70-6
8	014,898	3,97	1,3,6 - octatrieno, 3,7 - dimetil-, Z) -	003338-55-4
9	013,583	2,71	Eucaliptol	000470-82-6
10	011,914	19,7	Biciclo [3.1.0] hex-2-eno, 4-metil-1- (1-metiletil) -	028634-89-1

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXII. **Composición química del aceite esencial de hojas de pimienta gorda procedentes de Dolores obtenida por GC-MS**

Núm.	Tiempo de retención (min)	Porcentaje área	Componente químico	Número CAS
1	053,948	4,66	Fenol, 2 - metoxi - 4- (1 - propenil) -, (E) -	005932-68-3
2	048,535	17,98	Eugenol	000097-53-0
3	043,672	4,94	Benzeno, 1,2 - dimetoxi - 4- (2 - propenil) -	000093-15-2
4	031,828	3,91	1,4,7, -Cicoundecatrieno, 1,5,9,9-tetrametil-, Z, Z, Z-	1000062-61-9
5	029,399	10,65	Cariofileno	000087-44-5
6	029,049	5,7	Cariofileno	000087-44-5
7	024,736	2,87	alfa. -Cubebeno	017699-14-8
8	014,802	2,86	1,3,6 - octatrieno, 3,7 - dimetil-, (Z) -	003338-55-4
9	013,547	3,07	Eucaliptol	000470-82-6
10	011,787	9,3	Beta. -Pineno	000127-91-3

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIII. **Composición química del aceite esencial de hojas de pimienta gorda procedentes de Melchor de Mencos obtenida por GC-MS**

Núm.	Tiempo de retención (min)	Porcentaje área	Componente químico	Número CAS
1	50.65	0.44	Alfa-Cadinol	000481-34-5
2	48.498	29.98	Eugenol	000097-53-0
3	43.768	18.41	Benzeno, 1,2 - dimetoxi - 4- (2 - propenil) -	000093-15-2
4	34.839	1.57	naftaleno, 1,2,3,5,6, 8a - hexahidro - 4,7 - dimetil - 1- (1 - metiletil) -, (1S - cis) -	000483-76-1
5	31.764	2.84	Alfa. cariofileno	006753-98-6
6	29.271	10.32	Cariofileno	000087-44-5
7	29.044	6.63	Cariofileno	000087-44-6
8	24.682	1.68	Alfa. -Cubebeno	017699-14-8
9	14.784	4.86	1,3,6 - octatrieno, 3,7 - dimetil-, (Z) -	003338-55-4
10	11.75	14.26	Beta. -Pinenol	000127-91-3

Fuente: elaboración propia.

3.8. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

Luego de obtener todos los datos necesarios para la elaboración del presente estudio de investigación extraídos de la parte experimental se procede a tabular de forma ordenada para interpretar todos los datos: rendimiento, densidad, índice de refracción y composición química. Se obtienen las siguientes tablas.

Tabla XXIV. **Rendimiento extractivo del aceite esencial obtenido de las hojas y frutos de la pimienta gorda (*Pimenta dioica* (L.) Merrill), cultivada en Alta Verapaz y Petén, a nivel laboratorio**

Núm.	Experimento	Muestra	Peso materia prima (g)	Rendimiento (%)
1	1	p1.d1.a1.R1	50	1,9454
2	2	p1.d1.a1.R2	50	1,7406
3	3	p1.d1.a1.R3	50	1,3044
4	4	p1.d1.a2.R1	50	0,4012
5	5	p1.d1.a2.R2	50	0,3572
6	6	p1.d1.a2.R3	50	0,4770
7	7	p1.d1.a3.R1	50	1,7516
8	8	p1.d1.a3.R2	50	1,4832
9	9	p1.d1.a3.R3	50	1,6130
10	10	p1.d2.a1.R1	50	0,8514
11	11	p1.d2.a1.R2	50	1,0874
12	12	p1.d2.a1.R3	50	0,9182
13	13	p1.d2.a2.R1	50	1,1092
14	14	p1.d2.a2.R2	50	1,3610
15	15	p1.d2.a2.R3	50	1,2440
16	16	p1.d2.a3.R1	50	0,3086
17	17	p1.d2.a3.R2	50	0,2580
18	18	p1.d2.a3.R3	50	0,2200
19	19	p2.d1.a1.R1	50	2,2528
20	20	p2.d1.a1.R2	50	2,0438
21	21	p2.d1.a1.R3	50	1,8936
22	22	p2.d1.a2.R1	50	2,8464
23	23	p2.d1.a2.R2	50	2,9268
24	24	p2.d1.a2.R3	50	3,1000
25	25	p2.d1.a3.R1	50	2,9884
26	26	p2.d1.a3.R2	50	3,0584
27	27	p2.d1.a3.R3	50	3,4452
28	28	p2.d2.a1.R1	50	1,0600
29	29	p2.d2.a1.R2	50	0,9800
30	30	p2.d2.a1.R3	50	1,4826
31	31	p2.d2.a2.R1	50	1,0400
32	32	p2.d2.a2.R2	50	0,7960
33	33	p2.d2.a2.R3	50	1,0580
34	34	p2.d2.a3.R1	50	1,1601
35	35	p2.d2.a3.R2	50	0,9400
36	36	p2.d2.a3.R3	50	0,9816

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXV. **Densidad del aceite esencial obtenido de las hojas y frutos de la pimienta gorda (*Pimenta dioica* (L.) Merrill), cultivada en Alta Verapaz y Petén, a nivel laboratorio**

Núm.	Experimento	Muestra	Peso materia prima (g)	Densidad (g/mL)
1	1	p1.d1.a1.R1	50	0,93263152
2	2	p1.d1.a1.R2	50	0,94270571
3	3	p1.d1.a1.R3	50	0,93306516
4	4	p1.d1.a2.R1	50	0,94734518
5	5	p1.d1.a2.R2	50	0,95016883
6	6	p1.d1.a2.R3	50	0,95247325
7	7	p1.d1.a3.R1	50	0,93630000
8	8	p1.d1.a3.R2	50	0,93247467
9	9	p1.d1.a3.R3	50	0,93510000
10	10	p1.d2.a1.R1	50	0,93094757
11	11	p1.d2.a1.R2	50	0,95940000
12	12	p1.d2.a1.R3	50	0,94830000
13	13	p1.d2.a2.R1	50	0,93042701
14	14	p1.d2.a2.R2	50	0,92208052
15	15	p1.d2.a2.R3	50	0,92995795
16	16	p1.d2.a3.R1	50	0,95920412
17	17	p1.d2.a3.R2	50	0,92423375
18	18	p1.d2.a3.R3	50	0,94734518
19	19	p2.d1.a1.R1	50	0,94628993
20	20	p2.d1.a1.R2	50	0,95332059
21	21	p2.d1.a1.R3	50	0,95920412
22	22	p2.d1.a2.R1	50	0,94734518
23	23	p2.d1.a2.R2	50	0,92080000
24	24	p2.d1.a2.R3	50	0,94050228
25	25	p2.d1.a3.R1	50	0,95664206
26	26	p2.d1.a3.R2	50	0,93306516
27	27	p2.d1.a3.R3	50	0,95489251
28	28	p2.d2.a1.R1	50	0,93012988
29	29	p2.d2.a1.R2	50	0,94734518
30	30	p2.d2.a1.R3	50	0,95501859
31	31	p2.d2.a2.R1	50	0,94140270
32	32	p2.d2.a2.R2	50	0,95028372
33	33	p2.d2.a2.R3	50	0,94734518
34	34	p2.d2.a3.R1	50	0,94040064
35	35	p2.d2.a3.R2	50	0,95644466
36	36	p2.d2.a3.R3	50	0,92595775

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVI. **Índice de refracción del aceite esencial obtenido de las hojas y frutos de la pimienta gorda (*Pimenta dioica* (L.) Merrill), cultivada en Alta Verapaz y Petén, a nivel laboratorio**

Procedencia	Sección vegetal	Locación	Índice de refracción
Alta Verapaz	Frutos	Campur	1,528
Alta Verapaz		San Pedro Carchá	1,530
Alta Verapaz		Santa María Cahabón	1,532
Alta Verapaz	Hojas	Campur	1,543
Alta Verapaz		San Pedro Carchá	1,532
Alta Verapaz		Santa María Cahabón	1,527
Petén	Frutos	San Luis	1,532
Petén		Dolores	1,530
Petén		Melchor de Mencos	1,533
Petén	Hojas	San Luis	1,531
Petén		Dolores	1,521
Petén		Melchor de Mencos	1,529

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVII. **Composición química del aceite esencial de frutos de pimienta gorda procedentes de Campur obtenida por GC-MS**

Núm.	Tiempo de retención (min)	Porcentaje área	Componente químico	Número CAS
1	48,517	46,52	Eugenol	000097-53-0
2	11,6	10,89	Beta. -Mirceno	000123-35-3
3	29,03	10,22	Cariofileno	000087-44-5
4	29,139	5,27	Cariofileno	000087-44-5
5	28,63	3,79	Ciclohexano, 1 - etenil - 1 - metil - 2,4 - bis (1 - metiletenil)	110823-68-2
6	53,365	3,19	Fenol, 4- (2 - propenil)	000501-92-8
7	31,723	3,41	1,4,7, -Cicoundecatrieno, 1,5,9,9-tetrametil-, Z, Z, Z-	1000062-61-9
8	14,684	2,53	1,3,6 - octatrieno, 3,7 - dimetil-, (Z) -	003338-55-4
9	32,546	1,74	3-Ciclohexeno-1-metanol, alfa., Alpha - 4 - trimetil -	000098-55-5
10	13,392	1,36	Eucaliptol	000470-82-6

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVIII. Composición química del aceite esencial de frutos de pimienta gorda procedentes de San Pedro Carchá obtenida por GC-MS

Núm.	Tiempo de retención (min)	Porcentaje área	Componente químico	Número CAS
1	48,526	43,13	Eugenol	000097-53-0
2	11,695	15,69	Beta. -Mirceno	000123-35-3
3	29,026	8,53	Cariofileno	000087-44-5
4	29,126	4,31	Cariofileno	000087-44-5
5	28,621	3,06	Ciclohexano, 1 - etenil - 1 - metil - 2,4 - bis (1 - metiletenil)	110823-68-2
6	14,716	3,05	1,3,6 - octatrieno, 3,7 - dimetil-, (Z) -	003338-55-4
7	31,705	2,8	Alfa. cariofileno	006753-98-6
8	43,358	2,07	Óxido de cariofileno	001139-30-6
9	53,365	1,92	Fenol, 4- (2 - propenil) -	000501-92-8
10	32,546	1,65	3-Ciclohexeno-1-metanol, alfa.,. Alpha - 4 - trimetil	000098-55-5

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIX. Composición química del aceite esencial de frutos de pimienta gorda procedentes de Santa María Cahabón obtenida por GC-MS

Núm.	Tiempo de retención (min)	Porcentaje área	Componente químico	Número CAS
1	48,53	38,23	Eugenol	000097-53-0
2	11,773	17,15	Beta. -Pineno	000127-91-3
3	29,057	8,41	Cariofileno	000087-44-5
4	29,208	5,89	Cariofileno	000087-44-5
5	28,653	3,61	Ciclohexano, 1 - etenil - 1 - metil - 2,4 - bis (1 - metiletenil)	110823-68-2
6	31,705	3,34	Alfa. cariofileno	006753-98-6
7	14,743	3,32	, 3,6 - octatrieno, 3,7 - dimetil-, (Z) -	003338-55-4
8	53,365	2,15	Fenol, 4- (2 - propenil) -	000501-92-8
9	3,999	1,65	Pentano, 2 - metil	000107-83-5
10	13,442	1,72	Eucaliptol	000470-82-6

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXX. **Composición química del aceite esencial de hojas de pimienta gorda procedentes de Campur obtenida por GC-MS**

Núm.	Tiempo de retención (min)	Porcentaje área	Componente químico	Número CAS
1	49,49	17,19	Benzeno, 1,2-dimetoxi-4- (1-propenil)	000093-16-3
2	48,83	11,35	Eugenol	000097-53-0
3	29,408	9,55	Cariofileno	000087-44-5
4	43,872	7,77	Benzeno, 1,2-dimetoxi-4- (2-propenil)	000093-15-2
5	11,764	5,9	Bbeta. -Pineno	000127-91-3
6	54,166	5,58	Fenol, 2 - metoxi - 4- (1 - propenil) -, (E) -	005932-68-3
7	55,685	4,92	Isolemicina	000487-12-7
8	6,173	3,97	Alcohol etílico	000064-17-5
9	14,907	3,06	1,3,6 - octatrieno, 3,7 - dimetil-, (Z) -	003338-55-4
10	13,601	2,77	Eucaliptol	000470-82-6

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXI. **Composición química del aceite esencial de hojas de pimienta gorda procedentes de San Pedro Carchá obtenida por GC-MS**

Núm.	Tiempo de retención (min)	Porcentaje área	Componente químico	Número CAS
1	48,789	39,76	Eugenol	000097-53-0
2	13,724	11,13	Eucaliptol	000470-82-6
3	11,745	8,89	beta. -Pineno	000127-91-3
4	29,208	7,75	cariofileno	000087-44-5
5	32,869	7,39	Terpineol	1000157-89-9
6	14,938	5,98	1,3,6 - octatrieno, 3,7 - dimetil-, (Z) -	003338-55-4
7	29,317	3,32	Cariofileno	000087-44-5
8	31,878	1,86	1,4,7, -Ciclo un decatrieno, 1,5,9,9-tetrametil-, Z, Z, Z-	1000062-61-9
9	13,055	1,81	Limoneno	000138-86-3
10	53,625	1,58	Fenol, 4- (2 - propenil) -	000501-92-8

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXII. **Composición química del aceite esencial de hojas de pimienta gorda procedentes de Santa María Cahabón obtenida por GC-MS**

Núm.	Tiempo de retención (min)	Porcentaje área	Componente químico	Número CAS
1	48,799	41,55	Eugenol	000097-53-0
2	11,504	12,37	Beta. -Pineno	000127-91-3
3	29,099	8,83	Cariofileno	000087-44-5
4	13,469	4,41	Eucaliptol	000470-82-6
5	43,677	3,63	Benzeno, 1,2 - dimetoxi - 4- (2 - propenil) -	000093-15-2
6	49,062	3,46	Benzeno, 1,2 - dimetoxi - 4- (1 - propenil) -	000093-16-3
7	32,706	2,05	Terpineol	1000157-89-9
8	14,679	1,77	1,3,6 - octatrieno, 3,7 - dimetil-, (Z) -	003338-55-4
9	43,263	1,57	Óxido de cariofileno	001139-30-6
10	31,778	1,33	1,4,7, -Ciclundecatrieno, 1,5,9,9-tetrametil-, Z, Z, Z-	1000062-61-9

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXIII. **Composición química del aceite esencial de frutos de pimienta gorda procedentes de San Luis obtenida por GC-MS**

Núm.	Tiempo de retención (min)	Porcentaje área	Componente químico	Número CAS
1	48,526	30,39	Eugenol	000097-53-0
2	43,654	24,74	Benzeno, 1,2 - dimetoxi - 4- (2 - propenil) -	000093-15-2
3	11,686	11,6	Beta. -Pineno	000123-35-3
4	28,998	6,34	cariofileno	000087-44-5
5	53,365	3,48	Fenol, 4- (2 - propenil) -	000501-92-8
6	29,089	3,22	Cariofileno	000087-44-6
7	14,729	2,53	1,3,6 - octatrieno, 3,7 - dimetil-, (Z) -	003338-55-4
8	13,447	2,39	Eucaliptol	000470-82-6
9	26,538	1,52	1,6 - octadien - 3 - ol, 3,7 - dimetil -	000078-70-6
10	14,593	1,29	1,4 - Ciclohexadieno, 1 - metil - 4- (1 - metiletil) -	000099-85-4

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXIV. **Composición química del aceite esencial de frutos de pimienta gorda procedentes de Dolores obtenida por GC-MS**

Núm.	Tiempo de retención (min)	Porcentaje área	Componente químico	Número CAS
1	48,508	36,84	Eugenol	000097-53-0
2	43,695	14,62	Benzeno, 1,2 - dimetoxi - 4- (2 - propenil) -	000093-15-2
3	29,058	10,31	Cariofileno	000087-44-5
4	11,627	9,57	Beta. -Mirceno	000123-35-3
5	29,194	5,8	Cariofileno	000087-44-6
6	13,429	2,55	Eucaliptol	000470-82-6
7	31,714	2,3	Alfa. cariofileno	006753-98-6
8	24,673	1,85	Alfa. -Cubebene	017699-14-8
9	53,366	1,73	Fenol, 4- (2 - propenil) -	000501-92-8
10	34,812	1,42	Naftaleno, 1,2,3,5,6, 8a - hexahidro - 4,7 - dimetil - 1- (1 - metiletil) - (1S - cis) -	000483-76-1

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXV. **Composición química del aceite esencial de frutos de pimienta gorda procedentes de Melchor de Mencos obtenida por GC-MS**

Núm.	Tiempo de retención (min)	Porcentaje área	Componente químico	Numero CAS
1	48,508	39,08	Eugenol	000097-53-0
2	11,704	14,39	Beta. -Pineno	000127-91-3
3	29,03	9,66	Cariofileno	000087-44-5
4	43,681	8,1	Benzeno, 1,2 - dimetoxi - 4- (2 - propenil) -	000093-15-3
5	14,766	5,05	1,3,6 - octatrieno, 3,7 - dimetil-, (Z) -	003338-55-4
6	29,139	4,43	Cariofileno	000087-44-5
7	43,472	3,87	Benzeno, 1,2 - dimetoxi - 4- (2 - propenil) -	000093-15-2
8	26,551	2,09	1,6 - octadien - 3 - ol, 3,7 - dimetil -	000078-70-6
9	31,682	2,09	Alfa. cariofileno	006753-98-6
10	34,816	1,19	Naftaleno, 1,2,3,5,6, 8a - hexahidro - 4,7 - dimetil - 1- (1 - metiletil) -, (1S - cis) -	000483-76-1

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVI. **Composición química del aceite esencial de hojas de pimienta gorda procedentes de San Luis obtenida por GC-MS**

Núm.	Tiempo de retención (min)	Porcentaje área	Componente químico	Número CAS
1	48,767	43,41	Eugenol	000097-53-0
2	11,914	19,7	Biciclo [3.1.0] hex-2-eno, 4-metil-1-(1-metiletil) -	028634-89-1
3	29,203	8,27	Cariofileno	000087-44-5
4	29,294	3,9	Cariofileno	000087-44-5
5	14,898	3,97	1,3,6 - octatrieno, 3,7 - dimetil-, Z) -	003338-55-4
6	53,625	3,51	Fenol, 4- (2 - propenil) -	000501-92-8
7	13,583	2,71	Eucaliptol	000470-82-6
8	31,846	2,29	1,4,7, -Ciclundecatrieno, 1,5,9,9-tetrametil-, Z, Z, Z-	1000062-61-9
9	26,715	1,65	1,6 - octadien - 3 - ol, 3,7 - dimetil -	000078-70-6
10	43,554	1,4	Óxido de cariofileno	001139-30-6

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVII. **Composición química del aceite esencial de hojas de pimienta gorda procedentes de Dolores obtenida por GC-MS**

Núm.	Tiempo de retención (min)	Porcentaje área	Componente químico	Número CAS
1	48,535	17,98	Eugenol	000097-53-0
2	29,399	10,65	Cariofileno	000087-44-5
3	11,787	9,3	Beta. -Pineno	000127-91-3
4	29,049	5,7	Bariofileno	000087-44-5
5	43,672	4,94	Benzeno, 1,2 - dimetoxi - 4- (2 - propenil) -	000093-15-2
6	53,948	4,66	Fenol, 2 - metoxi - 4- (1 - propenil) -, (E) -	005932-68-3
7	31,828	3,91	1,4,7, -Ciclundecatrieno, 1,5,9,9-tetrametil-, Z, Z, Z-	1000062-61-9
8	13,547	3,07	Eucaliptol	000470-82-6
9	24,736	2,87	Alfa. -Cubebeno	017699-14-8
10	14,802	2,86	1,3,6 - octatrieno, 3,7 - dimetil-, (Z) -	003338-55-4

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVIII. **Composición química del aceite esencial de hojas de pimienta gorda procedentes de Melchor de Mencos obtenida por GC-MS**

Núm.	Tiempo de retención (min)	Porcentaje área	Componente químico	Número CAS
1	48,498	29,98	Eugenol	000097-53-0
2	43,768	18,41	Benzeno, 1,2 - dimetoxi - 4- (2 - propenil) -	000093-15-2
3	11,75	14,26	Beta. -Pímeno	000127-91-3
4	29,271	10,32	Cariofileno	000087-44-5
5	29,044	6,63	Cariofileno	000087-44-6
6	14,784	4,86	1,3,6 - octatrieno, 3,7 - dimetil-, (Z) -	003338-55-4
7	31,764	2,84	Alfa. cariofileno	006753-98-6
8	24,682	1,68	Alfa. -Cubebene	017699-14-8
9	34,839	1,57	Naftaleno, 1,2,3,5,6,8a - hexahidro - 4,7 - dimetil - 1- (1 - metiletil) -, (1S - cis) -	000483-76-1
10	50,65	0,44	Alfa-Cadinol	000481-34-5

Fuente: elaboración propia.

3.9. Análisis estadístico

Para la evaluación estadística de los resultados para la caracterización del rendimiento de la extracción del aceite esencial de la pimienta gorda (pimenta dioica) se cuantificará la precisión de los datos obtenidos y su varianza por medio de un factor de ANDEVA.

3.9.1. Supuestos del ANDEVA

Condiciones que deben cumplir los datos para el análisis.

- Términos de error: Aleatoria, independientes y normalmente distribuidos

- La varianza en los tratamientos es homogénea

$$\sigma^2 T_1 = \sigma^2 T_2 = \sigma^2 T_3 = \dots \sigma^2 T_n$$

3.9.2. Proceso de análisis de varianza

- Datos: deben ser normales
- Supuesto: si cumple con ANDEVA
- Hipótesis: verificar el planteamiento de la hipótesis nula y alternativa
 - $H_0: \mu_i = \mu$ todos los tratamientos son iguales
 - $H_1: \mu_i \neq \mu$ para al menos un i (al menos un tratamiento es diferente)
- Estadístico de prueba: se plantea un estadístico de prueba F .
- Estimar estadístico calculado: F_c mediante el cociente entre el valor de la varianza de los tratamientos y la varianza del error.

$$F_c = \frac{\text{Varianza de los tratamientos}}{\text{Varianza del error}}$$

- Encontrar estadístico tabulado: en tabla de F tabulada utilizando límite de confianza y grados de libertad.
- Regla de decisión: se verifica si está en la zona de aceptación.

- Conclusión: se determina la aceptación o rechazo de las hipótesis.
 - NS si ($F_c < F$ tabulada)
 - NS: no existen diferencias significativas entre los tratamientos

3.9.3. Modelo estadístico

$$y_{ij} = U + T_i + E_{ij}$$

3.9.4. Media aritmética

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i = \frac{a_1 + a_2 + \dots + a_n}{n} \quad (\text{Ec. 10})$$

Donde:

- $\bar{X}$ = media aritmética
- a_n = valor del dato obtenido
- n = número total de datos observados

3.9.5. Desviación

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=n} |X_i - \bar{X}|^2}{n-1}} \quad (\text{Ec.11})$$

Donde:

- S = es la suma de las diferencias al cuadrado de cada resultado individual respecto a la media de todos los resultados.
- $\bar{X}$ = valor de la media.

- X_i = valor de cada observación.

Tabla XXXIX. **Datos ANDEVA**

Tratamientos	Repeticiones			Suma de cuadrados	Cuadro medio	Fc	T tabulado
1	1	2	3	$\sum y_i - 2r - Fc$	Sc/GL	Cm/CMe	Ftab
2	1	2	3	--	--	--	--
3	1	2	3	--	--	--	--

Fuente: elaboración propia.

Según los resultados de la prueba ANDEVA respecto a las hipótesis establecidas comparando el valor P de la prueba F, obtenido a partir de un nivel de confianza del 95 %, si el valor obtenido es menor a 0,05 existe una diferencia significativa, y por lo tanto, se acepta la hipótesis alternativa y se rechaza la hipótesis nula. Cuando las medias son iguales, se acepta la hipótesis nula y se rechaza la alternativa. Si el análisis de ANDEVA permite un análisis secundario en relación a la comparación de medias, se realiza una prueba posterior que conlleva a una prueba múltiple de medias, conocido como prueba de múltiples rangos.

Tabla XL. **Resumen estadístico para el rendimiento extractivo del aceite esencial analizado mediante su nivel altitudinal**

Nivel altitudinal (msnm)	Recuento	Promedio	Desviación estándar	Coefficiente de variación	Mínimo	Máximo
Melchor, 75	6	1,86343	0,322296	17,2958 %	1,3044	2,2528
Cahabón, 238	6	1,06327	0,223293	21,0007 %	0,8514	1,4826
Dolores, 400	6	1,68477	1,3974	82,9431 %	0,3572	3,1
San Luis, 575	6	2,38997	0,86624	36,2449 %	1,4832	3,4452
Carcha, 1 300	6	1,10137	0,193241	17,5456 %	0,796	1,361
Campur, 1 475	6	0,644717	0,42643	66,1422 %	0,22	1,1601
Total	36	1,45792	0,887256	60,8577 %	0,22	3,4452

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLI. **ANOVA para el rendimiento extractivo del aceite esencial
analizado mediante su nivel altitudinal**

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	12,1728	5	2,43455	4,75	0,0026
Intra grupos	15,3801	30	0,512668		
Total (Corr.)	27,5528	35			

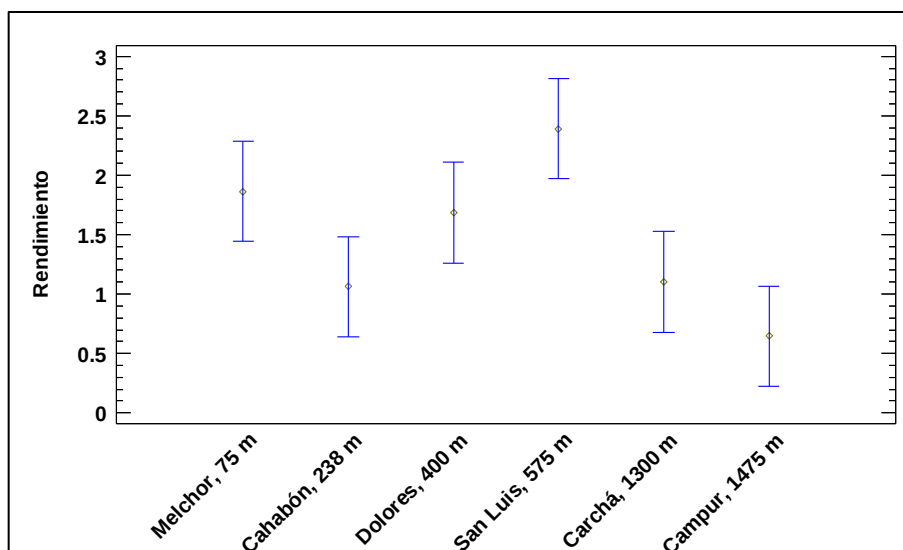
Fuente: elaboración propia.

Tabla XLII. **Comparación entre niveles para el rendimiento extractivo del
aceite esencial analizado mediante su nivel altitudinal**

Comparación	Sigma1	Sigma2	F-Ratio	P-Valor
Melchor / Cahabón	0,322296	0,223293	2,08334	0,4397
Melchor / Dolores	0,322296	1,3974	0,0531949	0,0059
Melchor / San Luis	0,322296	0,86624	0,138431	0,0489
Melchor / Carcha	0,322296	0,193241	2,78171	0,2859
Melchor / Campur	0,322296	0,42643	0,571235	0,5538
Cahabón / Dolores	0,223293	1,3974	0,0255335	0,0010
Cahabón / San Luis	0,223293	0,86624	0,0664467	0,0098
Cahabón / Carcha	0,223293	0,193241	1,33522	0,7588
Cahabón / Campur	0,223293	0,42643	0,274192	0,1819
Dolores / San Luis	1,397400	0,86624	2,60234	0,3173
Dolores / Carcha	1,397400	0,193241	52,2927	0,0005
Dolores / Campur	1,397400	0,42643	10,7385	0,0209
San Luis / Carcha	0,86624	0,193241	20,0945	0,0050
San Luis / Campur	0,86624	0,42643	4,1265	0,1459
Carcha / Campur	0,193241	0,42643	0,205354	0,1072

Fuente: elaboración propia.

Figura 8. **Media y 95 % de Fisher LSD para el rendimiento extractivo del aceite esencial analizado mediante su nivel altitudinal**



Fuente: elaboración propia.

Tabla XLIII. **Resumen estadístico para el rendimiento extractivo del aceite esencial analizado mediante su sección vegetal**

Sección vegetal	Recuento	Promedio	Desviación estándar	Coefficiente de variación	Mínimo	Máximo
Fruto	18	1,89187	0,944154	49,9058 %	0,796	3,4452
Hoja	18	1,02397	0,574928	56,1471 %	0,22	1,9454
Total	36	1,45792	0,887256	60,8577 %	0,22	3,4452

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLIV. **ANOVA para el rendimiento extractivo del aceite esencial analizado mediante su sección vegetal**

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	6,77934	1	6,77934	11,10	0,0021
Intra grupos	20,7735	34	0,610984		
Total (Corr.)	27,5528	35			

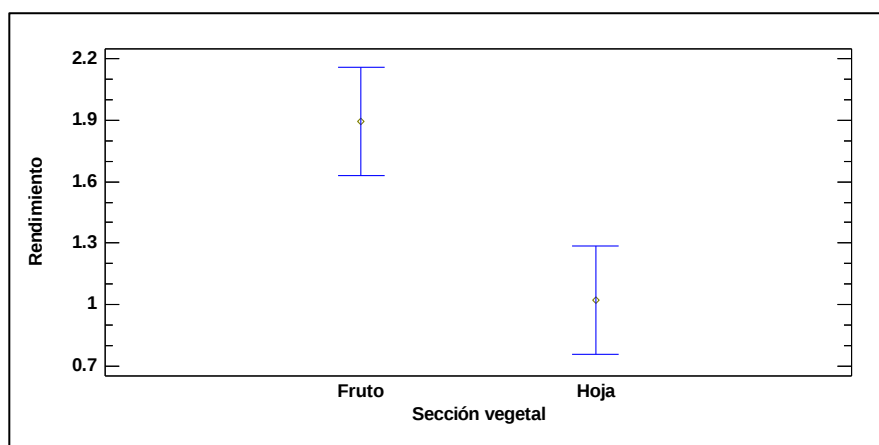
Fuente: elaboración propia.

Tabla XLV. **Comparación entre niveles para el rendimiento extractivo del aceite esencial analizado mediante su sección vegetal**

Comparación	Sigma1	Sigma2	F-Ratio	P-Valor
Fruto / Hoja	0,944154	0,574928	2,69686	0,0481

Fuente: elaboración propia.

Figura 9. **Media y 95 % de Fisher LSD para el rendimiento extractivo del aceite esencial analizado mediante su sección vegetal**



Fuente: elaboración propia.

Tabla XLVI. **Resumen estadístico para el rendimiento extractivo del aceite esencial analizado mediante su procedencia**

Procedencia	Recuento	Promedio	Desviación estándar	Coeficiente de variación	Mínimo	Máximo
Alta Verapaz	18	0,93645	0,352766	37,6706 %	0,22	1,4826
Petén	18	1,97939	0,959404	48,4697 %	0,3572	3,4452
Total	36	1,45792	0,887256	60,8577 %	0,22	3,4452

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLVII. **ANOVA para el rendimiento extractivo del aceite esencial analizado mediante su procedencia**

Fuente	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	9,78949	1	9,78949	18,74	0,0001
Intra grupos	17,7633	34	0,52245		
Total (Corr.)	27,5528	35			

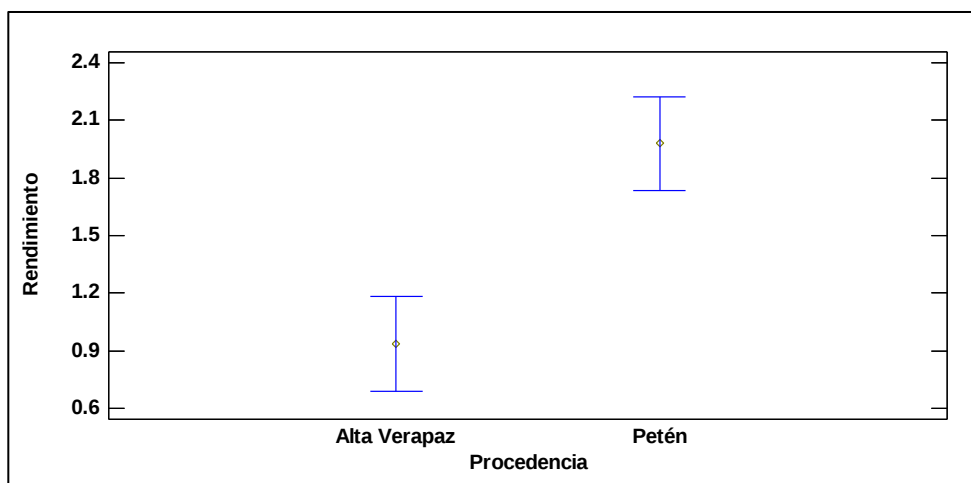
Fuente: elaboración propia.

Tabla XLVIII. **Comparación entre niveles para el rendimiento extractivo del aceite esencial analizado mediante su procedencia**

Comparación	Sigma1	Sigma2	F-Ratio	P-Valor
Alta Verapaz / Petén	0,352766	0,959404	0,135198	0,0002

Fuente: elaboración propia.

Figura 10. **Media y 95 % de Fisher LSD para el rendimiento extractivo del aceite esencial analizado mediante su procedencia**



Fuente: elaboración propia.

Tabla XLIX. **Resumen estadístico de la densidad del aceite esencial analizado mediante su nivel altitudinal**

Nivel Altitudinal (msnm)	Nivel altitudinal	Recuento	Promedio	Desviación estándar	Coeficiente de variación	Mínimo
Melchor, 75	Cahabón	6	0,945163	0,0112767	1,1931 %	0,929958
Cahabón, 238	Campur	6	0,939824	0,0137885	1,46714 %	0,924234
Dolores, 400	Carcha	6	0,941149	0,0155546	1,65273 %	0,920800
San Luis, 575	Dolores	6	0,94395	0,00736019	0,779723 %	0,935100
Carcha, 1 300	Melchor	6	0,941577	0,00964054	1,02387 %	0,930948
Campur, 1 475	San Luis	6	0,941763	0,0138851	1,47437 %	0,922081
Total	Total	36	0,942238	0,0114776	1,21812 %	0,920800

Fuente: elaboración propia.

Tabla L. **ANOVA para la densidad del aceite esencial analizado mediante su nivel altitudinal**

Fuente	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,000114997	5	0,0000229995	0,15	0,9774
Intra grupos	0,00449572	30	0,0001498570		
Total (Corr.)	0,00461071	35			

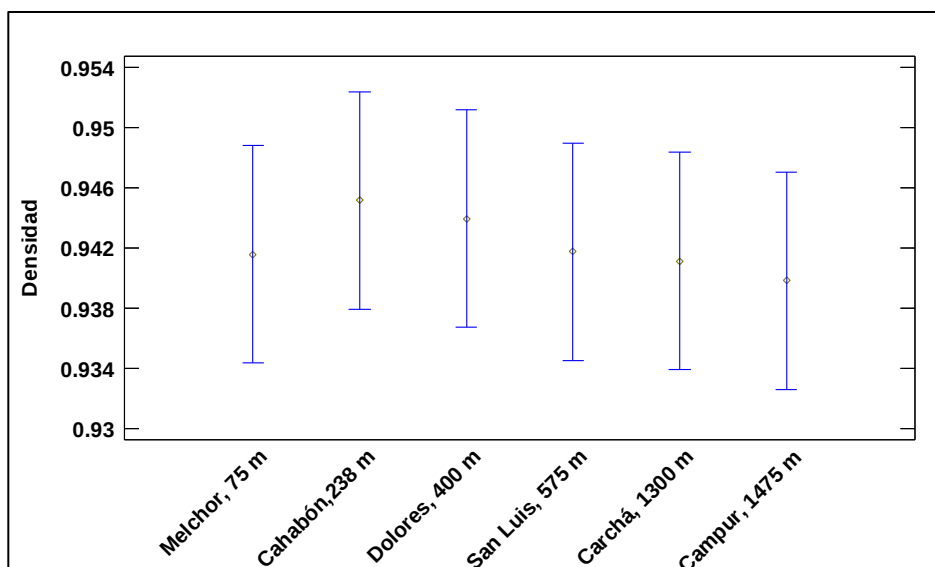
Fuente: elaboración propia.

Tabla LI. **Comparación entre niveles para la densidad del aceite esencial analizado mediante su nivel altitudinal**

Comparación	Sigma1	Sigma2	F-Ratio	P-Valor
Cahabón / Campur	0,0112767	0,0137885	0,668858	0,6698
Cahabón / Carcha	0,0112767	0,0155546	0,52559	0,4972
Cahabón / Dolores	0,0112767	0,00736019	2,34741	0,3706
Cahabón / Melchor	0,0112767	0,00964054	1,36825	0,7392
Cahabón / San Luis	0,0112767	0,0138851	0,659583	0,6591
Campur / Carcha	0,0137885	0,0155546	0,785802	0,7979
Campur / Dolores	0,0137885	0,00736019	3,50958	0,1945
Campur / Melchor	0,0137885	0,00964054	2,04565	0,4509
Campur / San Luis	0,0137885	0,0138851	0,986132	0,9882
Carcha / Dolores	0,0155546	0,00736019	4,46624	0,1262
Carcha / Melchor	0,0155546	0,00964054	2,60326	0,3171
Carcha / San Luis	0,0155546	0,0138851	1,25494	0,8093
Dolores / Melchor	0,00736019	0,00964054	0,582875	0,5680
Dolores / San Luis	0,00736019	0,0138851	0,280983	0,1898
Melchor / San Luis	0,00964054	0,0138851	0,482063	0,4423

Fuente: elaboración propia.

Figura 11. **Media y 95 % de Fisher LSD para la densidad del aceite esencial analizado mediante su nivel altitudinal**



Fuente: elaboración propia.

Tabla LII. **Resumen estadístico de la densidad del aceite esencial analizado mediante su sección vegetal**

Sección vegetal	Recuento	Promedio	Desviación estándar	Coeficiente de variación	Mínimo	Máximo
Fruto	18	0,941997	0,0126229	1,34001 %	0,9208	0,959204
Hoja	18	0,942478	0,0105716	1,12168 %	0,924234	0,959400
Total	36	0,942238	0,0114776	1,21812 %	0,9208	0,959400

Fuente: elaboración propia.

Tabla LIII. **ANOVA para la densidad del aceite esencial analizado mediante su sección vegetal**

Fuente	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,00000208601	1	0,00000208601	0,02	0,9020
Intra grupos	0,00460863	34	0,000135548		
Total (Corr.)	0,00461071	35			

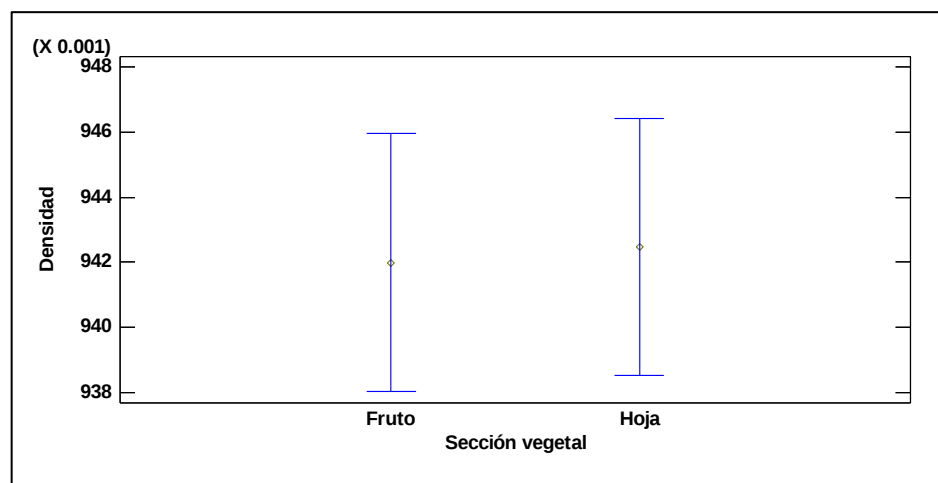
Fuente: elaboración propia.

Tabla LIV. **Comparación entre niveles para la densidad del aceite esencial analizado mediante su sección vegetal**

Comparación	Sigma1	Sigma2	F-Ratio	P-Valor
Fruto / Hoja	0,0126229	0,0105716	1,42572	0,4723

Fuente: elaboración propia.

Figura 12. **Media y 95 % de Fisher LSD para la densidad del aceite esencial analizado mediante su sección vegetal**



Fuente: elaboración propia.

Tabla LV. **Resumen estadístico de la densidad del aceite esencial
analizado mediante su procedencia**

Procedencia	Recuento	Promedio	Desviación estándar	Coefficiente de variación	Mínimo	Máximo
Alta Verapaz	18	0,942045	0,013036	1,3838 %	0,9208	0,95940
Petén	18	0,942430	0,0100599	1,06744 %	0,922081	0,959204
Total	36	0,942238	0,0114776	1,21812 %	0,92080	0,959400

Fuente: elaboración propia.

Tabla LVI. **ANOVA para la densidad del aceite esencial analizado
mediante su procedencia**

Fuente	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,00000133246	1	0,00000133246	0,01	0,9216
Intra grupos	0,00460938	34	0,00013557000		
Total (Corr.)	0,00461071	35			

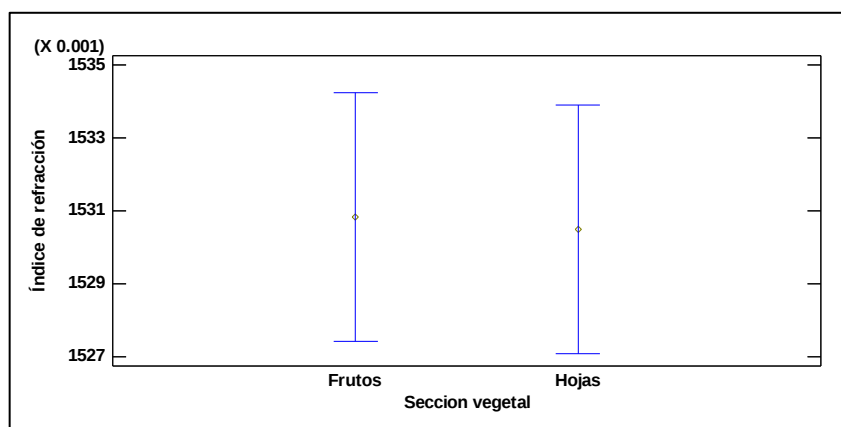
Fuente: elaboración propia.

Tabla LVII. **Comparación entre niveles para la densidad del aceite
esencial analizado mediante su procedencia**

Comparación	Sigma1	Sigma2	F-Ratio	P-Valor
Alta Verapaz / Petén	0,013036	0,0100599	1,6792	0,2950

Fuente: elaboración propia.

Figura 13. **Media y 95 % de Fisher LSD para la densidad del aceite esencial analizado mediante su procedencia**



Fuente: elaboración propia.

Tabla LVIII. **Resumen estadístico de la composición química del aceite esencial analizado mediante su sección vegetal**

Sección vegetal	Recuento	Promedio	Desviación estándar	Coefficiente de variación	Mínimo	Máximo
Frutos	6	39,0317	5,5317	14,1723 %	30,39	46,52
Hojas	6	30,6717	13,4021	43,6955 %	11,35	43,41
Total	12	34,8517	10,7058	30,7181 %	11,35	46,52

Fuente: elaboración propia.

Tabla LIX. **ANOVA para la composición química del aceite esencial analizado mediante su sección vegetal**

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	209,669	1	209,669	1,99	0,1882
Intra grupos	1051,08	10	105,108		
Total (Corr.)	1260,75	11			

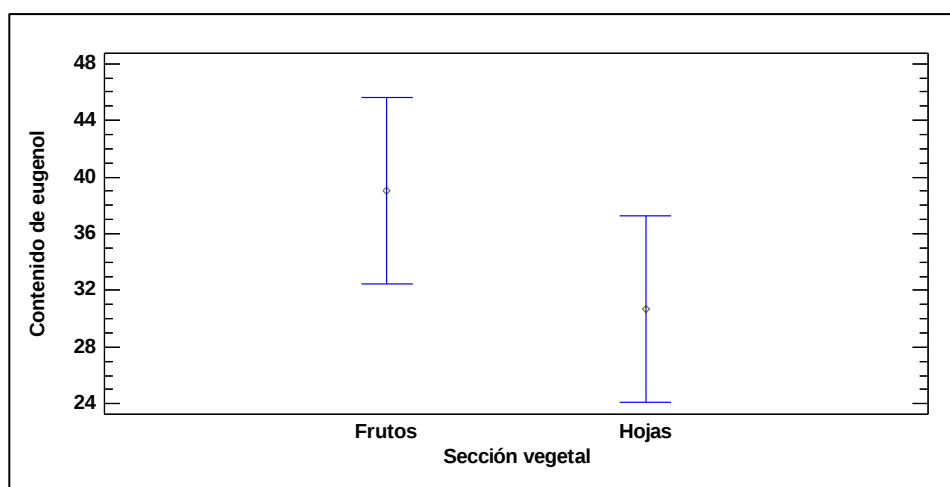
Fuente: elaboración propia.

Tabla LX. **Comparación entre niveles para la química del aceite esencial analizado mediante su sección vegetal**

Comparación	Sigma1	Sigma2	F-Ratio	P-Valor
frutos / hojas	5,5317	13,4021	0,170361	0,0745

Fuente: elaboración propia.

Figura 14. **Media y 95 % de Fisher LSD para la química del aceite esencial analizado mediante su sección vegetal**



Fuente: elaboración propia.

Tabla LXI. **Resumen estadístico del índice de refracción del aceite esencial analizado mediante su sección vegetal**

Sección vegetal	Recuento	Promedio	Desviación estándar	Coefficiente de variación	Mínimo	Máximo
frutos	6	1,53083	0,00183485	0,119859 %	1,528	1,533
hojas	6	1,5305	0,00725948	0,474321 %	1,521	1,543
Total	12	1,53067	0,00505125	0,330003 %	1,521	1,543

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXII. **ANOVA para el índice de refracción del aceite esencial analizado mediante su sección vegetal**

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	3,33333E-7	1	3,33333E-7	0,01	0,9153
Intra grupos	0,000280333	10	0,0000280333		
Total (Corr.)	0,000280667	11			

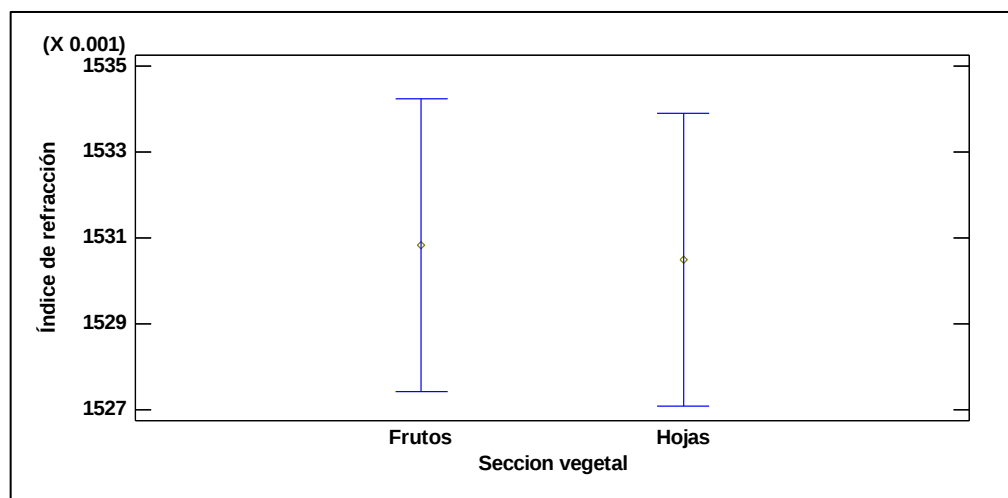
Fuente: elaboración propia.

Tabla LXIII. **Comparación entre niveles para el índice de refracción del aceite esencial analizado mediante su sección vegetal**

Comparación	Sigma1	Sigma2	F-Ratio	P-Valor
frutos / hojas	0,00183485	0,00725948	0,0638836	0,0090

Fuente: elaboración propia.

Figura 15. **Media y 95 % de Fisher LSD para el índice de refracción del aceite esencial analizado mediante su sección vegetal**



Fuente: elaboración propia.

4. RESULTADOS

4.1. Determinación del rendimiento extractivo del aceite esencial de la pimienta gorda a partir de las hojas y sus frutos

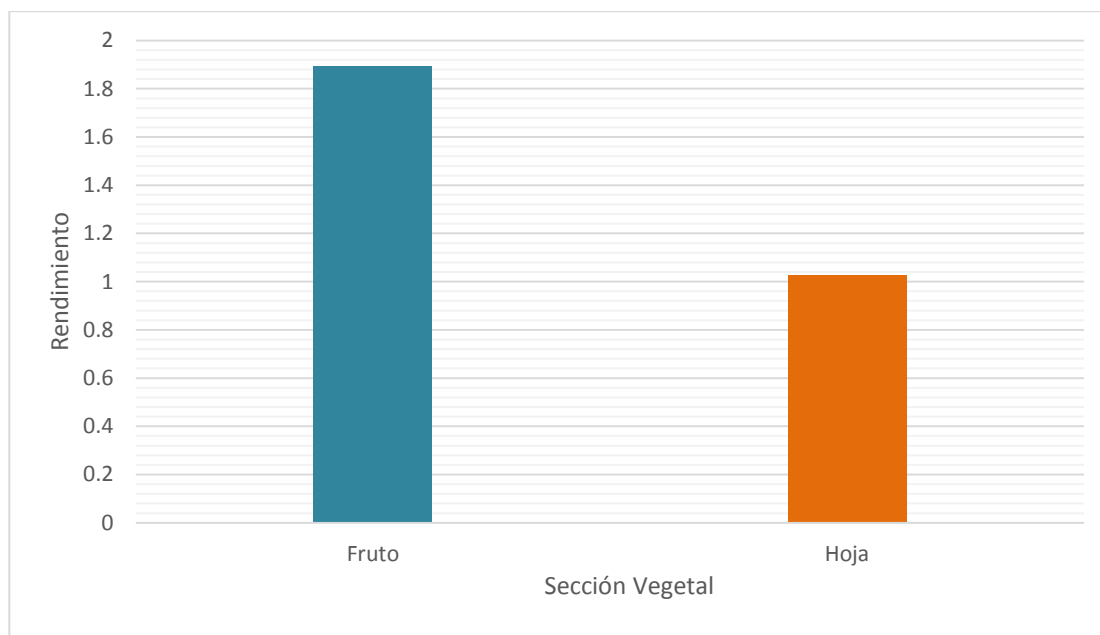
A continuación, se presenta el rendimiento extractivo de la pimienta gorda de acuerdo a su sección vegetal

Tabla LXIV. **Rendimiento extractivo del aceite esencial de la pimienta gorda (*Pimenta dioica* (L.) Merrill), analizado mediante su sección vegetal**

Sección vegetal	Rendimiento (%)
Fruto	1,89187 ± 0,944154
Hoja	1,02397 ± 0,574928

Fuente: elaboración propia.

Figura 16. **Rendimiento extractivo del aceite esencial de la pimienta gorda (*Pimenta dioica* (L.) Merrill), en función de la sección vegetal**



Fuente: elaboración propia.

4.2. **Evaluación de la capacidad extractiva del aceite esencial de la pimienta gorda a partir de tres niveles altitudinales**

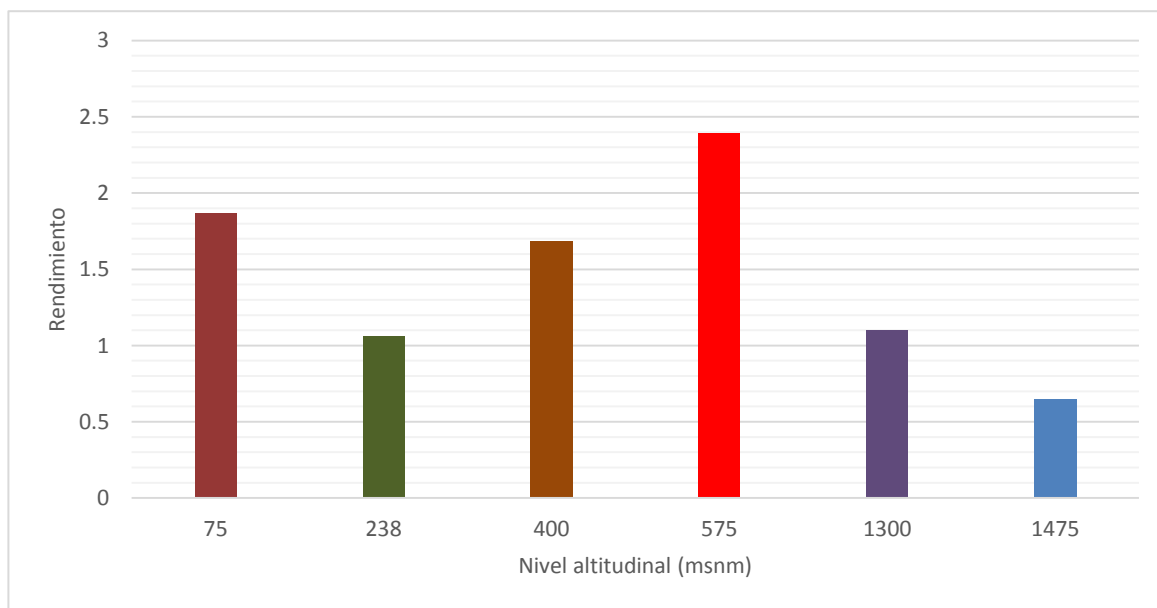
A continuación, se presenta el rendimiento extractivo de la pimienta gorda de acuerdo a su nivel altitudinal.

Tabla LXV. **Rendimiento extractivo del aceite esencial en función del nivel altitudinal**

Lugar de plantación	msnm	Rendimiento (%)
Melchor de Mencos	75	1,86343 ± 0,322296
Santa María Cahabón	238	1,06327 ± 0,223293
Dolores	400	1,68477 ± 1,397400
San Luis	575	2,38997 ± 0,866240
San Pedro Carchá	1 300	1,10137 ± 0,193241
Campur	1 475	0,644717 ± 0,42643

Fuente: elaboración propia,

Figura 17. **Rendimiento extractivo del aceite esencial analizado mediante su nivel altitudinal**



Fuente: elaboración propia.

4.3. Evaluación del rendimiento extractivo del aceite esencial de la pimienta gorda a partir del área de cultivo, Petén y Alta Verapaz

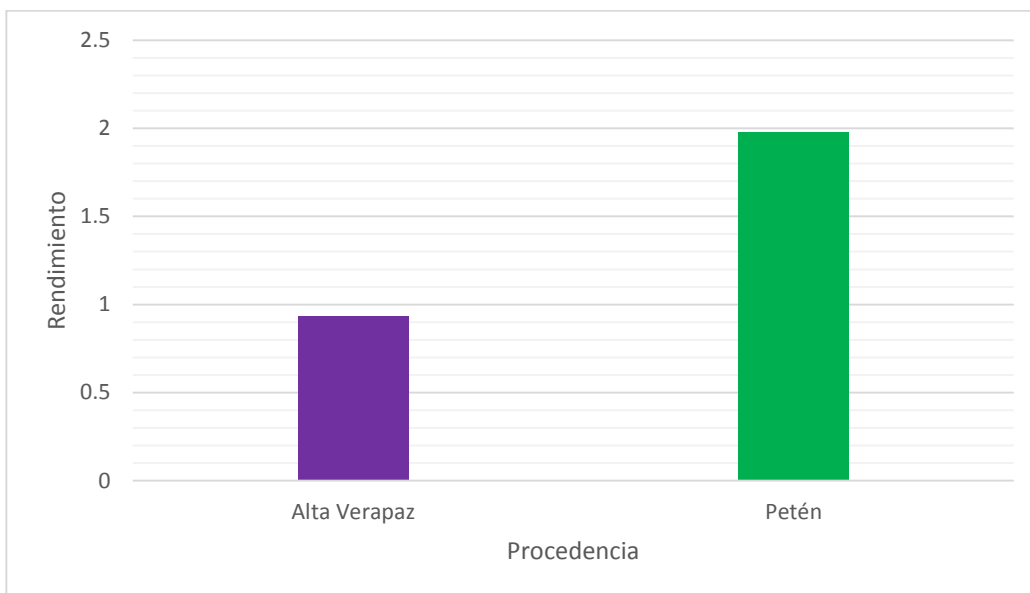
A continuación, se presenta el rendimiento extractivo de la pimienta gorda de acuerdo a su área de cultivación (departamental).

Tabla LXVI. **Rendimiento extractivo del aceite esencial analizado mediante su procedencia**

Procedencia	Rendimiento (%)
Alta Verapaz	0,93645 $\pm$ 0,352766
Petén	1,97939 $\pm$ 0,959404

Fuente: elaboración propia.

Figura 18. **Rendimiento extractivo del aceite esencial analizado mediante su procedencia**



Fuente: elaboración propia.

4.4. Caracterización fisicoquímica del aceite esencial extraído de las hojas y frutos de la pimienta gorda para determinar densidad e índice de refracción y una cromatografía de gases con acoplamiento de espectrofotometría de masas (GC/MS) para determinar su composición química

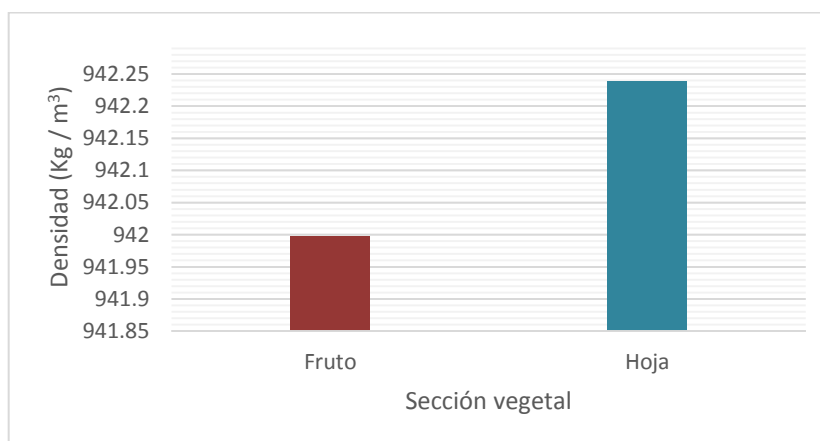
A continuación, se presenta la densidad de la pimienta gorda de acuerdo a su sección vegetal.

Tabla LXVII. Densidad del aceite esencial analizado mediante su sección vegetal

Sección vegetal	Densidad (Kg / m ³)
Fruto	941,997 ± 12,6229
Hoja	942,238 ± 10,5716

Fuente: elaboración propia.

Figura 19. Densidad del aceite esencial analizado mediante su sección vegetal



Fuente: elaboración propia.

A continuación, se presenta el índice de refracción de la pimienta gorda de acuerdo a su sección vegetal.

Tabla LXVIII. **Índice de refracción del aceite esencial obtenido de las hojas y frutos de la pimienta gorda (*Pimenta dioica* (L.) Merrill), cultivada en Alta Verapaz y Petén, a nivel laboratorio**

Procedencia	Sección vegetal	Locación	Índice de refracción %
Alta Verapaz	Frutos	Campur	1,528
Alta Verapaz		San Pedro Carchá	1,530
Alta Verapaz		Santa María Cahabón	1,532
Alta Verapaz	Hojas	Campur	1,543
Alta Verapaz		San Pedro Carchá	1,532
Alta Verapaz		Santa María Cahabón	1,527
Petén	Frutos	San Luis	1,532
Petén		Dolores	1,530
Petén		Melchor de Mencos	1,533
Petén	Hojas	San Luis	1,531
Petén		Dolores	1,521
Petén		Melchor de Mencos	1,529

Fuente: elaboración propia.

A continuación, se presenta la composición química de la pimienta gorda.

Tabla LXIX. **Contenido de eugeol en las hojas y frutos de la pimienta gorda (*Pimenta dioica* (L.) Merrill), respecto a su procedencia y locación de cultivo**

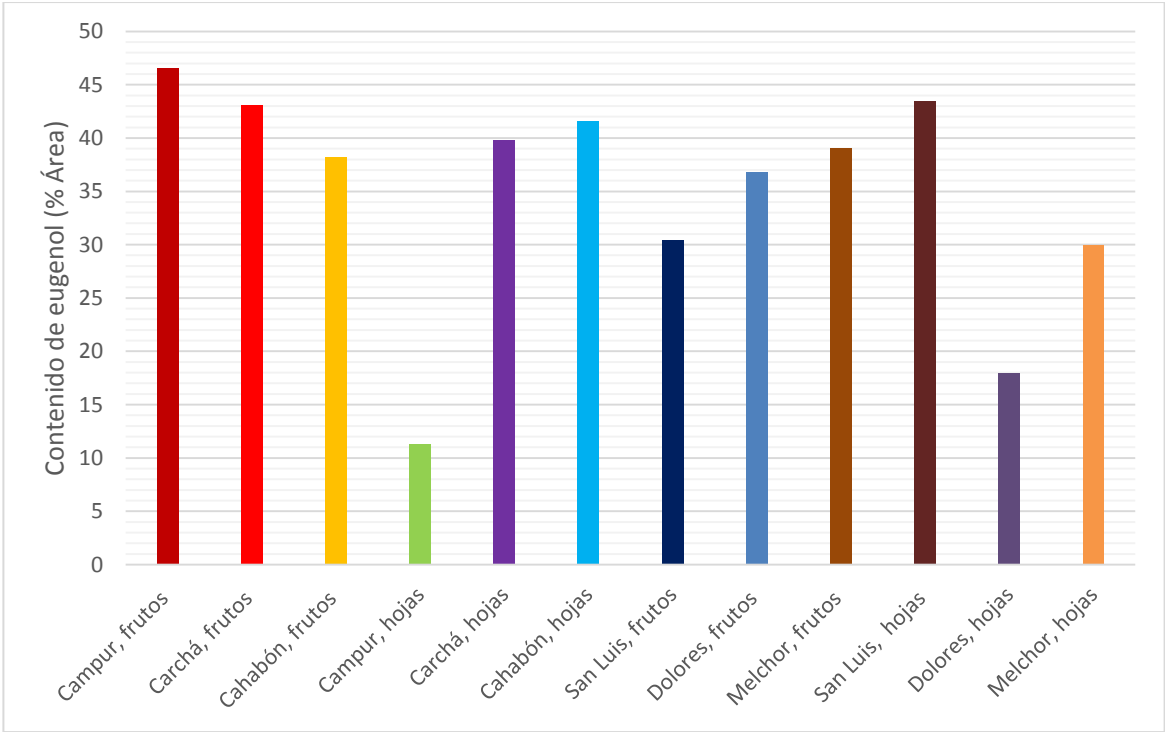
Procedencia	sección vegetal	Lugar de cultivo	msnm	Contenido de eugenol (% Área)
Alta Verapaz	Frutos	Campur	1475	46,52
Alta Verapaz		Carcha	1300	43,13
Alta Verapaz		Cahabón	238	38,23

Continuación de la tabla LXIX.

Alta Verapaz	Hojas	Campur	1475	11,35
Alta Verapaz		Carcha	1300	39,76
Alta Verapaz		Cahabón	238	41,55
Petén	Frutos	San Luis	575	30,39
Petén		Dolores	400	36,84
Petén		Melchor	75	39,08
Petén	Hojas	San Luis	575	43,41
Petén		Dolores	400	17,98
Petén		Melchor	75	29,98

Fuente: elaboración propia.

Figura 20. **Contenido de eugeol en las hojas y frutos de la pimienta gorda (*Pimenta dioica* (L,) Merrill), respecto a su procedencia y locación de cultivo**



Fuente: elaboración propia.

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

El siguiente trabajo de investigación tuvo como objetivo evaluar el rendimiento extractivo y caracterizar fisicoquímicamente el aceite esencial obtenidos de las hojas y frutos de la pimienta gorda (*Pimenta dioica* (L) Merrill), con el método de hidrodestilación y rotaevaporación a escala laboratorio; la materia prima se obtuvo de Petén y Alta Verapaz, se seleccionaron tres niveles altitudinales en cada departamento, y en cada uno se tomaron las secciones vegetales de frutos y de hojas; los niveles altitudinales fueron: 238 msnm, 1 300 msnm y 1 475 msnm, los cuales corresponden a San Pedro Carchá, Santa María Cahabón y Campur, respectivamente, del departamento de Alta Verapaz; 75 msnm, 400 msnm y 575 msnm para los municipios de Melchor de Mencos, Dolores y San Luis, respectivamente del departamento de Petén.

La preparación de la materia prima para luego proceder a la extracción de aceite esencial consistió en llevar a cabo una deshidratación (hojas y frutos) hasta alcanzar una humedad menor o igual al 10 %; luego, se procedió a reducir su tamaño con un molino de cuchillas, se tomaban muestras con un diámetro de partícula entre el tamiz núm. 8 y el tamiz núm. 30, todo con la finalidad de tener una mayor área de contacto entre los sólidos (hojas y frutos) y el solvente y así favorecer la transferencia de masa.

La extracción del aceite esencial se llevó a cabo en las instalaciones del Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales LIEXVE. Sección Química Industrial. Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC; en donde se colocaron 50 g de materia prima en un balón de fondo redondo y se puso en contacto directo con el solvente con una relación 1:10 para frutos y 1:15 para

hojas; el solvente fue agua desmineralizada; dicha mezcla heterogénea se colocó en una manta de calentamiento y se acopló a un neoclevenger y se hizo hervir con un rango de temperatura entre 350 °C y 425 °C; este procedimiento duró 4 horas a partir de su punto de rocío; el aceite recolectado por medio de una trampa de agua para hojas y una de hexano para frutos; se preparó posteriormente para una separación líquido-líquido por medio de una rotaevaporación para obtener el aceite esencial final.

En la sección de resultados, se puede observar, en la tabla LXIII, el rendimiento extractivo del aceite esencial en función de la sección vegetal, hojas y frutos; en esta tabla se pueden ver las diferencias entre ambas por medio de valores medios para ambos lotes, de hojas y de frutos con su respectiva desviación estándar utilizando sigma 1, Luego, se puede observar la figura 16, donde se puede apreciar de una forma más comprensible las diferencias que existen entre ambas correlaciones que pueden marcar una tendencia del rendimiento del aceite esencial en función de la sección vegetal (hojas y frutos), en donde claramente se puede apreciar que existe un mayor rendimiento para el aceite extraído de los frutos de la pimienta gorda.

Para determinar la sección vegetal que más aceite contiene se utilizó un factor ANOVA que está descrito en la tabla XLIII y así verificar los supuestos y dado que la razón-F, que en este caso es igual a 11,0958, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos, Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de rendimiento entre un nivel de sección vegetal y otro, con un nivel del 95,0 % de confianza.

En cuanto al rendimiento extractivo en función el nivel altitudinal, se puede observar en la tabla LXIV que la media contenida de aceite esencial no fue la

misma en ningún nivel altitudinal; tampoco, mostró una tendencia directamente o inversamente proporcional según la altitud de la plantación que muestra un mayor rendimiento el municipio de San Luis, Petén, el cual está ubicado a una altitud de 575 msnm; estas tendencias se pueden apreciar de una mejor forma en la figura 17 donde por medio de un gráfico de barras ordenando de forma ascendente se puede observar los índices de rendimiento de extracción un menor rendimiento para los 1 475 msnm procedentes de Campur ubicado en el departamento de Alta Verapaz, y un mayor a los 575 msnm en San Luis, Petén; en la tabla XLI se hace una comparación entre todos los niveles altitudinales que muestra una comparación de las desviaciones típicas para cada par de muestras.

P-valores por debajo de 0,05, de los cuales hay 7, indican una diferencia estadísticamente significativa entre las dos sigmas al 5 % de nivel de significancia, Y evaluando la desviación estándar de los 6 niveles altitudinales mediante una prueba ANOVA descrita en la tabla XL el valor-P es menor que 0,05, por tanto, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar con un nivel del 95,0 % de confianza.

Para evaluar el rendimiento extractivo del aceite esencial de la pimienta gorda a partir del área de cultivo (Petén y Alta Verapaz), en la tabla LXV de la sección de resultados se puede observar que el departamento de Petén obtuvo un mayor rendimiento en la extracción de aceite esencial; esta tabla muestra el dato puntual de la media de los índices de rendimiento obtenidos para ambos departamentos con su respectiva sigma 1.

Estas desviaciones existentes indican que hay datos (rendimientos) similares dentro de ambos conjuntos de medias, En la figura 18 se puede observar fácilmente que el departamento de Petén posee el mayor rendimiento

de aceite esencial de pimienta gorda; esta tendencia, también, puede ser observable en la figura 10 la cual muestra un intervalo alrededor de cada media. Los intervalos mostrados actualmente están basados en el procedimiento de la diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. En la tabla XLVI se muestra el resumen ANOVA que indica que el valor-P de la prueba-F es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de rendimiento entre un nivel de procedencia y otro, con un nivel del 95,0 % de confianza.

Para la determinación de la densidad del aceite esencial, a una temperatura de 20°C, la tabla LXVI muestra la densidad obtenida para hojas y frutos; las densidades mostradas en dicha tabla son las representaciones de los valores medios de las secciones vegetales ya mencionadas; en dicha tabla, también, se pueden observar las desviaciones estándar; estos datos calculados son bastante parecidos, puede apreciarse de mejor manera en la figura 19, la cual está graficada por medio de un diagrama de barras; las diferencias son bastante pequeñas en ambas densidades, se puede comprobar por medio de la tabla LII la cual es un resumen del diseño estadístico elaborado por medio de un análisis ANOVA la cual indica que el valor-P de la razón-F es mayor que 0,05; por tanto, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de densidad entre un nivel de sección vegetal y otro con un nivel del 95,0 % de confianza.

Al momento de analizar los datos provenientes de las densidades obtenidas de los extractos vegetales en función de su nivel altitudinal, se plasmaron en la tabla XLVIII la cual muestra las medias de todas las densidades en función de su nivel altitudinal; también, sus desviaciones estándar las cuales se puede observar que no existe una diferencia entre las medias de las muestras, esto puede apreciarse de una mejor manera en la

figura 11, esta muestra un intervalo alrededor de cada media. Los intervalos mostrados, actualmente, están basados en el procedimiento de la diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Se pueden ver gráficamente los intervalos; en estos intervalos se determinan cuáles medias son significativamente diferentes de otras. Esto se indica de forma estadística en la tabla XLIX la cual contiene en si el análisis ANOVA de la muestra la cual indica que el valor-P de la razón-F es mayor que 0,05; por lo tanto, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de densidad entre un nivel de nivel altitudinal y otro con un nivel del 95,0 % de confianza,

Para el análisis de la densidad en función de procedencia (Petén y Alta Verapaz), la tabla LIV muestra el resumen estadístico de los datos obtenidos de las densidades, en la cual se puede observar desviaciones estándar muy parecidas; también, sus valores medios, esto puede apreciarse e interpretarse de una mejor manera en la figura 13 la cual contiene en sí la media y 95 % de Fisher (LSD), la cual indica el procedimiento de una diferencia mínima significativa, de lo cual está resuelto en la tabla LV, proporcionando un análisis ANOVA en función de la densidad conforme a su procedencia indicando que el valor-P de la razón-F es mayor o igual que 0,05; no existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de densidad entre un nivel de procedencia y otro con un nivel del 95,0 % de confianza.

En la tabla XXVI se encuentran tabulados los índices de refracción del aceite esencial de todas las localidades separados por su sección vegetal de hojas y de frutos, el cual permite comparar el ángulo de refracción de la luz a una longitud específica; el parámetro de comparación para este experimento es el de Guenther el cual se toma como dato teórico en un intervalo de 1,525 – 1,536 a una temperatura de 20 °C; el promedio obtenido para este experimento se encuentra tabulado en la tabla LX, el cual se encuentra que

para frutos es 1,5308 y para hojas es 1,5305, con una desviación estándar de 0,00183 y 0,00725 respectivamente; por lo que consta para el índice de refracción para el experimento fue bastante preciso y exacto; esto se obtiene comparando sigma 1 y sigma 2, tabuladas en la tabla LXII para verificar si existe una diferencia estadísticamente significativa de acuerdo a la tabla LXI la cual indica por medio de un análisis ANOVA de un solo factor el cual indica que el valor-P de la razón-F es mayor que 0,05; por tanto no existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de índice de refracción entre un nivel de sección vegetal y otro con un nivel del 95,0 % de confianza,

Entre las tablas XXVII y XXXVIII se encuentran tabulados los datos de las cromatografías de los componentes principales que se encontraron en las muestras de aceite esencial provenientes de Alta Verapaz y Petén; dichos valores muestran, en su gran mayoría, eugenol que es la molécula que se buscaba encontrar para este experimento luego de ello se encontró también benzeno, 1,2-dimetoxi-4- (1-propenilo), el cual en su nombre común se denomina metil isoegunol, un fenilpropanoide, el éter metílico de isoeugenol.

Otro compuesto que se encontró en todas las cromatografías fue el cariofileno, un sesquiterpeno bicíclico natural, un componente de muchos aceites esenciales, especialmente, el aceite de clavo de olor; también, el cariofileno es uno de los compuestos químicos que contribuyen al sabor picante de la pimienta, también, es un aditivo de alimentos aprobado por la FDA y se ingiere con la comida, además, ha demostrado tener un efecto antiinflamatorio en ratones; sin embargo, el componente activo de la pimienta gorda es el eugenol el cual según las tablas ya mencionadas es el que más porcentaje de área tiene en función del tiempo en cada cromatografía; en la mayoría de dichos análisis el tiempo de retención para el eugenol ronda entre los 48,498 y los 49,49 min que muestra diferentes porcentajes de áreas para cada localidad.

En la tabla LXVIII de la sección de resultados se observan las diferencias que entre el tiempo con más área de contenido de eugenol, que se obtuvo, el cual fue para el municipio localizado en el nivel altitudinal más alto: Campur, Alta Verapaz con 1 475 msnm esto para frutos; sin embargo el área más baja que se obtuvo fue también para Campur, pero en hojas, por tanto, se hizo necesario respaldar los datos por medio un análisis estadístico denominado ANOVA que se encuentra resumido en la tabla LVIII el cual indica que el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos.

Puesto que el valor-P de la razón-F es mayor o igual que 0,05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de contenido de eugenol entre un nivel de sección vegetal y otro, con un nivel del 95,0 % de confianza, Esto se puede observar de manera más apreciable en el gráfico de barras dispuesto en la figura 20 en donde no se hace muy apreciablemente la diferencia obtenida de eugenol en función del tiempo excepto de los dos mencionados anteriormente.

CONCLUSIONES

1. Sí existe diferencia significativa en la evaluación del porcentaje de rendimiento de la extracción a escala laboratorio del aceite esencial de la pimienta gorda (*Pimenta dioica* (L.) Merrill), en relación al nivel altitudinal.
2. Sí existe diferencia significativa en la evaluación del porcentaje de rendimiento de la extracción a escala laboratorio del aceite esencial de la pimienta gorda (*Pimenta dioica* (L.) Merrill), en relación a la sección vegetal, frutos y hojas.
3. Sí existe diferencia significativa en la evaluación del porcentaje de rendimiento de la extracción a escala laboratorio del aceite esencial de la pimienta gorda (*Pimenta dioica* (L.) Merrill), en relación al lugar de cultivo: Alta Verapaz o Petén.
4. No existe un cambio significativo en las propiedades fisicoquímicas de la extracción a escala laboratorio del aceite esencial de la pimienta gorda (*Pimenta dioica* (L.) Merrill), en relación al nivel altitudinal.
5. No existe un cambio significativo en las propiedades fisicoquímicas de la extracción a escala laboratorio del aceite esencial de la pimienta gorda (*Pimenta dioica* (L.) Merrill), en relación a su sección vegetal, frutos y hojas.
6. No existe un cambio significativo en las propiedades fisicoquímicas de la extracción a escala laboratorio del aceite esencial de la pimienta gorda

(*Pimenta dioica* (L.) Merrill), en relación a su lugar de cultivo Alta Verapaz o Petén.

7. El componente químico encontrado en mayor proporción en todas las cromatografías del aceite esencial de la pimienta gorda (*Pimenta dioica* (L.) Merrill), fue el eugenol, en función de todos los supuestos.

RECOMENDACIONES

1. Realizar estudios de investigación para la extracción de aceite esencial de pimienta gorda (*Pimenta dioica* (L.) Merrill), en función de la longevidad del árbol,
2. Seleccionar la variedad del árbol, silvestre o plantación controlada, y determinar sus rendimientos,
3. Realizar estudios de investigación para la extracción de aceite esencial de pimienta gorda (*Pimenta dioica* (L.) Merrill), en función a que si el árbol es dioico,
4. Utilizar otra metodología para la extracción de aceite esencial a escala laboratorio para disminuir los tiempos de extracción como la técnica de hidrodestilación asistida por radiación con microondas,
5. Realizar estudios de investigación para la extracción del aceite esencial de pimienta gorda (*Pimenta dioica* (L.) Merrill), en otras locaciones del país en donde sea plantado el árbol,
6. Realizar estudios de investigación para la extracción del aceite esencial de pimienta gorda (*Pimenta dioica* (L.) Merrill), en niveles altitudinales homogéneos para todas las muestras, de los diferentes departamentos,

BIBLIOGRAFÍA

1. ALVAREZ, Rosa; GARCIA, Astrid; OLIVA, Nidia; ROJAS, Ana. *Determinación de actividad inhibitoria in vitro de extractos diclorometánicos y metanólicos y aceites esenciales de doce especies condimentarias y medicinales guatemaltecas contra Listeria monocytogenes*. Trabajo de graduación de Farmacia. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. 2010. 81 p.
2. CANO, Telma; CHÁVEZ, Blanca; GODÍNEZ, Jorge y MONZÓN David. *Obtención y caracterización del aceite esencial y oleoresina de la pimienta negra (piper nigrum L.) cultivada en Guatemala, Una alternativa de desarrollo agroindustrial para el agricultor guatemalteco*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería, 2002. 204 p.
3. CASTILLO, Jasmill. *Manual técnico para productores. Cultivo de pimienta gorda (pimenta dioica)*. Municipio de Siuna, Nicaragua: RAAN, 2012. 37 p.
4. CERPA, Manuel. *Hidrodestiacion de aceites esenciales: modelado y caracterización*. España: Universidad de Valladolid, 2007. 508 p.
5. CHINCHILLA Juan. *Inventario y propuesta de manejo de las poblaciones de pimienta gorda (pimenta dioica (L.) Merrill) y chicozapote*

(manilkara achras (Mill) Fosberg) de la zona de uso especial del Parque Nacional Yaxha, en la Reserva de la Biosfera Maya. Trabajo de graduación de Agronomía. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía, 2004. 408 p.

6. ESPINAL, Natalia. *Extracción y caracterización fisicoquímica del contenido tánico en la corteza de cinco especies forestales procedentes del departamento de Petén, aprovechando el subproducto de la industria de aserradero.* Trabajo de graduación de Ing. Química. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería, 2009. 303 p.
7. ESTRADA JIRÓN, Julio. *Extracción del aceite esencial del flavelo de la naranja dulce (citrus sinensis l.) Variedad valencia, proveniente de desechos agroindustriales, utilizando el método de destilación por arrastre con vapor a escala planta piloto para su aplicación en la formulación de cosméticos.* Trabajo de graduación de Ing. Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2014. 80 p.
8. FLORES, Norma. *Evaluación de la calidad bioquímica de la pimienta gorda (pimenta diodica L, Merrill) deshidratada con ciclos de atemperado.* México: Instituto Politécnico Nacional, 2009. 73 p.
9. GARCIA, Angel. *Hierbas aromáticas y especies más utilizadas en México.* Coahuila, México: Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, 2013. 52 p.

10. GASPAR, Armando. *Determinación de las especificaciones químicas de la pimienta dioica (pimienta gorda) de 15 comunidades de la Sierra Totonaca bajo la norma NMX-FF-063-1987*. México: Universidad Veracruzana, 2011. 187 p.
11. GUENTHER, Ernest. *The essential oils [Los Aceites Esenciales]*. Estados Unidos: Van Nostrand Company Inc7, 1948. 312 p.
12. FLORES, Norma. *Evaluación de la calidad bioquímica de la pimienta gorda (pimenta diodica L, Merrill) deshidratada con ciclos de atemperado*. México: Instituto Politécnico Nacional, 2009. 73 p.
13. MACIA, Juan. *La pimienta de Jamaica (pimenta dioica (L,) Merrill, Myrtaceae) en la Sierra Norte de Puebla México*. [En línea]. <<http://digital.csic.es/bitstream/10261/27182/1/234.pdf>>. [Consulta: 26 de febrero de 2015].
14. MARTÍNEZ, Alejandro. *Aceites esenciales*. Medellín, Colombia: Universidad de Antioquia, 2001. 355 p.
15. RIVERA DE LEÓN, Servando. *Algunas recomendaciones para el cultivo de la pimienta gorda. Folleto mimeografiado inédito. Estación de fomento los brillantes*. México: Inifap, 1976. 16 p.
16. RODRÍGUEZ, Margarito; MELÉNDEZ, Lilia; REAL, Sergio. *Procedimientos para la extracción de aceites esenciales en plantas aromáticas, Proyecto Sagarpa- Conacyt 126183*. [En línea]. <<http://slideflix.net/doc/417511/procedimientos-para->

extracci%C3%B3n-de-aceites-esenciales-en-...>.

[Consulta: 26 de febrero de 2016].

17. SARAIVA CANO, Edwin José. *Evaluación del rendimiento extractivo, contenido de α -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 Ing. Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2013. 314 p.
18. TREYBAL, Robert E. *Operaciones de transferencia de masa*. 2a ed. México: 1988. 821 p.
19. VENTURA, Cristina; ARCHILA, Jorge; BAUTISTA, Jorge, ESTRADA, Franklin; GUTIÉRREZ, Federico; MENDOZA, María; CRUZ, Jesús; GARCÍA, Oscar. *Actividad antimicrobiana del aceite esencial de la hoja de pimienta (*pimenta dioica*)*. México: Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, 2006. 229 p.

APÉNDICES

Apéndice 1. **Extracción de aceite esencial de pimienta gorda (*Pimenta dioica* (L.) Merrill), por medio de la técnica de hidrodestilación utilizando el equipo Neoclevenger**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. **Transporte de materia prima hacia LIEXVE, Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. **Secado de materia prima (hojas) para la extracción de
aceite esencial de pimienta gorda (*Pimenta dioica* (L.)
Merrill)**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4. **Secado de materia prima (frutos) para la extracción de
aceite esencial de pimienta gorda (*Pimenta dioica* (L.)
Merrill**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 5. **Caracterización fisicoquímica de aceite esencial de
pimienta gorda (*Pimenta dioica* (L.) Merrill)**



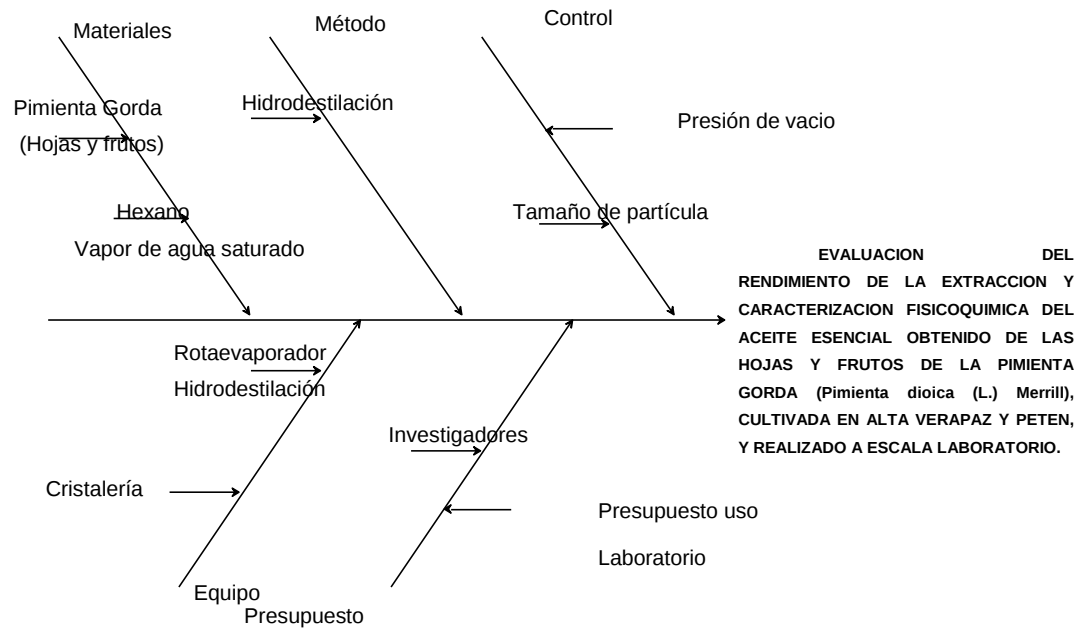
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 6. **Requisitos académicos para la carrera de Licenciatura en Ingeniería Química**

Carrera	Área	Tema genérico	Tema específico
Ingeniería Química	Química	Análisis cuantitativo Orgánica 1 y 2	Soluciones Soluciones acuosas Polaridad, cte. Dieléctrica
	Operaciones unitarias	Balance de masa y energía (IQ1) Flujo de fluidos (IQ2) Transferencia de calor (IQ3) Transferencia de masa (IQ4) Transferencia de masa en unidades (IQ5)	Contacto interfacial gas-líquido Contacto interfacial líquido-líquido Contacto interfacial líquido-sólido (Lixiviación) Contacto interfacial gas-sólido
	Fisicoquímica	Termodinámica 4 Fisicoquímica 2	Equilibrio ternario Equilibrio líquido vapor
	Área complementaria	Técnicas de estudio e investigación Estadística 1	Método experimental de investigación Presupuesto Análisis de datos

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 7. Diagrama de Ishikawa

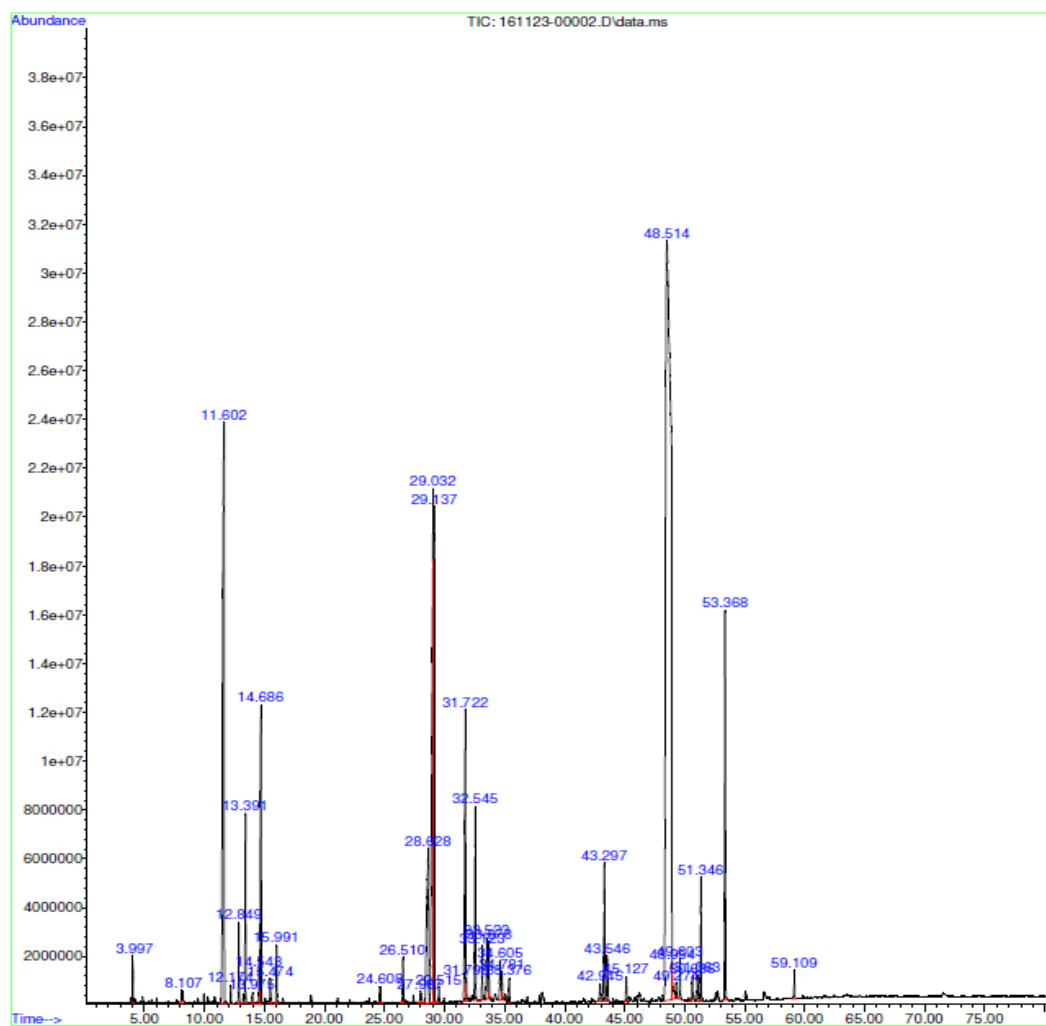


Fuente: elaboración propia.

ANEXOS

Anexo 1. Cromatografía de gases con acoplamiento a espectrometría de masas GC-MS para extracto de frutos Campur

File : C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\USAC\Tesis extractos\161123-00002
... .D
Operator : AdeM
Instrument : GC-MSD
Acquired : 23 Nov 2016 15:27 using AcqMethod ACEITES ESENCIALES MCS DB-WAX SCAN 2.M
Sample Name: Campur frutos
Misc Info : Campur frutos



Continuación del anexo 1.

LIQA Library Search Report

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\USAC\Tesis extractos\
Data File : 161123-00002.D
Title :
Acq On : 23 Nov 2016 15:27
Operator : AdeM
Sample : Campur frutos
Misc : Campur frutos
ALS Vial : 2 Sample Multiplier: 1

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

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

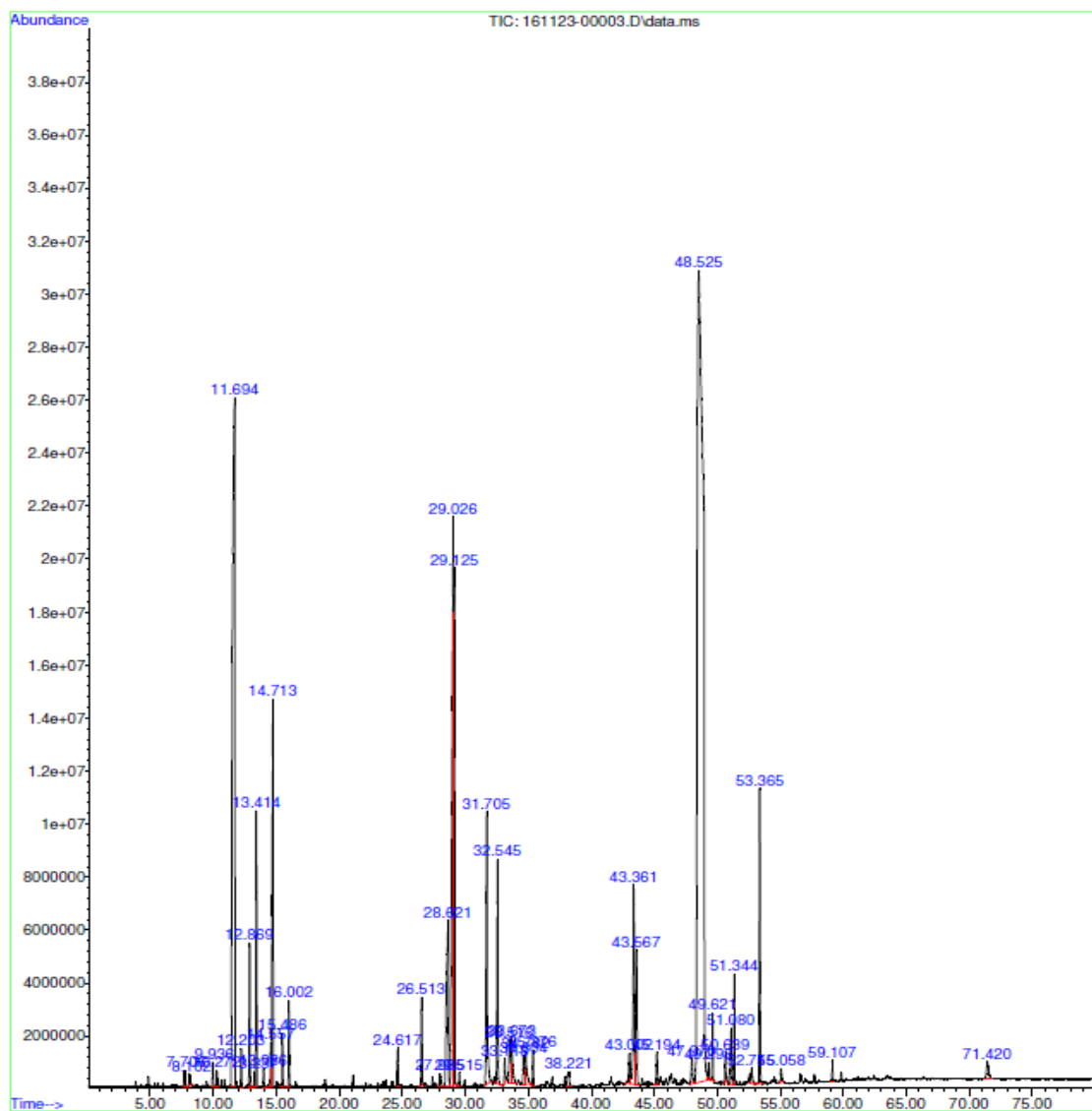
Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
			aldehyde			
			3-Cyclohexen-1-carboxaldehyde, 3,4	17043	1000131-99-4	60
			-dimethyl-			
32	48.517	46.52	C:\Database\NIST05a.L			
			3-Allyl-6-methoxyphenol	31757	000501-19-9	98
			Eugenol	31714	000097-53-0	98
			Phenol, 2-methoxy-3-(2-propenyl)-	31835	001941-12-4	97
33	48.953	0.41	C:\Database\NIST05a.L			
			Eugenol	31714	000097-53-0	96
			Eugenol	31715	000097-53-0	96
			Eugenol	31716	000097-53-0	95
34	49.276	0.13	C:\Database\NIST05a.L			
			Eugenol	31714	000097-53-0	90
			Eugenol	31716	000097-53-0	89
			Eugenol	31715	000097-53-0	87
35	49.604	0.36	C:\Database\NIST05a.L			
			2,6,11,15-Tetramethyl-hexadeca-2,6	107082	038259-79-9	81
			,8,10,14-pentaene			
			1-Pentene, 5-bromo-	22039	001119-51-3	43
			1,5-Heptadiene, 3,3-dimethyl-, (E)	10383	067682-47-7	35
36	50.636	0.18	C:\Database\NIST05a.L			
			.alpha.-Cadinol	72908	000481-34-5	99
			2(1H)-Azulenone, 4,5,6,7,8,8a-hexa	32132	055103-73-6	50
			hydro-8a-methyl-, (S)-			
			Cyclohexane, 1-ethenyl-1-methyl-2-	59967	003242-08-8	46
			(1-methylethenyl)-4-(1-methylethyl			
			idene)-			
37	51.064	0.28	C:\Database\NIST05a.L			
			2,6,11,15-Tetramethyl-hexadeca-2,6	107082	038259-79-9	90
			,8,10,14-pentaene			
			Cyclopentane, bromo-	22041	000137-43-9	27
			1,3,6,10-Cyclotetradecatetraene, 3	107098	001898-13-1	25
			,7,11-trimethyl-14-(1-methylethyl)			
			-, [S-(E,Z,E,E)]-			
38	51.346	1.06	C:\Database\NIST05a.L			
			1H-Cycloprop[e]azulen-4-ol, decahy	73029	000552-02-3	90
			dro-1,1,4,7-tetramethyl-, [1ar-(1a			
			.alpha.,4.beta.,4a.beta.,7.alpha.,			
			7a.beta.,7b.alpha.)]-			
			Epiqlobulol	72900	1000150-05-1	41
			cis, cis-2-Ethylbicyclo[4.4.0]deca	33550	066660-40-0	30
			ne			
39	53.365	3.19	C:\Database\NIST05a.L			
			Phenol, 4-(2-propenyl)-	14802	000501-92-8	97
			Phenol, 4-(2-propenyl)-	14803	000501-92-8	94
			Benzaldehyde, 4-ethyl-	14797	004748-78-1	70
40	59.110	0.22	C:\Database\NIST05a.L			
			Phenol, 2,6-dimethoxy-4-(2-propeny	52459	006627-88-9	98

ACEITES ESE...WAX SCAN 2.M Fri Nov 25 08:50:06 2016

Fuente: Instituto de Investigaciones, CIB/Departamento de Química, LIQA/UVG. Consulta: 26 de febrero de 2016.

Anexo 2. Cromatografía de gases con acoplamiento a espectrometría de masas GC-MS para extracto de frutos Campur

File : C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\USAC\Tesis extractos\161123-00003
... .D
Operator : AdeM
Instrument : GC-MSD
Acquired : 23 Nov 2016 16:54 using AcqMethod ACEITES ESENCIALES MCS DB-WAX SCAN 2.M
Sample Name: Carcha frutos
Misc Info : Carcha frutos



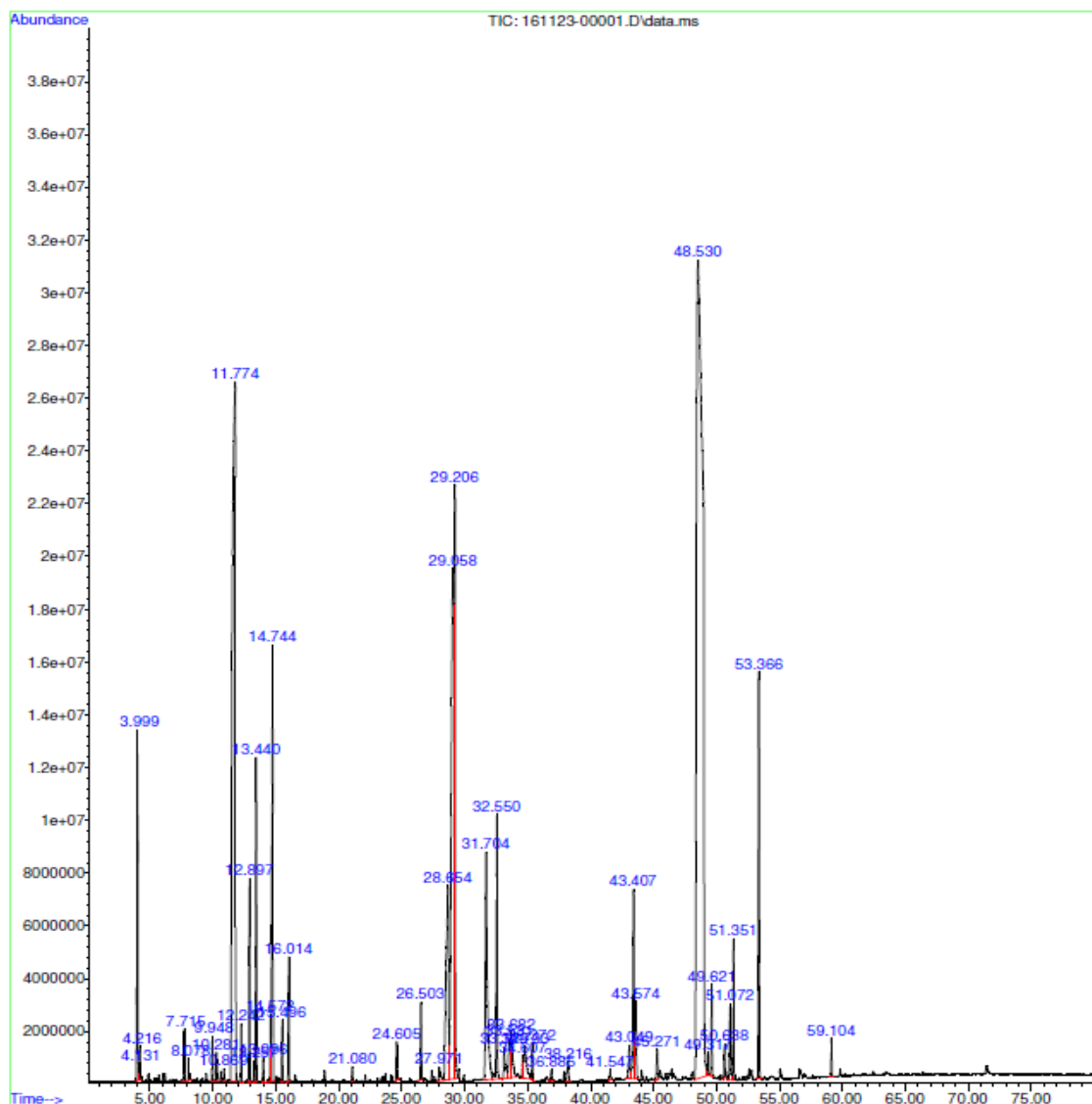
Continuación del anexo 2.

LIQA				Library Search Report		
Data Path : C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\USAC\Tesis extractos\						
Data File : 161123-00003.D						
Title :						
Acq On : 23 Nov 2016 16:54						
Operator : AdeM						
Sample : Carcha frutos						
Misc : Carcha frutos						
ALS Vial : 3 Sample Multiplier: 1						
Search Libraries: C:\Database\NIST05a.L				Minimum Quality: 0		
Unknown Spectrum: Apex						
Integration Events: ChemStation Integrator - autointA.e						
Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
33	43.568	1.86	C:\Database\NIST05a.L			
			Benzene, 1,2-dimethoxy-4-(2-propenyl)-	41487	000093-15-2	96
			Benzene, 1,2-dimethoxy-4-(2-propenyl)-	41492	000093-15-2	96
			Benzene, 1,2-dimethoxy-4-(2-propenyl)-	41486	000093-15-2	94
34	45.196	0.31	C:\Database\NIST05a.L			
			3-Cyclohexen-1-carboxaldehyde, 3,4-dimethyl-	17043	1000131-99-4	91
			12-Oxabicyclo[9.1.0]dodeca-3,7-diene, 1,5,5,8-tetramethyl-, [1R-(1R*,3E,7E,11R*)]-	71453	019888-34-7	74
			3,5-Dimethylcyclohex-1-ene-4-carboxaldehyde	17040	006975-94-6	62
35	47.971	0.29	C:\Database\NIST05a.L			
			1H-Cycloprop[e]azulen-7-ol, decahydro-1,1,7-trimethyl-4-methylene-, [1ar-(1a.alpha.,4a.alpha.,7.beta.,7a.beta.,7b.alpha.)]-	71465	006750-60-3	92
			(-)-Spathulenol	71327	077171-55-2	90
			1H-Cycloprop[e]azulen-7-ol, decahydro-1,1,7-trimethyl-4-methylene-, [1ar-(1a.alpha.,4a.alpha.,7.beta.,7a.beta.,7b.alpha.)]-	71464	006750-60-3	90
36	48.526	43.13	C:\Database\NIST05a.L			
			3-Allyl-6-methoxyphenol	31757	000501-19-9	98
			Eugenol	31714	000097-53-0	98
37	49.299	0.12	Phenol, 2-methoxy-3-(2-propenyl)-	31835	001941-12-4	97
			C:\Database\NIST05a.L			
			Eugenol	31714	000097-53-0	95
38	49.622	0.49	Phenol, 2-methoxy-4-(1-propenyl)-	31833	000097-54-1	83
			3-Allyl-6-methoxyphenol	31757	000501-19-9	64
			C:\Database\NIST05a.L			
39	50.641	0.17	2,6,11,15-Tetramethyl-hexadeca-2,6,8,10,14-pentaene	107082	038259-79-9	90
			Hexadeca-2,6,10,14-tetraen-1-ol, 3,7,11,16-tetramethyl-, (E,E,E)-	118745	007614-21-3	53
			1H-Cycloprop[e]azulene, decahydro-1,1,7-trimethyl-4-methylene-, [1aR-(1a.alpha.,4a.alpha.,7.alpha.,7a.beta.,7b.alpha.)]-	60079	000489-39-4	44
			C:\Database\NIST05a.L			
40	51.082	0.49	.alpha.-Cadinol	72908	000481-34-5	99
			Cyclohexane, 1-ethenyl-1-methyl-2-(1-methylethenyl)-4-(1-methylethylidene)-	59967	003242-08-8	38
			2(1H)-Azulenone, 4,5,6,7,8,8a-hexahydro-8a-methyl-, (S)-	32132	055103-73-6	38
40	51.082	0.49	C:\Database\NIST05a.L			
ACEITES ESE...WAX SCAN 2.M Fri Nov 25 08:58:34 2016						

Fuente: Instituto de Investigaciones, CIB/Departamento de Química, LIQA/UVG. Consulta: 26 de febrero de 2016.

Anexo 3. Cromatografía de gases con acoplamiento a espectrometría de masas GC-MS para extracto de frutos Cahabón

File :C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\USAC\Tesis extractos\161123-00001
... .D
Operator : AdeM
Instrument : GC-MSD
Acquired : 23 Nov 2016 14:00 using AcqMethod ACEITES ESENCIALES MCS DB-WAX SCAN 2.M
Sample Name: Cahabon frutos
Misc Info : Cahabon frutos



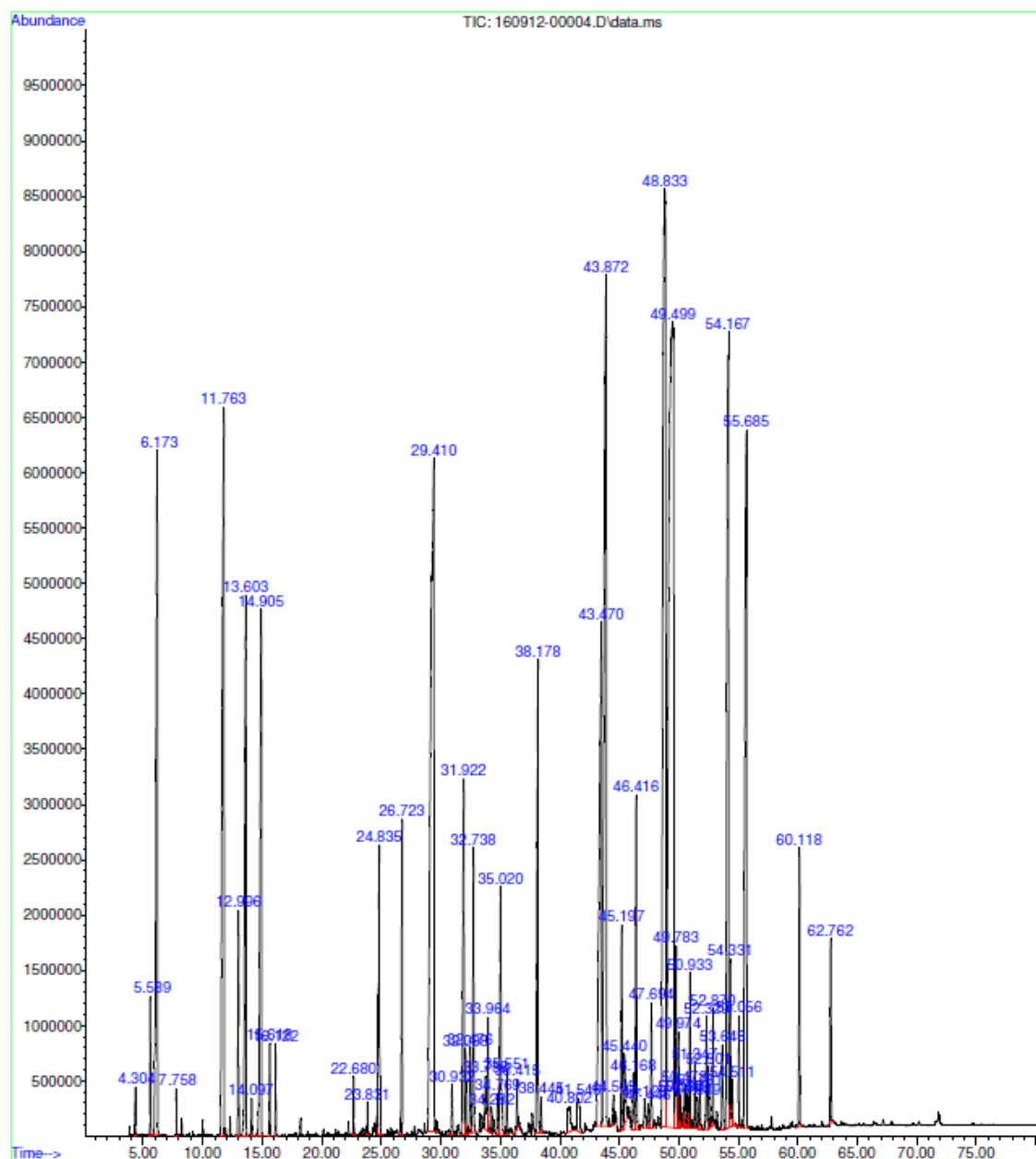
Continuación del anexo 3.

LIQA				Library Search Report		
Data Path : C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\USAC\Tesis extractos\						
Data File : 161123-00001.D						
Title :						
Acq On : 23 Nov 2016 14:00						
Operator : AdaM						
Sample : Cahabon frutos						
Misc : Cahabon frutos						
ALS Vial : 1 Sample Multiplier: 1						
Search Libraries: C:\Database\NIST05a.L				Minimum Quality: 0		
Unknown Spectrum: Apex						
Integration Events: ChemStation Integrator - autointA.e						
PK#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
			Benzoic acid, 2-hydroxy-, methyl ester	24832	000119-36-8	97
			Benzoic acid, 2-hydroxy-, methyl ester	24827	000119-36-8	96
			Benzoic acid, 2-hydroxy-, methyl ester	24831	000119-36-8	96
34	36.886	0.08	C:\Database\NIST05a.L			
			2,6-Dimethyl-3,5,7-octatriene-2-ol, E,E-	24184	1000141-11-8	93
			2,6-Dimethyl-3,5,7-octatriene-2-ol, Z,Z-	24180	1000141-11-9	91
			6-(3-Methyl-3-cyclohexenyl)-2-methyl-2,6-heptadienol	71408	018681-09-9	35
35	38.214	0.21	C:\Database\NIST05a.L			
			Phenol, 2-methoxy-Mequinol	10081	000090-05-1	95
			Mequinol	10072	000150-76-5	91
			Mequinol	10073	000150-76-5	91
36	41.548	0.06	C:\Database\NIST05a.L			
			Phenol, 2-methoxy-4-methyl-2-Methoxy-5-methylphenol	16763	000093-51-6	97
			Phenol, 2-methoxy-4-methyl-2-Methoxy-5-methylphenol	16758	000093-51-6	96
			Phenol, 2-methoxy-4-methyl-2-Methoxy-5-methylphenol	16728	001195-09-1	94
37	43.049	0.33	C:\Database\NIST05a.L			
			Caryophyllene oxide	71353	001139-30-6	94
			3-Methylene-1,6-heptadiene	5313	016626-48-5	80
			3-Tridecen-1-yne, (E)-	41732	074744-41-5	45
38	43.408	1.70	C:\Database\NIST05a.L			
			Caryophyllene oxide	71350	001139-30-6	94
			Caryophyllene oxide	71353	001139-30-6	91
			Cyclohexene, 5-methyl-3-(1-methylethenyl)-, trans-(-)-	15382	056816-08-1	50
39	43.572	0.78	C:\Database\NIST05a.L			
			Benzene, 1,2-dimethoxy-4-(2-propenyl)-	41487	000093-15-2	96
			Benzene, 1,2-dimethoxy-4-(2-propenyl)-	41492	000093-15-2	96
			Benzene, 1,2-dimethoxy-4-(2-propenyl)-	41486	000093-15-2	94
40	45.269	0.26	C:\Database\NIST05a.L			
			12-Oxabicyclo[9.1.0]dodeca-3,7-diene, 1,5,5,8-tetramethyl-, [1R*(3E,7E,11R*)]-	71453	019888-34-7	74
			2-Cyclohexen-1-one, 4-(1-methylethenyl)-	17020	000500-02-7	60
			3-Cyclohexen-1-carboxaldehyde, 3,4-dimethyl-	17043	1000131-99-4	60
41	48.530	38.23	C:\Database\NIST05a.L			
			3-Allyl-6-methoxyphenol	31757	000501-19-9	98
			Eugenol	31714	000097-53-0	98
			Phenol, 2-methoxy-3-(2-propenyl)-	31835	001941-12-4	97
ACEITES ESE...WAX SCAN 2.M Fri Nov 25 08:46:46 2016						

Fuente: Instituto de Investigaciones, CIB/Departamento de Química, LIQA/UVG. Consulta: 26 de febrero de 2016.

Anexo 4. Cromatografía de gases con acoplamiento a espectrometría de masas GC-MS para extracto de hojas Campur

File :C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\USAC\Pimienta gorda\160912-00004.D
 Operator :
 Acquired : 13 Sep 2016 9:11 using AcqMethod ACEITES ESENCIALES MCS DB-WAX SCAN 2.M
 Instrument : GC-MSD
 Sample Name: Aceite pimienta gorda
 Misc Info : Campur hoja 1
 Vial Number: 1



Continuación del anexo 4.

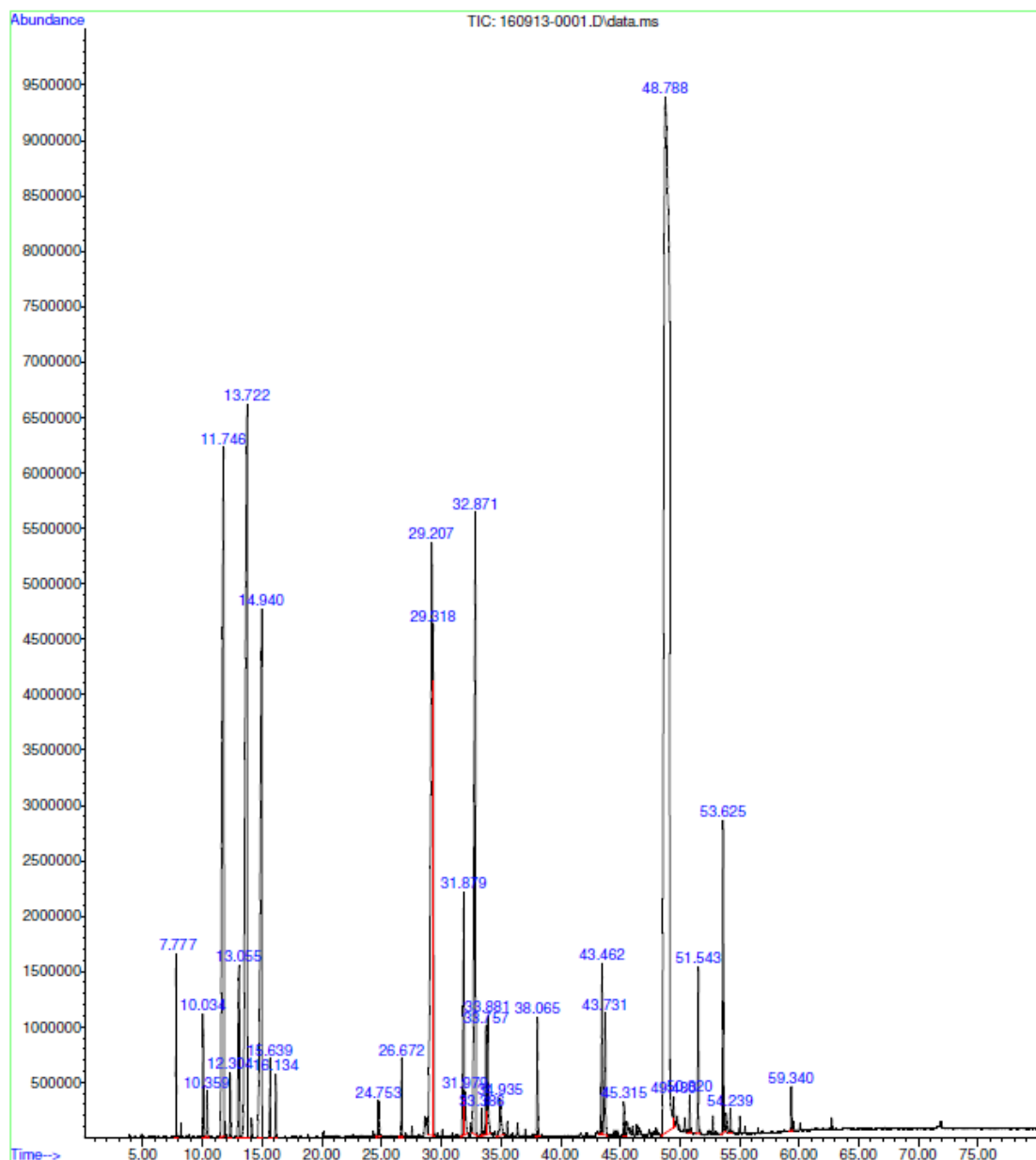
LIQA Library Search Report						
Data Path : C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\USAC\Pimienta gorda\ Data File : 160912-00004.D Title : Acq On : 13 Sep 2016 9:11 Operator : Sample : Aceite pimienta gorda Misc : Campur hoja 1 ALS Vial : 1 Sample Multiplier: 1 Samp. Amt.: 1						
Search Libraries: C:\Database\NIST05a.L Minimum Quality: 0						
Unknown Spectrum: Apex Integration Events: ChemStation Integrator - autointA.e						
Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
			1H-Indene, 1-ethylideneoctahydro-7 a-methyl-, (1Z,3a.alpha.,7a.beta.)	32243	056324-69-7	58
			2,5-Cyclohexadiene-1,4-dione, 2-(1 ,1-dimethylethyl)-	31928	003602-55-9	47
41	47.448	0.11	C:\Database\NIST05a.L 1,4-Dimethyladamantane, [1.alpha., 3.beta., 4.beta., 5.alpha., 7.bet a.]	32244	024145-88-8	35
			1,3-Cyclohexadiene, 1,2,3,4,5,6-he xamethyl-	32215	1000152-09-6	30
			Benzenemethanol, 4-(1,1-dimethylet hyl)-	32075	000877-65-6	30
42	47.693	0.51	C:\Database\NIST05a.L 1H-Cycloprop[e]azulen-7-ol, decahy dro-1,1,7-trimethyl-4-methylene-, [1ar-(1a.alpha.,4a.alpha.,7.beta., 7a.beta.,7b.alpha.)]-	71464	006750-60-3	94
			1H-Cycloprop[e]azulen-7-ol, decahy dro-1,1,7-trimethyl-4-methylene-, [1ar-(1a.alpha.,4a.alpha.,7.beta., 7a.beta.,7b.alpha.)]-	71465	006750-60-3	93
			(-)-Spathulenol	71327	077171-55-2	64
43	48.830	11.35	C:\Database\NIST05a.L 3-Allyl-6-methoxyphenol Eugenol Phenol, 2-methoxy-4-(1-propenyl)-, (E)-	31757 31716 31883	000501-19-9 000097-53-0 005932-68-3	98 97 96
44	49.499	17.19	C:\Database\NIST05a.L Benzene, 1,2-dimethoxy-4-(1-propen yl)- Benzene, 1,2-dimethoxy-4-(1-propen yl)- Benzene, 1,2-dimethoxy-4-(1-propen yl)-	41489 41491 41485	000093-16-3 000093-16-3 000093-16-3	96 95 94
45	49.781	0.58	C:\Database\NIST05a.L Bicyclo[4.4.0]dec-1-ene, 2-isoprop yl-5-methyl-9-methylene- Naphthalene, 1,2,3,4,4a,5,6,8a-oct ahydro-7-methyl-4-methylene-1-(1-m ethylethyl)-, (1.alpha.,4a.beta.,8 a.alpha.)-	59918 60062	150320-52-8 039029-41-9	76 55
			Copaene	59780	003856-25-5	51
46	49.972	0.29	C:\Database\NIST05a.L Naphthalene, 1,2,3,4,4a,5,6,8a-oct ahydro-7-methyl-4-methylene-1-(1-m ethylethyl)-, (1.alpha.,4a.beta.,8 a.alpha.)-	60057	039029-41-9	68
			Naphthalene, 1,2,3,4,4a,5,6,8a-oct ahydro-7-methyl-4-methylene-1-(1-m ethylethyl)-, (1.alpha.,4a.beta.,8 a.alpha.)-	60062	039029-41-9	62

ACEITES ESE...WAX SCAN 2.M Fri Sep 16 09:00:32 2016

Fuente: Instituto de Investigaciones, CIB/Departamento de Química, LIQA/UVG. Consulta: 26 de febrero de 2016.

Anexo 5. **Cromatografía de gases con acoplamiento a espectrometría de masas GC-MS para extracto de hojas Carchá**

File :C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\160913-0001.D
Operator : AdeM
Acquired : 13 Sep 2016 13:57 using AcqMethod ACEITES ESENCIALES MCS DB-WAX SCAN 2.M
Instrument : GC-MSD
Sample Name: Pimienta qorda
Misc Info : Carcha hoja 1
Vial Number: 1



Continuación del anexo 5.

LIQA Library Search Report

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\
Data File : 160913-0001.D
Title :
Acq On : 13 Sep 2016 13:57
Operator : AdeM
Sample : Pimienta gorda
Misc : Carcha hoja 1
ALS Vial : 1 Sample Multiplier: 1

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

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

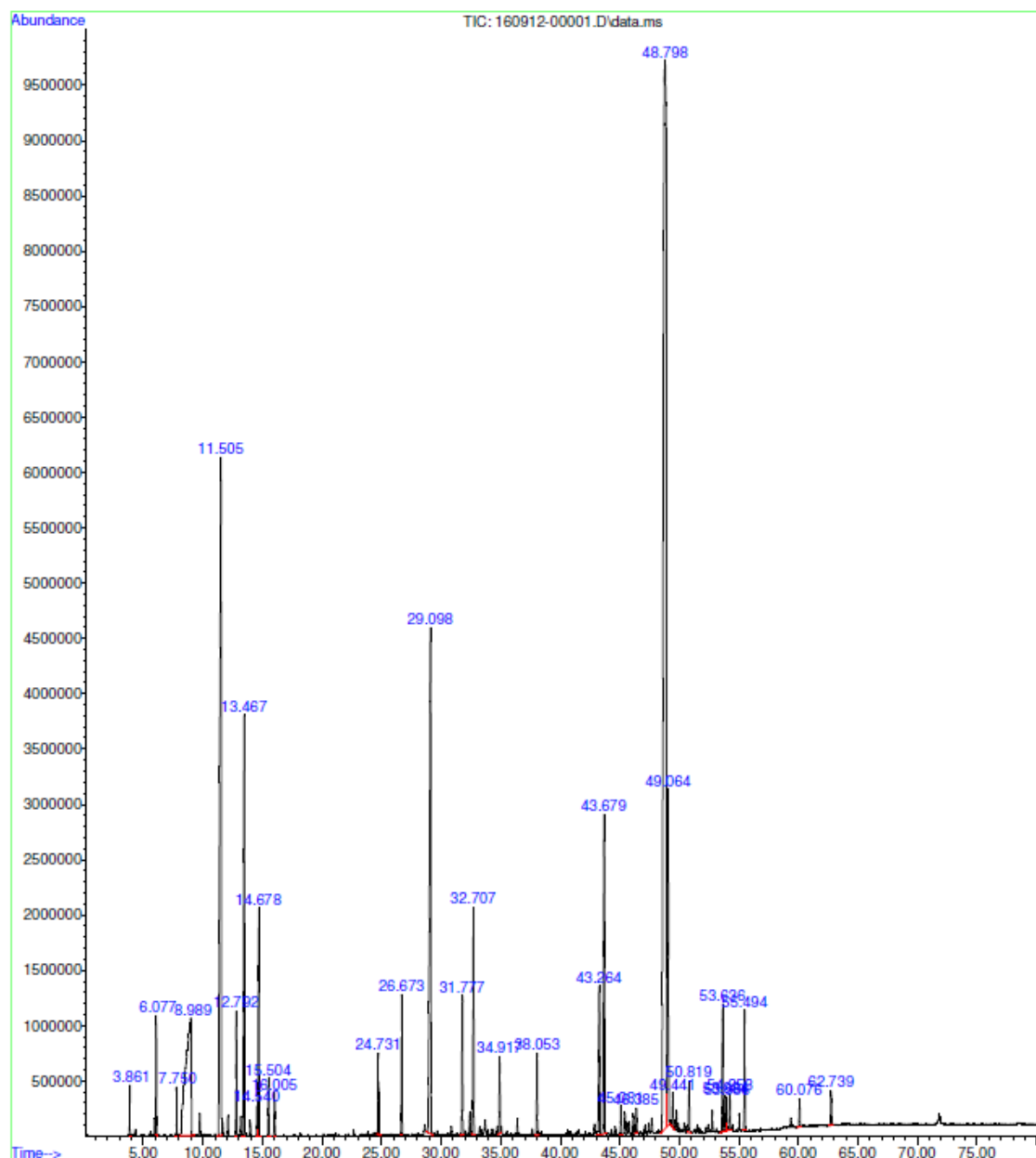
Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
25	45.314	0.21	C:\Database\NIST05a.L 12-Oxabicyclo[9.1.0]dodeca-3,7-diene, 1,5,5,8-tetramethyl-, [1R-(1R*,3E,7E,11R*)]- 3,5-Dimethylcyclohex-1-ene-4-carboxaldehyde Naphthalene, decahydro-, cis-	71453 17040 16344	019888-34-7 006975-94-6 000493-01-6	68 62 58
26	48.789	39.76	C:\Database\NIST05a.L 3-Allyl-6-methoxyphenol Eugenol Phenol, 2-methoxy-4-(1-propenyl)-, (E)-	31757 31716 31883	000501-19-9 000097-53-0 005932-68-3	98 98 97
27	49.481	0.18	C:\Database\NIST05a.L Eugenol Phenol, 2-methoxy-4-(1-propenyl)-, (E)- Eugenol	31715 31885 31716	000097-53-0 005932-68-3 000097-53-0	91 60 55
28	50.818	0.18	C:\Database\NIST05a.L .alpha.-Cadinol 5,6,7,8-Tetramethylbicyclo[4.1.0]hept-4-en-3-one 7-Oxabicyclo[4.1.0]heptane, 1-methyl-4-(1-methylethenyl)-	72908 32116 24329	000481-34-5 1000110-53-8 001195-92-2	97 30 25
29	51.541	0.87	C:\Database\NIST05a.L 1H-3a,7-Methanoazulene, 2,3,6,7,8,8a-hexahydro-1,4,9,9-tetramethyl-, (1.alpha.,3a.alpha.,7.alpha.,8a.beta.)- 1,4-Methanoazulen-9-ol, decahydro-1,5,5,8a-tetramethyl-, [1R-(1.alpha.,3a.beta.,4.alpha.,8a.beta.,9S*)]- 1H-Cycloprop[e]azulen-4-ol, decahydro-1,1,4,7-tetramethyl-, [1a.alpha.,4.beta.,4a.beta.,7.alpha.,7a.beta.,7b.alpha.)]-	60044 73004 73029	000560-32-7 000465-24-7 000552-02-3	78 53 51
30	53.625	1.58	C:\Database\NIST05a.L Phenol, 4-(2-propenyl)- Phenol, 4-(2-propenyl)- Benzaldehyde, 4-ethyl-	14802 14803 14797	000501-92-8 000501-92-8 004748-78-1	95 94 64
31	54.239	0.13	C:\Database\NIST05a.L 2,6,10-Dodecatrien-1-ol, 3,7,11-trimethyl- 2,6,10-Dodecatrien-1-ol, 3,7,11-trimethyl- 2,6,10-Dodecatrien-1-ol, 3,7,11-trimethyl-, (Z,E)-	72937 72935 72947	004602-84-0 004602-84-0 003790-71-4	90 86 86
32	59.342	0.21	C:\Database\NIST05a.L Phenol, 2,6-dimethoxy-4-(2-propenyl)-	52459	006627-88-9	98

ACEITES ESE...WAX SCAN 2.M Fri Sep 16 09:10:19 2016

Fuente: Instituto de Investigaciones, CIB/Departamento de Química, LIQA/UVG. Consulta: 26 de febrero de 2016.

Anexo 6. Cromatografía de gases con acoplamiento a espectrometría de masas GC-MS para extracto de hojas Cahabón

File :C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\USAC\Pimienta gorda\160912-00001.D
 Operator :
 Acquired : 12 Sep 2016 12:55 using AcqMethod ACEITES ESENCIALES MCS DB-WAX SCAN 2.M
 Instrument : GC-MSD
 Sample Name: Aceite pimienta gorda
 Misc Info : Cahabon hoja 1
 Vial Number: 1



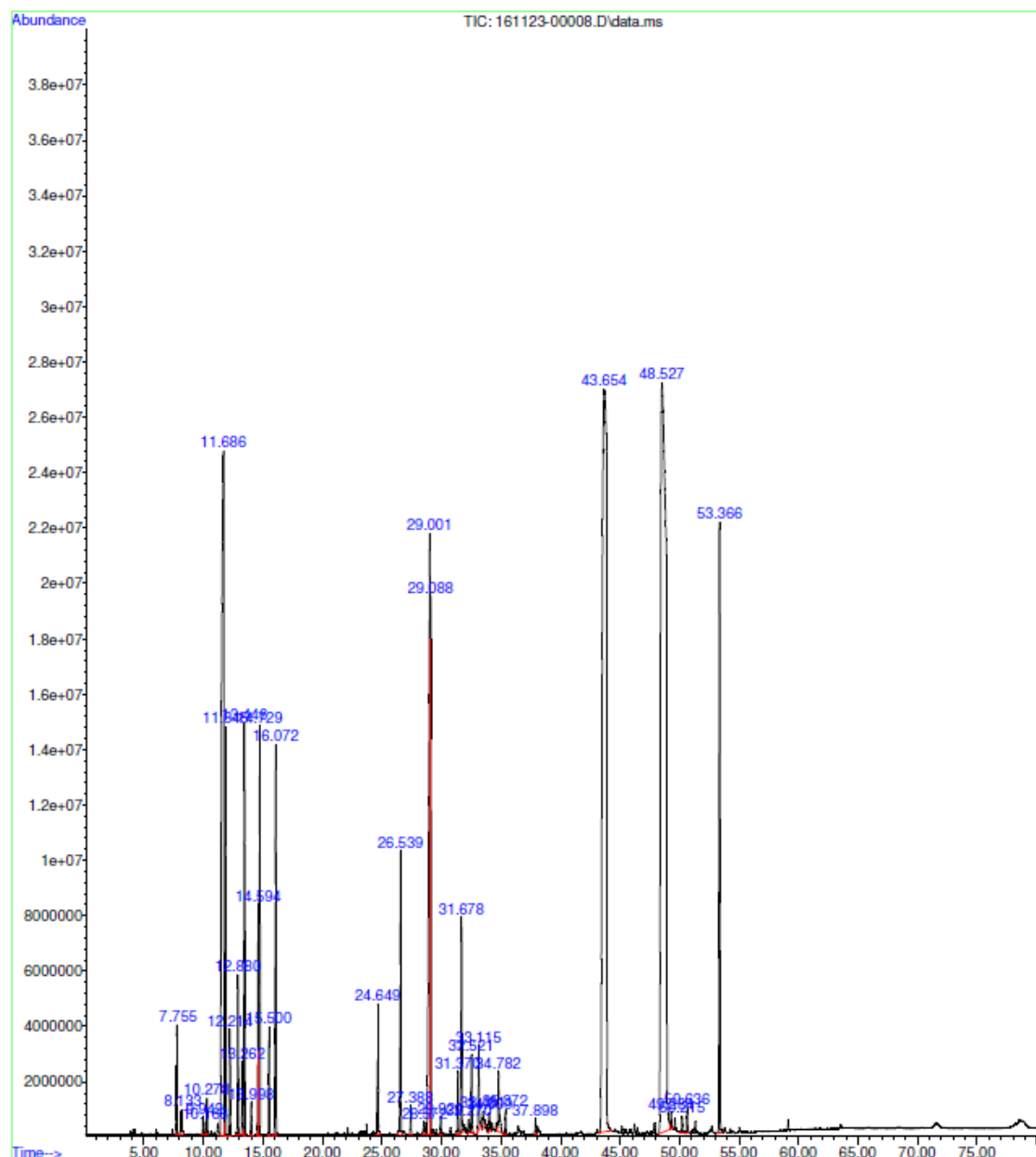
Continuación del anexo 6.

LIQA				Library Search Report		
Data Path : C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\USAC\Pimienta gorda\ Data File : 160912-00001.D Title : Acq On : 12 Sep 2016 12:55 Operator : Sample : Aceite pimienta gorda Misc : Cahabon hoja 1 ALS Vial : 1 Sample Multiplier: 1 Samp. Amt.: 1						
Search Libraries: C:\Database\NIST05a.L				Minimum Quality: 0		
Unknown Spectrum: Apex Integration Events: ChemStation Integrator - autointA.e						
Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
			Caryophyllene oxide	71350	001139-30-6	81
			Cyclohexene, 3-methyl-6-(1-methylethenyl)-, (3R-trans)-	15383	005113-87-1	50
20	43.677	3.63	C:\Database\NIST05a.L			
			Benzene, 1,2-dimethoxy-4-(2-propenyl)-	41487	000093-15-2	97
			Benzene, 1,2-dimethoxy-4-(2-propenyl)-	41492	000093-15-2	97
			Benzene, 1,2-dimethoxy-4-(2-propenyl)-	41486	000093-15-2	94
21	45.082	0.26	C:\Database\NIST05a.L			
			12-Oxabicyclo[9.1.0]dodeca-3,7-diene, 1,5,5,8-tetramethyl-, [1R-(1R*,3E,7E,11R*)]-	71453	019888-34-7	83
			o-Menth-8-ene	16285	015193-25-6	60
			3,5-Dimethylcyclohex-1-ene-4-carboxaldehyde	17040	006975-94-6	58
22	46.383	0.22	C:\Database\NIST05a.L			
			2,3-Epoxypropyl 3,5-xylyl ether	41426	004287-30-3	46
			Benzene, 1,2-dimethoxy-4-(1-propenyl)-	41485	000093-16-3	42
			Benzene, 1,2-dimethoxy-4-(2-propenyl)-	41488	000093-15-2	38
23	48.799	41.55	C:\Database\NIST05a.L			
			3-Allyl-6-methoxyphenol	31757	000501-19-9	98
			Eugenol	31716	000097-53-0	98
			Eugenol	31714	000097-53-0	97
24	49.062	3.46	C:\Database\NIST05a.L			
			Benzene, 1,2-dimethoxy-4-(1-propenyl)-	41489	000093-16-3	96
			Benzene, 1,2-dimethoxy-4-(1-propenyl)-	41490	000093-16-3	94
			Benzene, 1,2-dimethoxy-4-(1-propenyl)-	41491	000093-16-3	93
25	49.440	0.27	C:\Database\NIST05a.L			
			.alpha.-Cadinol	72908	000481-34-5	93
			.tau.-Muuroiolol	72907	019912-62-0	64
			1,4-Methano-1H-indene, octahydro-1,7a-dimethyl-4-(1-methylethenyl)-, [1S-(1.alpha.,3a.beta.,4.alpha.,7a.beta.)]-	60055	087064-18-4	55
26	50.818	0.45	C:\Database\NIST05a.L			
			1,5,6,7-Tetramethylbicyclo[3.2.0]hept-6-en-3-one	32115	120345-87-1	20
			2-Methoxyphenylacetone	31742	005211-62-1	18
			Ethanone, 1-(4-ethoxyphenyl)-	31781	001676-63-7	18
27	53.634	1.06	C:\Database\NIST05a.L			
			Phenol, 4-(2-propenyl)-	14802	000501-92-8	97
			Phenol, 4-(2-propenyl)-	14803	000501-92-8	94
ACEITES ESE...WAX SCAN 2.M Tue Sep 13 09:54:30 2016						

Fuente: Instituto de Investigaciones, CIB/Departamento de Química, LIQA/UVG. Consulta: 26 de febrero de 2016.

Anexo 7. Cromatografía de gases con acoplamiento a espectrometría de masas GC-MS para extracto de frutos San Luis

File :C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\USAC\Tesis extractos\161123-00008
D
 Operator : AdeM
 Instrument : GC-MSD
 Acquired : 24 Nov 2016 00:12 using AcqMethod ACEITES ESENCIALES MCS DB-WAX SCAN 2.M
 Sample Name: San Luis frutos
 Misc Info : San Luis frutos



Continuación del anexo 7.

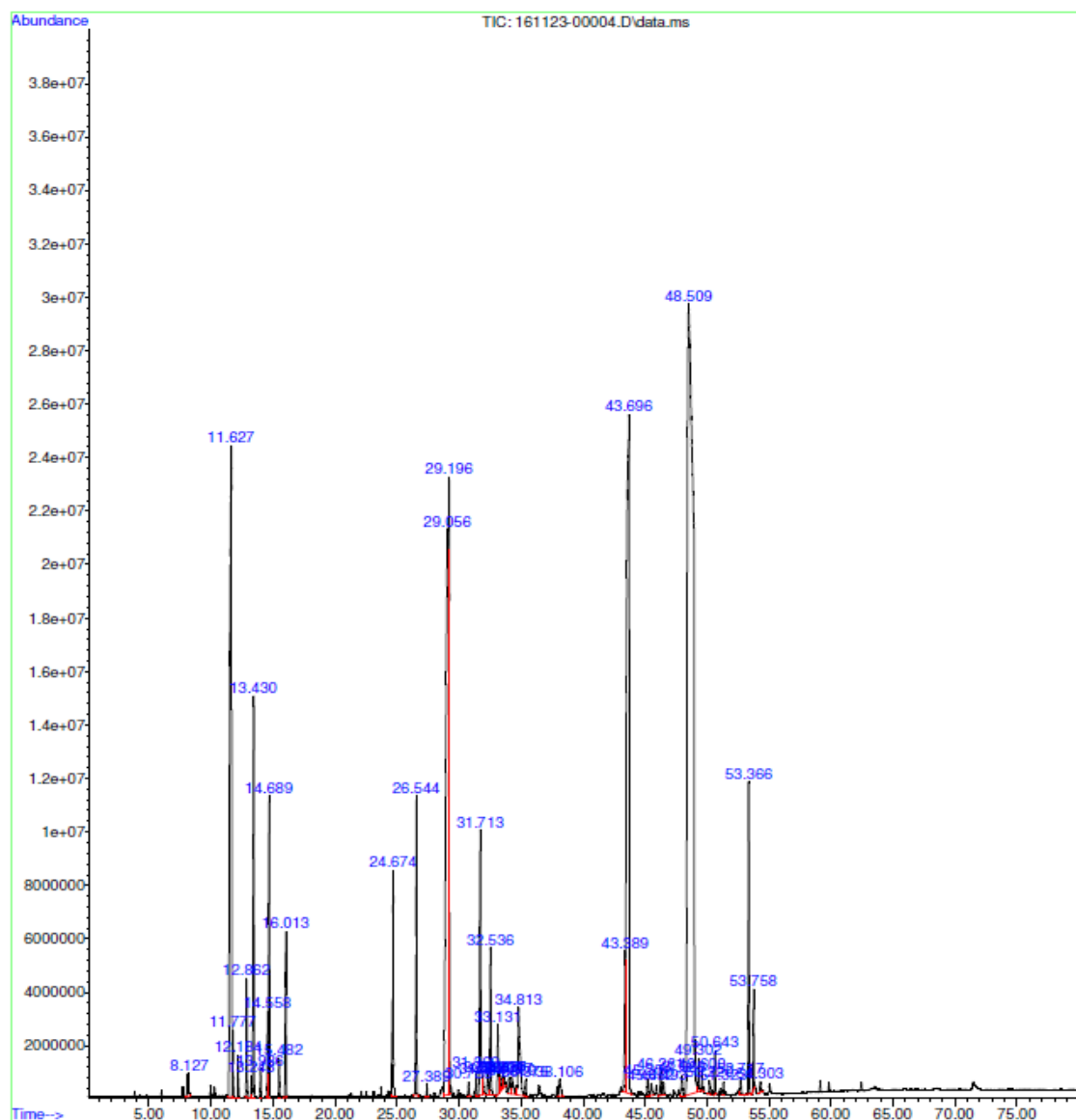
LIQA				Library Search Report		
Data Path : C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\USAC\Tesis extractos\						
Data File : 161123-00008.D						
Title :						
Acq On : 24 Nov 2016 00:12						
Operator : AdeM						
Sample : San Luis frutos						
Misc : San Luis frutos						
ALS Vial : 8 Sample Multiplier: 1						
Search Libraries: C:\Database\NIST05a.L				Minimum Quality: 0		
Unknown Spectrum: Apex						
Integration Events: ChemStation Integrator - autointA.e						
Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
ster						
33	37.900	0.07	C:\Database\NIST05a.L			
			Benzenemethanol, .alpha.,.alpha.,4	22882	001197-01-9	97
			-trimethyl-			
			3-Methyl-4-isopropylphenol	22746	003228-02-2	59
			Silane, trimethylphenyl-	23622	000768-32-1	58
34	43.654	24.74	C:\Database\NIST05a.L			
			Benzene, 1,2-dimethoxy-4-(2-propen	41492	000093-15-2	96
			yl)-			
			Benzene, 1,2-dimethoxy-4-(2-propen	41487	000093-15-2	96
			yl)-			
			Benzene, 1,2-dimethoxy-4-(2-propen	41488	000093-15-2	95
			yl)-			
35	48.526	30.39	C:\Database\NIST05a.L			
			3-Allyl-6-methoxyphenol	31757	000501-19-9	98
			Eugenol	31714	000097-53-0	98
			Phenol, 2-methoxy-3-(2-propenyl)-	31835	001941-12-4	97
36	49.285	0.10	C:\Database\NIST05a.L			
			3-Allyl-6-methoxyphenol	31757	000501-19-9	95
			Eugenol	31716	000097-53-0	90
			Eugenol	31714	000097-53-0	89
37	50.213	0.09	C:\Database\NIST05a.L			
			Benzene, 1,2,3-trimethoxy-5-(2-pro	62665	000487-11-6	94
			penyl)-			
			Benzene, 1,2,3-trimethoxy-5-(2-pro	62666	000487-11-6	93
			penyl)-			
			Benzene, 1,2,3-trimethoxy-5-(2-pro	62664	000487-11-6	90
			penyl)-			
38	50.636	0.12	C:\Database\NIST05a.L			
			.alpha.-Cadinol	72908	000481-34-5	97
			Acenaphthylene, dodecahydro-	32191	002146-36-3	43
			Cyclohexane, 1-ethenyl-1-methyl-2-	59967	003242-08-8	43
			(1-methylethenyl)-4-(1-methylethyl			
			idene)-			
39	53.365	3.48	C:\Database\NIST05a.L			
			Phenol, 4-(2-propenyl)-	14802	000501-92-8	97
			Phenol, 4-(2-propenyl)-	14803	000501-92-8	94
			Benzaldehyde, 4-ethyl-	14797	004748-78-1	62

ACEITES ESE...WAX SCAN 2.M Fri Nov 25 09:11:52 2016

Fuente: Instituto de Investigaciones, CIB/Departamento de Química, LIQA/UVG. Consulta: 26 de febrero de 2016.

Anexo 8. Cromatografía de gases con acoplamiento a espectrometría de masas GC-MS para extracto de frutos Dolores

File : C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\USAC\Tesis extractos\161123-00004
 ...
 Operator : AdeM
 Instrument : GC-MSD
 Acquired : 23 Nov 2016 18:21 using AcqMethod ACEITES ESENCIALES MCS DB-WAX SCAN 2.M
 Sample Name: Dolores frutos
 Misc Info : Dolores frutos



Continuación del anexo 8.

LIQA				Library Search Report	
Data Path :	C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\USAC\Tesis extractos\				
Data File :	161123-00004.D				
Title :					
Acq On :	23 Nov 2016 18:21				
Operator :	AdeM				
Sample :	Dolores frutos				
Misc :	Dolores frutos				
ALS Vial :	4 Sample Multiplier: 1				
Search Libraries:	C:\Database\NIST05a.L			Minimum Quality:	0
Unknown Spectrum:	Apex				
Integration Events:	ChemStation Integrator - autointA.e				
PK#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS# Qual
			1H-Cycloprop[e]azulen-7-ol, decahy dro-1,1,7-trimethyl-4-methylene-, [1ar-(1a.alpha.,4a.alpha.,7.beta., 7a.beta.,7b.alpha.)]- (-)-Spathulenol	71464	006750-60-3 94
			1H-Cycloprop[e]azulen-7-ol, decahy dro-1,1,7-trimethyl-4-methylene-, [1ar-(1a.alpha.,4a.alpha.,7.beta., 7a.beta.,7b.alpha.)]-	71327	077171-55-2 91
				71465	006750-60-3 64
40	48.508	36.84	C:\Database\NIST05a.L 3-Allyl-6-methoxyphenol Eugenol Phenol, 2-methoxy-3-(2-propenyl)-	31757 31714 31835	000501-19-9 98 000097-53-0 98 001941-12-4 97
41	49.304	0.20	C:\Database\NIST05a.L 4-Cyclopentene-1,3-dione, 4-(3-met hyl-2-butenyl)- Phenol, 2-methoxy-3-(2-propenyl)- 1,4-Methano-1H-indene, octahydro-1 ,7a-dimethyl-4-(1-methylethenyl)-, [1S-(1.alpha.,3a.beta.,4.alpha.,7 a.beta.)]-	31923 31835 60055	058940-75-3 46 001941-12-4 42 087064-18-4 42
42	49.599	0.11	C:\Database\NIST05a.L Naphthalene, 1,2,3,4,4a,5,6,8a-oct ahydro-7-methyl-4-methylene-1-(1-m ethylethyl)-, (1.alpha.,4a.alpha., 8a.alpha.)- Naphthalene, 1,2,3,4,4a,5,6,8a-oct ahydro-7-methyl-4-methylene-1-(1-m ethylethyl)-, (1.alpha.,4a.alpha., 8a.alpha.)- Naphthalene, 1,2,3,4,4a,5,6,8a-oct ahydro-7-methyl-4-methylene-1-(1-m ethylethyl)-, (1.alpha.,4a.beta.,8 a.alpha.)-	60070 60068 60062	030021-74-0 95 030021-74-0 95 039029-41-9 94
43	50.218	0.08	C:\Database\NIST05a.L Benzene, 1,2,3-trimethoxy-5-(2-pro penyl)- Benzene, 1,2,3-trimethoxy-5-(2-pro penyl)- Benzene, 1,2,3-trimethoxy-5-(2-pro penyl)-	62664 62666 62665	000487-11-6 94 000487-11-6 93 000487-11-6 93
44	50.645	0.26	C:\Database\NIST05a.L .alpha.-Cadinol 1H-Cycloprop[e]azulen-4-ol, decahy dro-1,1,4,7-tetramethyl-, [1ar-(1a .alpha.,4.beta.,4a.beta.,7.alpha., 7a.beta.,7b.alpha.)]- Cyclohexane, 1-ethenyl-1-methyl-2- (1-methylethenyl)-4-(1-methylethyl idene)-	72908 73029 59967	000481-34-5 96 000552-02-3 43 003242-08-8 38
45	51.323	0.07	C:\Database\NIST05a.L		

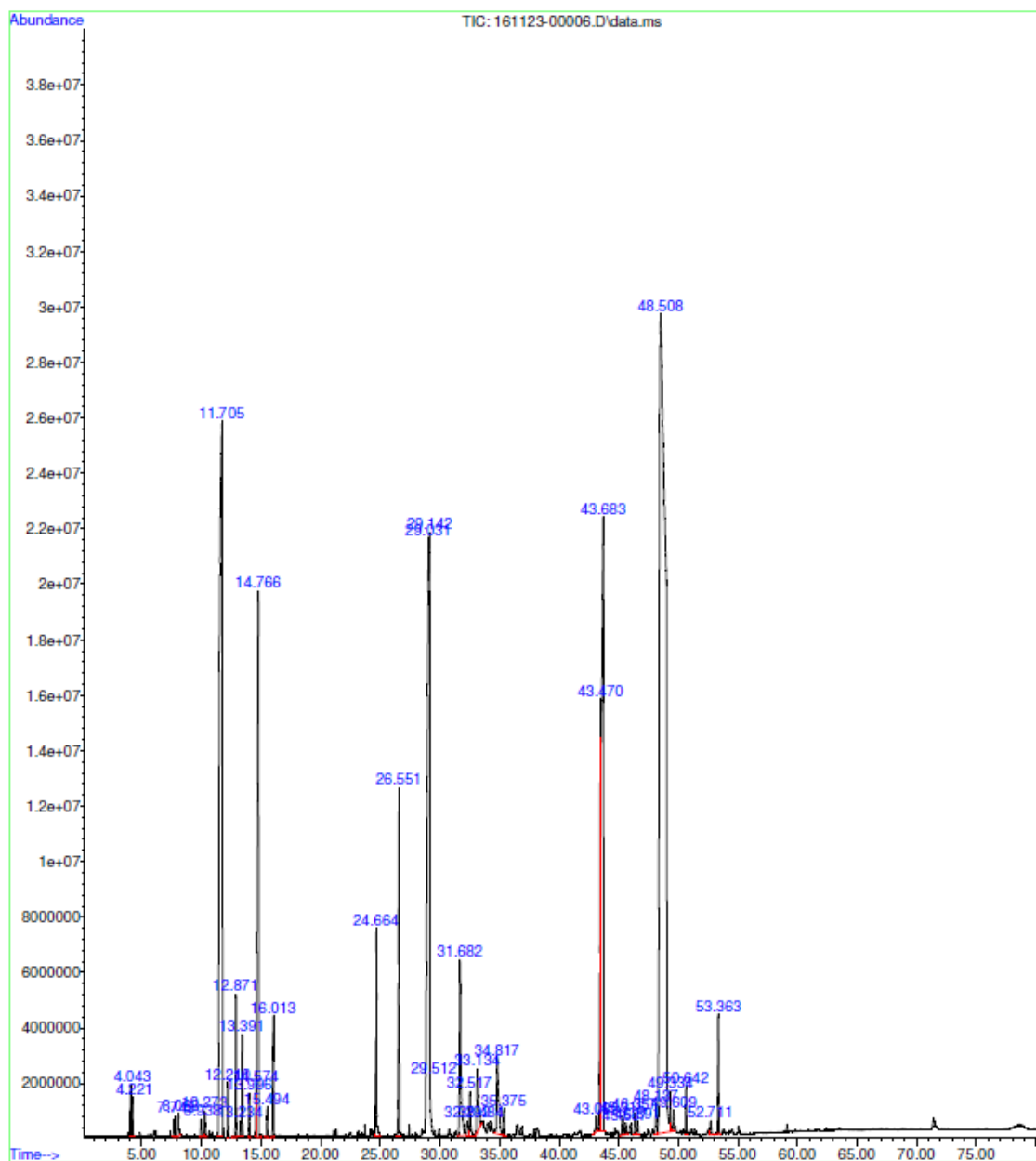
ACEITES ESE...WAX SCAN 2.M Fri Nov 25 09:01:17 2016

ACEITES ESE...WAX SCAN 2.M Fri Nov 25 09:01:17 2016

Fuente: Instituto de Investigaciones, CIB/Departamento de Química, LIQA/UVG. Consulta: 26 de febrero de 2016.

Anexo 9. Cromatografía de gases con acoplamiento a espectrometría de masas GC-MS para extracto de frutos Melchor

File :C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\USAC\Tesis extractos\161123-00006
D
 Operator : AdeM
 Instrument : GC-MSD
 Acquired : 23 Nov 2016 21:15 using AcqMethod ACEITES ESENCIALES MCS DB-WAX SCAN 2.M
 Sample Name: Melchor frutos
 Misc Info : Melchor frutos



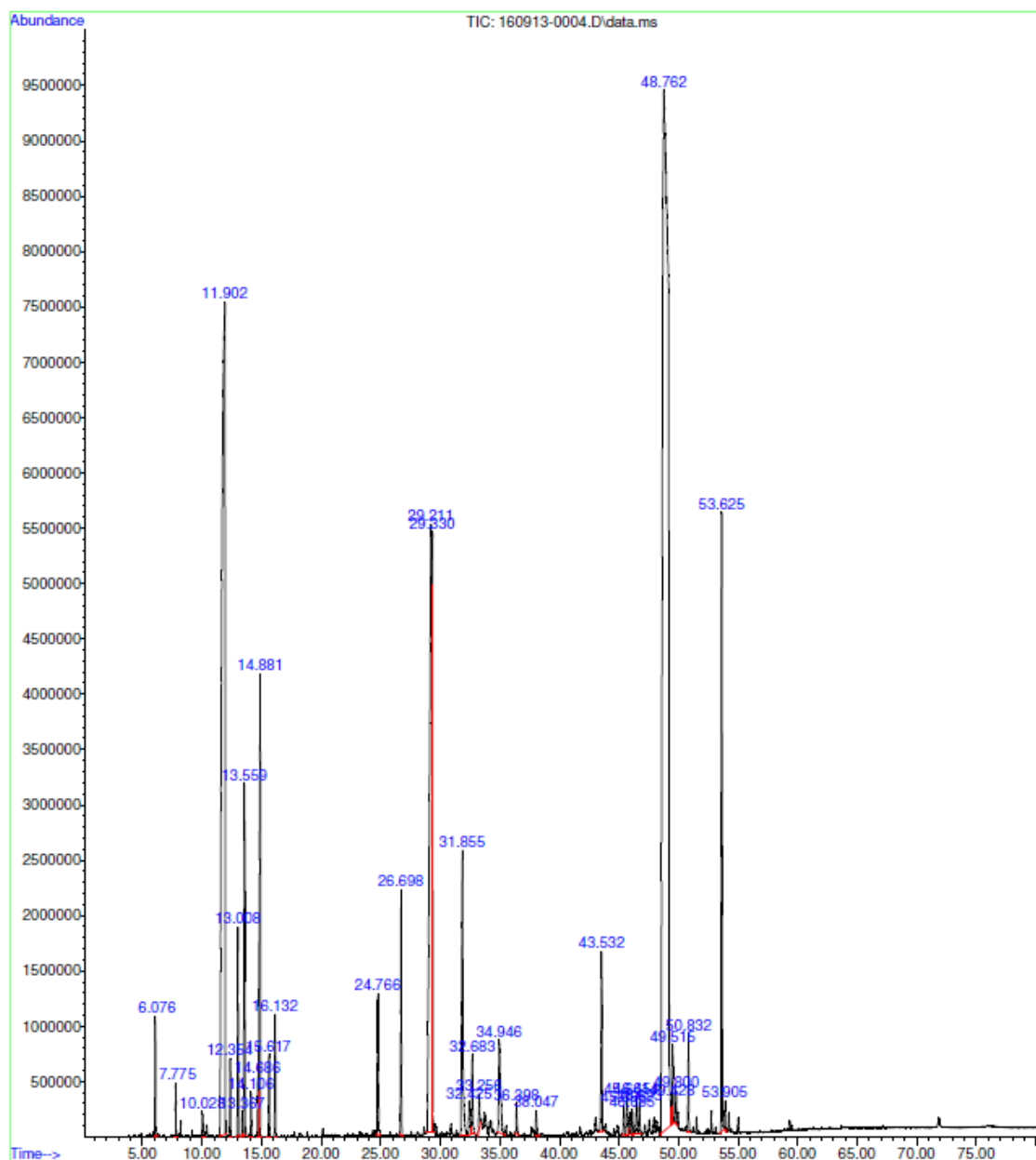
Continuación del anexo 9.

LIQA		Library Search Report			
Data Path : C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\USAC\Tesis extractos\ Data File : 161123-00006.D Title : Acq On : 23 Nov 2016 21:15 Operator : AdeM Sample : Melchor frutos Misc : Melchor frutos ALS Vial : 6 Sample Multiplier: 1					
Search Libraries:		C:\Database\NIST05a.L	Minimum Quality: 0		
Unknown Spectrum: Apex Integration Events: ChemStation Integrator - autointA.e					
Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS# Qual
			1-Tyrophanamide	43594	1000131-25-3 45
			4-(2,2-Dimethyl-6-methylenecyclohe xylidene)-3-methylbutan-2-one	61504	093175-74-7 35
			1,3,4-Trimethyladamantane	41741	1000214-98-3 35
34	46.356	0.18	C:\Database\NIST05a.L (-)-Globulol Globulol Ledol	72905 72897 72883	000489-41-8 99 051371-47-2 98 000577-27-5 90
35	46.593	0.10	C:\Database\NIST05a.L Ledol Naphthalene, decahydro-4a-methyl-1 -methylene-7-(1-methylethylidene)- , (4aR-trans)- Veridiflorol	72883 59991 72904	000577-27-5 99 000515-17-3 92 1000122-17-3 90
36	48.139	0.31	C:\Database\NIST05a.L 1H-Cycloprop[e]azulen-7-ol, decahy dro-1,1,7-trimethyl-4-methylene-, [1ar-(1a.alpha.,4a.alpha.,7.beta., 7a.beta.,7b.alpha.)]- (-)-Spathulenol 1H-Cycloprop[e]azulen-7-ol, decahy dro-1,1,7-trimethyl-4-methylene-, [1ar-(1a.alpha.,4a.alpha.,7.beta., 7a.beta.,7b.alpha.)]-	71464 71327 71465	006750-60-3 93 077171-55-2 91 006750-60-3 91
37	48.508	39.08	C:\Database\NIST05a.L 3-Allyl-6-methoxyphenol Eugenol Phenol, 2-methoxy-3-(2-propenyl)-	31757 31714 31835	000501-19-9 98 000097-53-0 98 001941-12-4 97
38	49.335	0.26	C:\Database\NIST05a.L 1H-Indene, 1-ethylideneoctahydro-, trans- 4-Cyclopentene-1,3-dione, 4-(3-met hyl-2-butenyl)- 1,4-Methano-1H-indene, octahydro-1 ,7a-dimethyl-4-(1-methylethenyl)-, [1S-(1.alpha.,3a.beta.,4.alpha.,7 a.beta.)]-	23000 31923 60055	056324-70-0 45 058940-75-3 41 087064-18-4 38
39	49.608	0.13	C:\Database\NIST05a.L Naphthalene, 1,2,3,4,4a,5,6,8a-oct ahydro-7-methyl-4-methylene-1-(1-m ethylethyl)-, (1.alpha.,4a.alpha., 8a.alpha.)- Copaene Naphthalene, 1,2,3,4,4a,5,6,8a-oct ahydro-7-methyl-4-methylene-1-(1-m ethylethyl)-, (1.alpha.,4a.beta.,8 a.alpha.)-	60068 59778 60062	030021-74-0 86 003856-25-5 72 039029-41-9 70
40	50.641	0.29	C:\Database\NIST05a.L .alpha.-Cadinol Cyclohexane, 1-ethenyl-1-methyl-2-	72908 59967	000481-34-5 96 003242-08-8 43
ACEITES ESE...WAX SCAN 2.M Fri Nov 25 09:03:43 2016					

Fuente: Instituto de Investigaciones, CIB/Departamento de Química, LIQA/UVG. Consulta: 26 de febrero de 2016.

Anexo 10. Cromatografía de gases con acoplamiento a espectrometría de masas GC-MS para extracto de hojas San Luis

File :C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\160913-0004.D
 Operator : AdeM
 Acquired : 13 Sep 2016 18:31 using AcqMethod ACEITES ESENCIALES MCS DB-WAX SCAN 2.M
 Instrument : GC-MSD
 Sample Name: Pimienta gorda
 Misc Info : San Luis hoja 1
 Vial Number: 4



Continuación del anexo 10.

LIQA Library Search Report

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\
Data File : 160913-0004.D
Title :
Acq On : 13 Sep 2016 18:31
Operator : AdeM
Sample : Pimienta gorda
Misc : San Luis hoja 1
ALS Vial : 4 Sample Multiplier: 1

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

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

Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
			2,6-Octadien-1-ol, 3,7-dimethyl-, (E)-	25693	000106-24-1	86
25	43.531	1.26	C:\Database\NIST05a.L Caryophyllene oxide Caryophyllene oxide 3-Ethylidenecycloheptene	71353 71350 9711	001139-30-6 001139-30-6 1000211-16-7	91 81 46
26	45.396	0.20	C:\Database\NIST05a.L 12-Oxabicyclo[9.1.0]dodeca-3,7-diene, 1,5,5,8-tetramethyl-, [1R-(1R*,3E,7E,11R*)]- o-Menth-8-ene Naphthalene, decahydro-, cis-	71453 16285 16342	019888-34-7 015193-25-6 000493-01-6	74 60 53
27	45.660	0.36	C:\Database\NIST05a.L N-Acetyl-L-tyrosinamide 1,3,5-Trimethyladamantane 1,3,4-Trimethyladamantane	72328 41742 41741	001948-71-6 000707-35-7 1000214-98-3	43 38 27
28	46.097	0.18	C:\Database\NIST05a.L Naphthalene, 1,2,3,4,4a,7-hexahydro-1,6-dimethyl-4-(1-methylethyl)- 4,7-Methanoazulene, 1,2,3,4,5,6,7,8-octahydro-1,4,9,9-tetramethyl-, [1S-(1.alpha.,4.alpha.,7.alpha.)]- Di-epi-.alpha.-cedrene-(I)	59947 60013 59867	016728-99-7 000514-51-2 021996-77-0	68 49 46
29	46.452	0.28	C:\Database\NIST05a.L (-)-Globulol Ledol Azulene, 1,2,3,5,6,7,8,8a-octahydro-1,4-dimethyl-7-(1-methylethenyl)-, [1S-(1.alpha.,7.alpha.,8a.beta.)]-	72905 72883 60033	000489-41-8 000577-27-5 003691-11-0	97 96 95
30	46.693	0.23	C:\Database\NIST05a.L Naphthalene, decahydro-4a-methyl-1-methylene-7-(1-methylethylidene)-, (4aR-trans)- Veridiflorol 1,4-Methanoazulene, decahydro-4,8,8-trimethyl-9-methylene-, [1S-(1.alpha.,3a.beta.,4.alpha.,8a.beta.)]	59991 72904 60018	000515-17-3 1000122-17-3 000475-20-7	91 83 78
31	48.762	43.27	C:\Database\NIST05a.L 3-Allyl-6-methoxyphenol Eugenol Phenol, 2-methoxy-4-(1-propenyl)-, (E)-	31757 31716 31883	000501-19-9 000097-53-0 005932-68-3	98 98 97
32	49.426	0.11	C:\Database\NIST05a.L 3-Allyl-6-methoxyphenol Eugenol Eugenol	31757 31715 31716	000501-19-9 000097-53-0 000097-53-0	98 98 98
33	49.513	0.39	C:\Database\NIST05a.L			

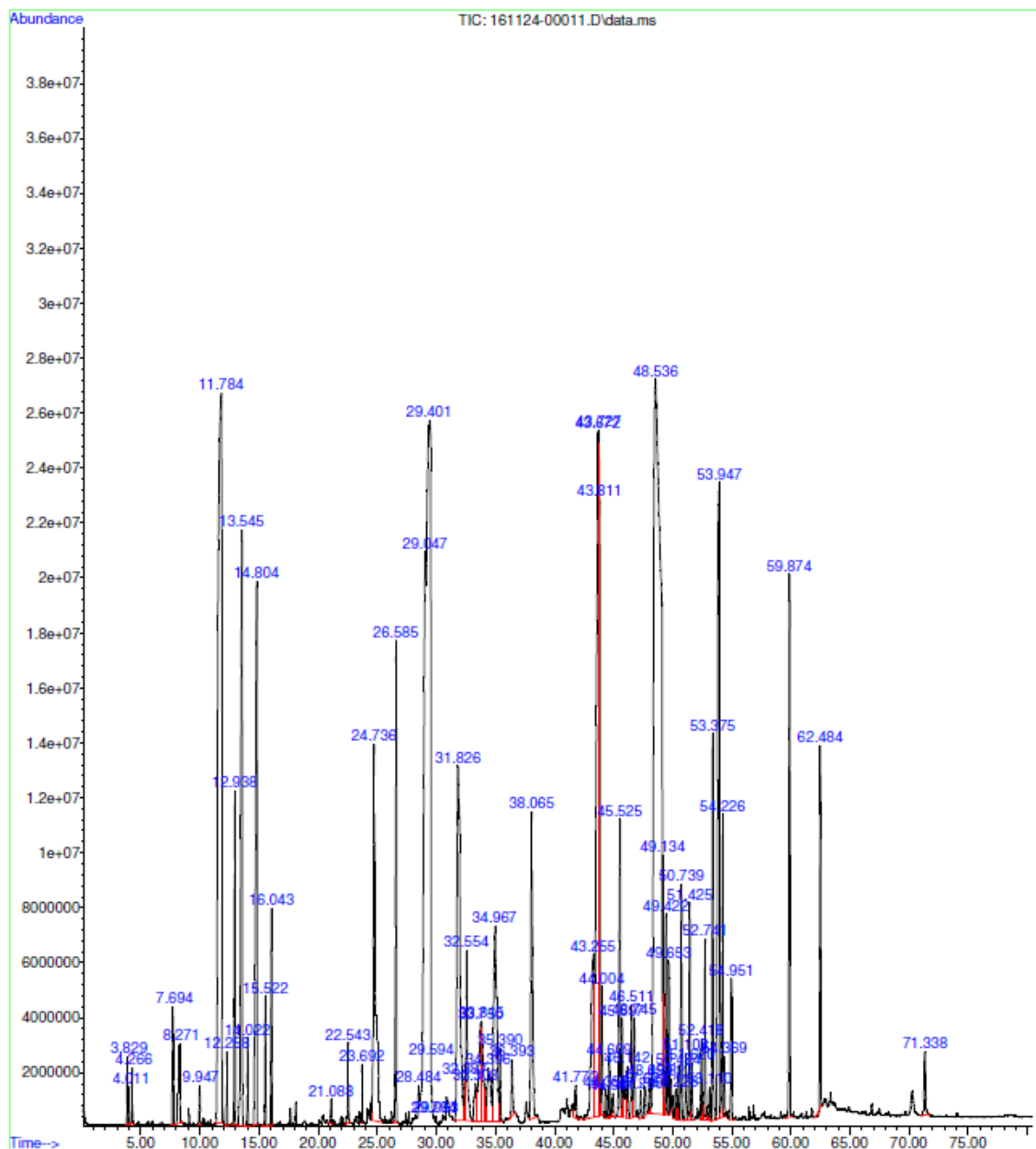
ACEITES ESE...WAX SCAN 2.M Fri Sep 16 09:15:29 2016

ACEITES ESE...WAX SCAN 2.M Fri Sep 16 09:15:29 2016

Fuente: Instituto de Investigaciones, CIB/Departamento de Química, LIQA/UVG. Consulta: 26 de febrero de 2016.

Anexo 11. Cromatografía de gases con acoplamiento a espectrometría de masas GC-MS para extracto de hojas Dolores

File :C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\USAC\Tesis extractos\161124-00011
D
 Operator : AdeM
 Instrument : GC-MSD
 Acquired : 25 Nov 2016 9:07 using AcqMethod ACEITES ESENCIALES MCS DB-WAX SCAN 2.M
 Sample Name: Dolores hojas
 Misc Info :



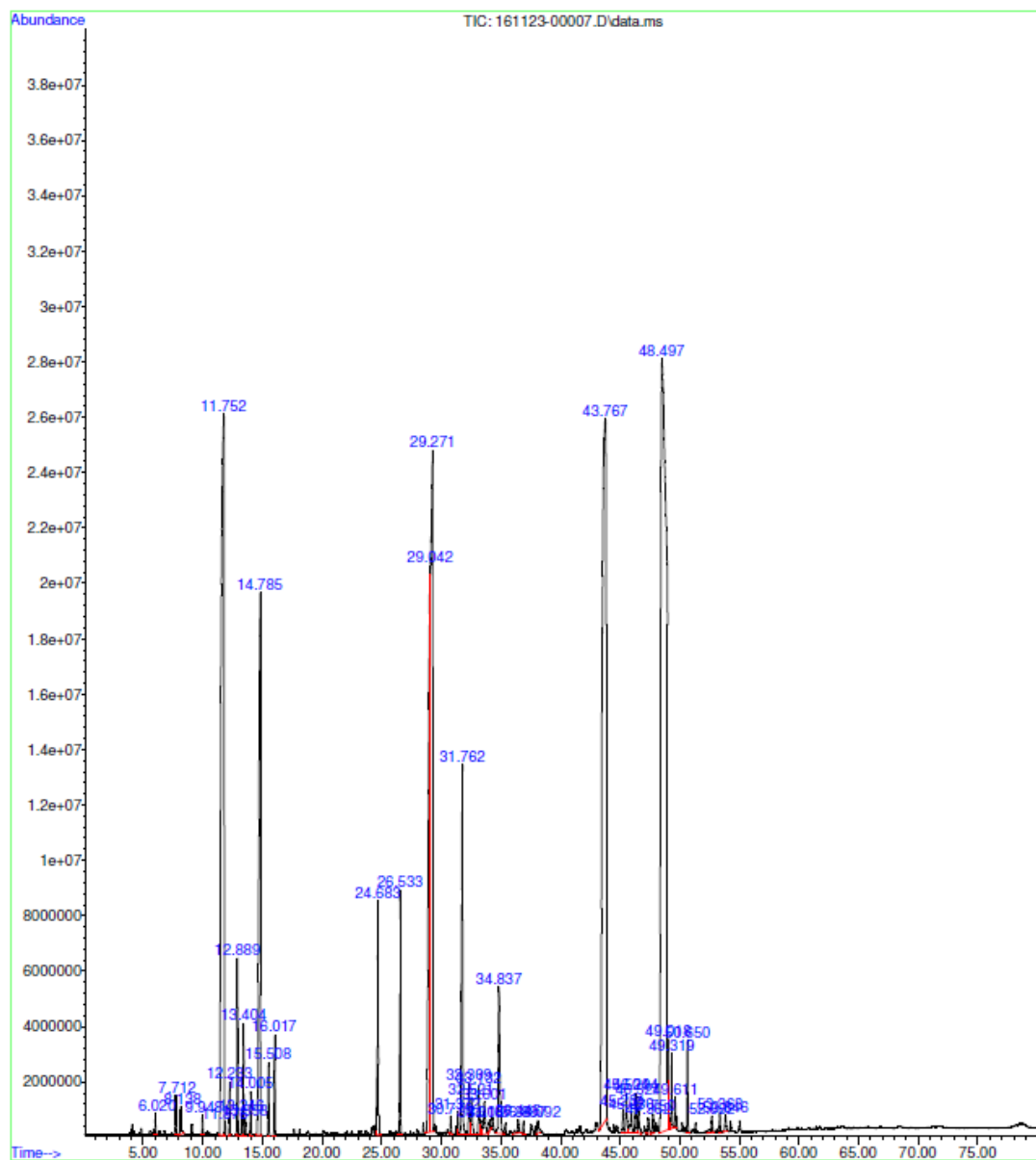
Continuación del anexo 11.

LIQA Library Search Report						
Data Path : C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\USAC\Tesis extractos\						
Data File : 161124-00011.D						
Title :						
Acq On : 25 Nov 2016 9:07						
Operator : AdeM						
Sample : Dolores hojas						
Misc :						
ALS Vial : 1 Sample Multiplier: 1 Samp. Amt.: 1						
Search Libraries: C:\Database\NIST05a.L Minimum Quality: 0						
Unknown Spectrum: Apex						
Integration Events: ChemStation Integrator - autointA.e						
PK#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
hylidene)-, (4aR-trans)-						
49	46.511	0.46	C:\Database\NIST05a.L			
			Globulol	72897	051371-47-2	99
			(-)-Globulol	72905	000489-41-8	99
			Ledol	72883	000577-27-5	93
50	46.743	0.35	C:\Database\NIST05a.L			
			Ledol	72883	000577-27-5	99
			Naphthalene, decahydro-4a-methyl-1-methylene-7-(1-methylethylidene)-, (4aR-trans)-	59991	000515-17-3	90
			Veridiflorol	72904	1000122-17-3	76
51	47.280	0.11	C:\Database\NIST05a.L			
			1-Amino-2-acetamino-3-fluorobenzen	35469	018645-85-7	47
			1-Cyclohexen-1-ol, 2,6-dimethyl-, acetate	34645	006203-89-0	46
			Benzene, 1-fluoro-2-methoxy-	10949	000321-28-8	46
52	47.625	0.18	C:\Database\NIST05a.L			
			2-Naphthalenemethanol, 2,3,4,4a,5,6,7,8-octahydro-.alpha.,.alpha.,4a,8-tetramethyl-, [2R-(2.alpha.,4a.beta.,8.beta.)]-	73020	063891-61-2	87
			Benzene, 1-butyl-4-methoxy-	32049	018272-84-9	60
			2-Naphthalenemethanol, decahydro-.alpha.,.alpha.,4a-trimethyl-8-methylene-, [2R-(2.alpha.,4a.alpha.,8a.beta.)]-	73010	000473-15-4	60
53	48.057	0.16	C:\Database\NIST05a.L			
			1H-Indene, 1-ethylideneoctahydro-7a-methyl-, (1Z,3a.alpha.,7a.beta.)	32243	056324-69-7	64
			2-Naphthalenemethanol, 2,3,4,4a,5,6,7,8-octahydro-.alpha.,.alpha.,4a,8-tetramethyl-, [2R-(2.alpha.,4a.beta.,8.beta.)]-	73020	063891-61-2	58
			Cyclohexane, 1,1,4,4-tetramethyl-2,6-bis(methylene)-	32233	040482-18-6	46
54	48.535	17.98	C:\Database\NIST05a.L			
			Phenol, 2-methoxy-3-(2-propenyl)-	31835	001941-12-4	98
			3-Allyl-6-methoxyphenol	31757	000501-19-9	98
			Eugenol	31714	000097-53-0	98
55	49.135	0.31	C:\Database\NIST05a.L			
			Bicyclo[4.4.0]dec-1-ene, 2-isopropyl-5-methyl-9-methylene-	59918	150320-52-8	89
			(+)-Epi-bicyclosesquiphellandrene	59869	054324-03-7	89
			1H-Cyclopropa[a]naphthalene, 1a,2,3,5,6,7,7a,7b-octahydro-1,1,7,7a-tetramethyl-, [1aR-(1a.alpha.,7a.alpha.,7a.alpha.,7b.alpha.)]-	60096	017334-55-3	81
56	49.422	0.57	C:\Database\NIST05a.L			
			.alpha.-Cadinol	72908	000481-34-5	60
ACEITES ESE...WAX SCAN 2.M Fri Nov 25 10:34:13 2016						

Fuente: Instituto de Investigaciones, CIB/Departamento de Química, LIQA/UVG. Consulta: 26 de febrero de 2016.

Anexo 12. Cromatografía de gases con acoplamiento a espectrometría de masas GC-MS para extracto de hojas Melchor

File :C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\USAC\Tesis extractos\161123-00007
D
 Operator : AdeM
 Instrument : GC-MSD
 Acquired : 23 Nov 2016 22:43 using AcqMethod ACEITES ESENCIALES MCS DB-WAX SCAN 2.M
 Sample Name: Melchor hojas
 Misc Info : Melchor hojas



Continuación del anexo 12.

LIQA Library Search Report						
Data Path : C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\USAC\Tesis extractos\ Data File : 161123-00007.D Title : Acq On : 23 Nov 2016 22:43 Operator : AdeM Sample : Melchor hojas Misc : Melchor hojas ALS Vial : 7 Sample Multiplier: 1						
Search Libraries: C:\Database\NIST05a.L Minimum Quality: 0						
Unknown Spectrum: Apex Integration Events: ChemStation Integrator - autointA.e						
PK#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
			one Phenol, 2-(1,1-dimethylethyl)-4-me thyl-	32084	002409-55-4	30
41	48.498	29.98	C:\Database\NIST05a.L 3-Allyl-6-methoxyphenol Eugenol Eugenol	31757 31714 31716	000501-19-9 000097-53-0 000097-53-0	98 98 98
42	49.017	0.36	C:\Database\NIST05a.L Eugenol Bicyclo[4.4.0]dec-1-ene, 2-isoprop yl-5-methyl-9-methylene- (+)-Epi-bicyclosesquiphellandrene	31715 59918 59869	000097-53-0 150320-52-8 054324-03-7	72 70 70
43	49.317	0.32	C:\Database\NIST05a.L 1,4-Methano-1H-indene, octahydro-1 ,7a-dimethyl-4-(1-methylethenyl)-, [1S-(1.alpha.,3a.beta.,4.alpha.,7 a.beta.)]- .alpha.-Cadinol .tau.-Muurolool	60055 72908 72907	087064-18-4 000481-34-5 019912-62-0	52 50 46
44	49.613	0.14	C:\Database\NIST05a.L 1-Naphthalenol, 1,2,3,4,4a,7,8,8a- octahydro-1,6-dimethyl-4-(1-methyl ethyl)-, [1S-(1.alpha.,4.alpha.,4a .beta.,8a.beta.)]- Copaene Naphthalene, 1,2,3,4,4a,5,6,8a-oct ahydro-7-methyl-4-methylene-1-(1-m ethylethyl)-, (1.alpha.,4a.alpha., 8a.alpha.)-	73023 59778 60070	036564-42-8 003856-25-5 030021-74-0	98 96 91
45	50.650	0.44	C:\Database\NIST05a.L .alpha.-Cadinol Cyclohexane, 1-ethenyl-1-methyl-2- (1-methylethenyl)-4-(1-methylethyl idene)- Acenaphthylene, dodecahydro-	72908 59967 32191	000481-34-5 003242-08-8 002146-36-3	96 43 38
46	52.692	0.18	C:\Database\NIST05a.L 10,10-Dimethyl-2,6-dimethylenebicy clo[7.2.0]undecan-5.beta.-ol Tetracyclo[6.3.2.0(2,5).0(1,8)]tri decan-9-ol, 4,4-dimethyl- Adamantane	71421 71414 15167	019431-80-2 1000157-75-1 000281-23-2	98 50 47
47	53.361	0.09	C:\Database\NIST05a.L Phenol, 4-(2-propenyl)- Phenol, 4-(2-propenyl)- Phenol, 4-(2-propenyl)-, acetate	14802 14803 40115	000501-92-8 000501-92-8 061499-22-7	96 94 80
48	53.848	0.13	C:\Database\NIST05a.L 1-Methyl-6-methylenebicyclo[3.2.0] heptane 1,3-Bis-(2-cyclopropyl,2-methylcyc	9743 97611	1000210-90-0 1000222-08-6	74 52
ACEITES ESE...WAX SCAN 2.M Fri Nov 25 09:09:53 2016						

Fuente: Instituto de Investigaciones, CIB/Departamento de Química, LIQA/UVG. Consulta: 26 de febrero de 2016.