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

EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO EXTRACTIVO DEL ACEITE ESENCIAL DE LOS FRUTOS Y HOJAS DE LA PIMIENTA GORDA (*Pimenta dioica* (L.) Merrill.), CULTIVADA EN LA REGIÓN NORTE DE GUATEMALA, MEDIANTE TÉCNICA DE DESTILACIÓN POR ARRASTRE CON VAPOR A ESCALA PLANTA PILOTO Y SU CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA

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

Guatemala, enero de 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA

EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO EXTRACTIVO DEL ACEITE ESENCIAL DE LOS FRUTOS Y HOJAS DE LA PIMIENTA GORDA (*Pimenta dioica* (L.) Merrill.), CULTIVADA EN LA REGIÓN NORTE DE GUATEMALA, MEDIANTE TÉCNICA DE DESTILACIÓN POR ARRASTRE CON VAPOR A ESCALA PLANTA PILOTO Y SU CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

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

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

GUATEMALA, ENERO DE 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA

NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Luis Diego Aguilar Ralón
VOCAL V	Br. Christian Daniel Estrada Santizo
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez
EXAMINADORA	Inga. Adela María Marroquín Gonzáles
EXAMINADORA	Dra. Casta Petrona Zeceña Zeceña
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO EXTRACTIVO DEL ACEITE ESENCIAL DE LOS FRUTOS Y HOJAS DE LA PIMIENTA GORDA (*Pimenta dioica* (L.) Merrill.), CULTIVADA EN LA REGIÓN NORTE DE GUATEMALA, MEDIANTE TÉCNICA DE DESTILACIÓN POR ARRASTRE CON VAPOR A ESCALA PLANTA PILOTO Y SU CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 20 de marzo de 2016.

Gerson Moises Cuzco Salazar

Guatemala, 25 de julio de 2018

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

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 EXTRACTIVO DEL ACEITE ESENCIAL DE LOS FRUTOS Y HOJAS DE LA PIMIENTA GORDA (*Pimenta dioica* (L.) Merrill.), CULTIVADA EN LA REGIÓN NORTE DE GUATEMALA, MEDIANTE TÉCNICA DE DESTILACIÓN POR ARRASTRE CON VAPOR A ESCALA PLANTA PILOTO Y SU CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA"**, del estudiante de Ingeniería Química Gerson Moises Cuzco Salazar quien se identifica con CUI No. 1694 86362 0101 y registro académico número 2009-24640. Sin otro particular me suscribo de usted.

Atentamente,

Ing. Qco. Mario José Mérida Meré
Profesor Investigador
Escuela de Ingeniería Química/USAC
JEFE
Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales –LIEXVE-
Sección Química Industrial CII / USAC
Asesor

INGENIERO QUÍMICO
Mario José Mérida Meré
Colegiado 1411

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

CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
SECCION QUIMICA INDUSTRIAL
USAC
Guatemala, C. A.

INGENIERA QUÍMICA
Telma Maricela Cano M.
Colegiada 433

Guatemala, 17 de septiembre de 2018.
Ref. EIQ.TG-IF.042.2018.

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

Estimado Ingeniero Wong:

Como consta en el registro de evaluación del informe final EIQ-PRO-REG-007 correlativo **101-2015** le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADUACIÓN
-Modalidad Seminario de Investigación-

Solicitado por el estudiante universitario: **Gerson Moises Cuzco Salazar.**
Identificado con número de carné: **1694 86362 0101.**
Identificado con registro académico: **2009-24640.**
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 EXTRACTIVO DEL ACEITE ESENCIAL DE LOS FRUTOS Y HOJAS DE LA PIMIENTA GORDA (*Pimenta dioica* (L.) Merrill.), CULTIVADA EN LA REGIÓN NORTE DE GUATEMALA, MEDIANTE TÉCNICA DE DESTILACIÓN POR ARRASTRE CON VAPOR A ESCALA PLANTA PILOTO Y SU CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA

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

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

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Ing. César Alfonso García Guerra
COORDINADOR DE TERNA
Tribunal de Revisión
Trabajo de Graduación

ESCUELA INGENIERIA QUIMICA
AREA TRABAJOS DE GRADUACION
FIUSAC

C.c.: archivo

Ref.EIQ.TG.009.2019

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, **GERSON MOISES CUZCO SALAZAR** titulado: **"EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO EXTRACTIVO DEL ACEITE ESENCIAL DE LOS FRUTOS Y HOJAS DE LA PIMIENTA GORDA (*Pimenta dioica* (L.) Merrill.), CULTIVADA EN LA REGIÓN NORTE DE GUATEMALA, MEDIANTE TÉCNICA DE DESTILACIÓN POR ARRASTRE CON VAPOR A ESCALA PLANTA PILOTO Y SU CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA"**. 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, enero 2019

FACULTAD DE INGENIERIA USAC
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA
DIRECTOR

Cc: Archivo
CSWD/ale

Universidad de San Carlos
De Guatemala

Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref. DTG.38.2019

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 del trabajo de graduación titulado: **"EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO EXTRACTIVO DEL ACEITE ESENCIAL DE LOS FRUTOS Y HOJAS DE LA PIMIENTA GORDA (Pimenta dioica (L.) Merril.), CULTIVADA EN LA REGIÓN NORTE DE GUATEMALA, MEDIANTE TÉCNICA DE DESTILACIÓN POR ARRASTRE CON VAPOR A ESCALA PLANTA PILOTO Y SU CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA"** presentado por el estudiante universitario: **Gerson Moises Cuzco Salazar** y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
DECANO
FACULTAD DE INGENIERIA

Guatemala, Enero de 2019

ACTO QUE DEDICO A:

Mis padres	Juan Cuzco e Irma Salazar, por criarme, educarme y amarme sin condiciones; muchísimas gracias.
Mis hermanos	Danny, Jimmhy, Raquel y Esther Cuzco, juntos formamos una mano.
Mis abuelos	Juan Cuzco, Felisa Saban, Mauro Salazar y Abelina Cuque, los pilares ancestros formadores de valores inculcados en mí.
Kelin Esquite	Por su amor, paciencia y comprensión a lo largo de estos años juntos.
Mis amigos	José García, Marco Toribio, Edy Payes, Kevin Carias, Luis Ríos, Danilo Ajcip, Lesly Diaz y Miguel Martinez, por compartir momentos de vida universitaria durante 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.

AGRADECIMIENTOS A:

YHVH (Dios de Israel) Porque se acuerda de que somos polvo, lento para la ira y grande en misericordia.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL I
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES V
LISTA DE SÍMBOLOS XIII
GLOSARIO XV
RESUMEN XVII
OBJETIVOS XIX
HIPÓTESIS XX
INTRODUCCIÓN XXIII

1. ANTECEDENTES 1

2. MARCO TEÓRICO 5
2.1. Aceite esencial 5
2.1.1. Definición de aceite esencial 5
2.1.2. Volatilidad y solubilidad 6
2.1.2.1. Ventajas 6
2.1.2.2. Inconvenientes 7
2.1.3. Especificaciones de los aceites esenciales 7
2.1.4. Operación unitaria 8
2.1.5. Proceso de obtención 9
2.1.5.1. Destilación por arrastre con vapor 10
2.1.5.2. Formación de emulsiones en el proceso de arrastre con vapor 11
2.1.6. Solventes 12
2.2. Pimienta gorda (*Pimenta dioica* (L.) Merrill) 13

2.2.1. Descripción 14
2.2.2. Condiciones climáticas, edáficas y agronómicas 16
2.2.3. Constituyentes principales 17
2.2.4. Historia de la especie 18
2.2.5. Usos de la pimienta gorda 19
2.2.6. Propiedades fisicoquímicas del aceite de pimienta 21
2.2.7. Obtención del aceite esencial de pimienta 22
2.3. Caracterización fisicoquímica de los aceites esenciales 23
2.3.1. Densidad de los aceites esenciales 24
2.4. Índice de refracción de los aceites esenciales 24
2.5. pH del hidrolato 25
2.6. Cromatografía de gases acoplado a espectrofotometría de masas 25
2.7. Materia prima 25
2.7.1. Origen 26
2.7.2. Cosecha 27
2.7.2.1. Manejo postcosecha 28
2.7.3. Permisos, licencias y pago de arancel Conap 31
2.8. Modelos Andeva 32

3. DISEÑO METODOLÓGICO 33
3.1. Localización 33
3.2. Variables 33
3.2.1. Variables independientes 34
3.2.2. Variables dependientes 34
3.2.3. Variable respuesta 35
3.3. Delimitación del campo de estudio 35
3.3.1. Obtención de la materia prima 36

3.3.2. Extracción del aceite esencial 36
3.3.3. Análisis fisicoquímico del aceite esencial 36
3.4. Recursos humanos 37
3.5. Recursos materiales disponibles 37
3.6. Técnica cuantitativa 38
3.6.1. Extracción del aceite esencial de pimienta gorda (*Pimenta dioica* (L.) Merrill), con el método de destilación por arrastre con vapor directo utilizando trampa de hexano 39
3.6.2. Cálculo del rendimiento del aceite esencial 40
3.6.3. Cálculo de la densidad del aceite 40
3.6.4. Medición del índice de refracción 41
3.6.5. Cromatografía gaseosa con acoplamiento de espectrometría de masas 42
3.7. Recolección y ordenamiento de la información 42
3.7.1. Diseño de tratamientos 43
3.7.2. Factor 1: parte de la planta 43
3.7.3. Factor 2: región de procedencia 43
3.7.4. Factor 3: nivel altitudinal de plantación 44
3.7.5. Repeticiones 44
3.7.6. Número de combinaciones para la simulación del experimento 44
3.8. Recopilación y ordenamiento de datos obtenidos 61
3.9. Análisis estadístico 64
3.9.1. Supuestos del Andeva 64
3.9.2. Proceso de análisis de varianza 65
3.9.3. Modelo estadístico 66
3.9.4. Media aritmética 66
3.9.5. Desviación 66

4. RESULTADOS 89
4.1. Determinación del rendimiento extractivo del aceite esencial de pimienta gorda a partir de las variables independientes 89
4.2. Caracterizar fisicoquímicamente del aceite esencial extraído de la pimienta gorda, por medio de una cromatografía de gases con acoplamiento de espectrofotometría de masas 92

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS 103

CONCLUSIONES 111
RECOMENDACIONES 113
BIBLIOGRAFÍA 115
APÉNDICES 119
ANEXOS 125

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1. Media y 95 % de Fisher LSD para el rendimiento extractivo del aceite esencial en función del nivel altitudinal 70
2. Media y 95 % de Fisher LSD para el rendimiento extractivo del aceite esencial en función de la sección vegetal 71
3. Media y 95 % de Fisher LSD para el rendimiento extractivo del aceite esencial en función de la procedencia 73
4. Media y 95 % de Fisher LSD para la densidad del aceite esencial en función del nivel altitudinal 75
5. Media y 95 % de Fisher LSD para la densidad del aceite esencial en función de la sección vegetal 76
6. Media y 95 % de Fisher LSD para la densidad del aceite esencial en función de la procedencia 78
7. Media y 95 % de Fisher LSD para la composición química del aceite esencial en función del nivel altitudinal 80
8. Media y 95 % de Fisher LSD para la composición química del aceite esencial en función de la sección vegetal 81
9. Media y 95 % de Fisher LSD para la composición química del aceite esencial en función de la procedencia 83
10. Media y 95 % de Fisher LSD para el índice de refracción del aceite esencial en función del nivel altitudinal 85
11. Media y 95 % de Fisher LSD para el índice de refracción del aceite esencial en función de la sección vegetal 86

12. Media y 95 % de Fisher LSD para el índice de refracción del aceite esencial en función de la procedencia 88
13. Gráfica del rendimiento extractivo del aceite esencial de pimienta gorda en función del nivel altitudinal 90
14. Gráfica del rendimiento extractivo del aceite esencial de pimienta gorda en función del nivel altitudinal 91
15. Gráfica del rendimiento extractivo del aceite esencial de pimienta gorda en función del nivel altitudinal 92
16. Gráfica de la densidad obtenida del aceite esencial de pimienta gorda en función del nivel altitudinal 93
17. Gráfica de la densidad obtenida del aceite esencial de pimienta gorda en función de la sección vegetal 94
18. Gráfica de la densidad obtenida del aceite esencial de pimienta gorda en función de la procedencia 95
19. Gráfica de porcentaje de área de eugenol en cromatografía de aceite esencial de pimienta gorda en función del nivel altitudinal 96
20. Gráfica de porcentaje de área de eugenol en cromatografía de aceite esencial de pimienta gorda en función de la sección vegetal 97
21. Gráfica de porcentaje de área de eugenol en cromatografía de aceite esencial de pimienta gorda en función de la procedencia 98
22. Gráfica de índice de refracción del aceite esencial de pimienta gorda en función del nivel altitudinal 99
23. Gráfica de índice de refracción del aceite esencial de pimienta gorda en función de la sección vegetal 100
24. Gráfica de índice de refracción del aceite esencial de pimienta gorda en función de la procedencia 101

TABLAS

I. Clasificación botánica de la pimienta gorda 26
II. Valor nutricional de la pimienta gorda 26
III. Variables independientes para el proceso de destilación por arrastre con vapor directo 34
IV. Variables dependientes para el proceso de extracción por maceración dinámica 35
V. Materia prima y reactivos 37
VI. Cristalería, equipo y otros 38
VII. Factores del diseño experimental 45
VIII. Tratamientos para el diseño experimental 45
IX. Diseño experimental completamente al azar 46
X. Rendimiento extractivo del aceite esencial obtenido de las hojas y los frutos de la pimienta gorda cultivada en la región norte del país, a escala planta piloto..... 46
XI. Densidad del aceite esencial obtenido de las hojas y los frutos de la pimienta gorda cultivada en la región norte del país a escala planta piloto..... 48
XII. Índice de refracción del aceite esencial obtenido de las hojas y los frutos de la pimienta gorda cultivada en la región norte del país, a escala planta piloto..... 49
XIII. Composición química del aceite esencial de las hojas de pimienta gorda obtenida a escala planta piloto, procedentes de Melchor de Mencos, mediante el método de GC-MS 50
XIV. Composición química del aceite esencial de las hojas de pimienta gorda obtenido a escala planta piloto, procedentes de Dolores, Petén, mediante el método de GC-MS..... 51

XV. Composición química del aceite esencial de las hojas de pimienta gorda obtenido a escala planta piloto, procedentes de San Luis Petén, mediante el método de GC-MS 52
XVI. Composición química del aceite esencial de los frutos de pimienta gorda, obtenido a escala planta piloto, procedentes de Melchor de Mencos, mediante el método de GC-MS 53
XVII. Composición química del aceite esencial de los frutos de pimienta gorda, obtenido a escala planta piloto, procedentes de Dolores, Petén, mediante el método de GC-MS 54
XVIII. Composición química del aceite esencial de los frutos de pimienta gorda, obtenido a escala planta piloto, procedentes de San Luis, Petén, mediante el método de GC-MS 55
XIX. Composición química del aceite esencial de las hojas de pimienta gorda, obtenido a escala planta piloto, procedentes de Santa María Cahabón, mediante el método de GC-MS 56
XX. Composición química del aceite esencial de las hojas de pimienta gorda, obtenido a escala planta piloto, procedentes de San Pedro Carchá, mediante el método de GC-MS 57
XXI. Composición química del aceite esencial de las hojas de pimienta gorda, obtenido a escala planta piloto, procedentes de Campur, mediante el método de GC-MS..... 58
XXII. Composición química del aceite esencial de los frutos de pimienta gorda, obtenido a escala planta piloto, procedentes de Santa María Cahabón, mediante el método de GC-MS 59
XXIII. Composición química del aceite esencial de los frutos de pimienta gorda, obtenidos a escala planta piloto, procedentes de San Pedro Carcha, mediante el método de GC-MS 60

XXIV. Composición química del aceite esencial de los frutos de pimienta gorda, obtenido a escala planta piloto, procedentes de Campur, mediante el método de GC-MS 61
XXV. Rendimiento extractivo del aceite esencial obtenido de las hojas y los frutos de la pimienta gorda cultivada en la región norte del país a escala planta piloto..... 62
XXVI. Densidad del aceite esencial obtenido de las hojas y frutos de la pimienta gorda cultivada en la región norte del país a escala planta piloto..... 63
XXVII. Índice de refracción del aceite esencial obtenido de las hojas y los frutos de la pimienta gorda cultivada en la región norte del país, cultivada en la región norte del país a escala planta piloto 64
XXVIII. Datos Andeva..... 67
XXIX. Resumen estadístico para el rendimiento extractivo del aceite esencial en función del nivel altitudinal 68
XXX. Anova para el rendimiento extractivo del aceite esencial en función del nivel altitudinal..... 68
XXXI. Comparación entre los niveles para el rendimiento extractivo del aceite esencial en función del nivel altitudinal..... 69
XXXII. Resumen estadístico para el rendimiento extractivo del aceite esencial en función de la sección vegetal 70
XXXIII. Anova para el rendimiento extractivo del aceite esencial analizado en función de la sección vegetal 71
XXXIV. Comparación entre niveles para el rendimiento extractivo del aceite esencial en función de la sección vegetal 71
XXXV. Resumen estadístico para el rendimiento extractivo del aceite esencial en función de la procedencia 72
XXXVI. Anova para el rendimiento extractivo del aceite esencial en función de la procedencia..... 72

XXXVII. Comparación entre los niveles para el rendimiento extractivo del aceite esencial en función de la procedencia 72
XXXVIII. Resumen estadístico de la densidad del aceite esencial en función del nivel altitudinal..... 73
XXXIX. Anova para la densidad del aceite esencial en función del nivel altitudinal..... 74
XL. Comparación entre niveles para la densidad del aceite esencial en función del nivel altitudinal 74
XLI. Resumen estadístico de la densidad del aceite esencial en función de la sección vegetal 75
XLII. Anova para la densidad del aceite esencial en función de la sección vegetal 76
XLIII. Comparación entre niveles para la densidad del aceite esencial en función de la sección vegetal..... 76
XLIV. Resumen estadístico de la densidad del aceite esencial en función de la procedencia..... 77
XLV. Anova para la densidad del aceite esencial en función de la procedencia 77
XLVI. Comparación entre niveles para la densidad del aceite esencial en función de la procedencia 77
XLVII. Resumen estadístico de la composición química del aceite esencial analizado en función del nivel altitudinal..... 78
XLVIII. Anova para la composición química del aceite esencial en función del nivel altitudinal..... 79
XLIX. Comparación entre niveles para la composición química del aceite esencial en función del nivel altitudinal 79
L. Resumen estadístico de la composición química del aceite esencial en función de la sección vegetal..... 80

LI. Anova para la composición química del aceite esencial en función de la sección vegetal 81
LII. Comparación entre niveles para la composición química del aceite esencial en función de la sección vegetal 81
LIII. Resumen estadístico de la composición química del aceite esencial en función de la procedencia 82
LIV. Anova para la composición química del aceite esencial en función de la procedencia 82
LV. Comparación entre niveles para la composición química del aceite esencial en función de la procedencia 82
LVI. Resumen estadístico del índice de refracción del aceite esencial en función del nivel altitudinal 83
LVII. Anova para el índice de refracción del aceite esencial en función del nivel altitudinal 84
LVIII. Comparación entre niveles para el índice de refracción del aceite esencial en función del nivel altitudinal 84
LIX. Resumen estadístico del índice de refracción del aceite esencial en función de la sección vegetal 85
LX. Anova para el índice de refracción del aceite esencial analizado en función de la sección vegetal 86
LXI. Comparación entre niveles para el índice de refracción del aceite esencial en función de la sección vegetal 86
LXII. Resumen estadístico del índice de refracción del aceite esencial en función de la procedencia 87
LXIII. Anova para el índice de refracción del aceite esencial en función de la procedencia 87
LXIV. Comparación entre niveles para el índice de refracción de aceite esencial en función de la procedencia 87

LXV. Rendimiento extractivo del aceite esencial de la pimienta gorda en función del nivel de procedencia 89
LXVI. Rendimiento extractivo del aceite esencial de la pimienta gorda en función de la sección vegetal 90
LXVII. Rendimiento extractivo del aceite esencial de la pimienta gorda en función de la procedencia 91
LXVIII. Densidad del aceite esencial de pimienta gorda en función del nivel altitudinal 93
LXIX. Densidad del aceite esencial de pimienta gorda Merrill en función de la sección vegetal 94
LXX. Densidad del aceite esencial de pimienta gorda en función de la procedencia 95
LXXI. Porcentaje de área de eugenol en cromatografía del aceite esencial de pimienta gorda en función del nivel altitudinal 96
LXXII. Porcentaje de área de eugenol en cromatografía del aceite esencial de pimienta gorda en función de la sección vegetal 97
LXXIII. Porcentaje de área de eugenol en cromatografía del aceite esencial de pimienta gorda en función de la procedencia 98
LXXIV. Índice de refracción del aceite esencial de pimienta gorda en función del nivel altitudinal 99
LXXV. Índice de refracción del aceite esencial de pimienta gorda en función de la sección vegetal 100
LXXVI. Índice de refracción del aceite esencial de pimienta gorda en función de la procedencia 101

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	**Significado**
Andeva	Análisis estadístico de varianza
GC/MS	Cromatografía de gas acoplada a una espectrometría de masas
ρ	Densidad
°C	Grado Celsius
GL	Grados de libertad
g	Gramos
kg	Kilogramo
msnm	Metros sobre el nivel del mar
m^3	Metro cúbico
min	Minutos
mL	Mililitros
%	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, que se volatiliza a temperatura ambiente y tiene aspecto aceitoso.
Cromatografía de gases	Medio de separación, caracterización y análisis cuantitativo de los aceites esenciales.
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, del 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 por arrastre con vapor	Es el arrastre de sustancias aromáticas volátiles con vapor de agua, que luego de ser condensadas se pueden separar y recolectar.
Hidrolato	Solución constituida de agua y aceite esencial.

Liposoluble	Sustancia que es soluble en grasas y/o aceites.
Solubilidad	Máxima cantidad de soluto que se puede disolver en determinada cantidad de disolvente a una temperatura específica.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo principal la evaluación del rendimiento extractivo y la caracterización del aceite esencial de la pimienta gorda (*Pimenta dioica* (L) Merrill) proveniente de la región norte de Guatemala, utilizando el método de destilación por arrastre con vapor directo, a escala planta piloto.

Las variables de estudio en relación a la obtención del aceite esencial de pimienta gorda, seleccionadas, fueron: lugar de procedencia (Petén y Alta Verapaz), sección vegetal de la planta (hojas y frutos) y nivel altitudinal de la plantación (tres niveles por procedencia); se tomaron tres repeticiones para cada tratamiento; un total de treinta y seis tratamientos según el arreglo combinatorio. La extracción del aceite esencial fue realizada con el método de destilación por arrastre con vapor directo, en la Unidad de Hidrodestilación de la Planta Piloto del Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, LIEXVE, del Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Para cumplir con el objetivo en la caracterización del aceite extraído se realizó un análisis fisicoquímico para determinar propiedades relevantes: índice de refracción, densidad y análisis de cromatografía de gas acoplada a espectrometría de masas (GC/MS).

Se realizó el análisis estadístico mediante el estudio de varianza, Anova como método estadístico de prueba para determinar la comparación y confiabilidad de los datos. Existe diferencia significativa para el rendimiento y el porcentaje de eugenol en función del nivel altitudinal.

OBJETIVOS

General

Evaluar el rendimiento extractivo del aceite esencial de los frutos y las hojas de la pimienta gorda (*Pimenta dioica* (L) Merrill.) cultivada en la región norte de Guatemala, mediante la técnica de destilación por arrastre con vapor, a escala planta piloto y su caracterización fisicoquímica.

Específicos

1. Evaluar el rendimiento de la extracción del aceite esencial de la pimienta gorda en función de la ubicación geográfica de la plantación, Petén y Alta Verapaz.

2. Evaluar el rendimiento de la extracción del aceite esencial de la pimienta gorda con base ensu ubicación geográfica altitudinal en función de seis niveles altitudinales de la plantación.

3. Evaluar el rendimiento de extracción del aceite esencial de la pimienta gorda en función de la sección de la planta a estudiar (hojas y frutos).

4. Caracterizar fisicoquímicamente el aceite esencial extraído de la pimienta gorda por medio de cromatografía de gases con acoplamiento de espectrofotometría de masas.

Hipótesis

Es posible extraer el aceite esencial tanto de la semilla como del follaje de la pimienta gorda (*Pimenta dioica* (L.) Merrill) mediante la operación unitaria de destilación por arrastre con vapor directo, para evaluar el rendimiento extractivo y caracterización fisicoquímica.

Hipótesis nula

Ho_1: no existe diferencia estadística significativa en la evaluación del rendimiento de la extracción a escala planta piloto del aceite esencial de la pimienta en función del departamento de procedencia de la plantación.

Ho_2: no existe diferencia estadística significativa en la evaluación del rendimiento de la extracción a escala planta piloto del aceite esencial de la pimienta en función del nivel altitudinal de la plantación.

Ho_3: no existe diferencia estadística significativa en la evaluación del rendimiento de la extracción a escala planta piloto del aceite esencial de la pimienta en función de la parte morfológica de la planta, la semilla y el follaje.

Ho_4: no existe diferencia significativa en las propiedades fisicoquímicas de la extracción a escala planta piloto del aceite esencial de la pimienta en función del departamento de procedencia de la plantación.

Ho_5: no existe diferencia significativa en las propiedades fisicoquímicas de la extracción a escala planta piloto del aceite esencial de la pimienta en función del nivel altitudinal de la plantación.

Ho_6: no existe diferencia significativa en las propiedades fisicoquímicas de la extracción a escala planta piloto del aceite esencial de la pimienta en función de la parte morfológica de la planta, la semilla y el follaje.

Hipótesis alternativa

Hi_1: existe diferencia estadística significativa en la evaluación del rendimiento de la extracción a escala planta piloto del aceite esencial de la pimienta en función del departamento de procedencia de la plantación.

Hi_2: existe diferencia estadística significativa en la evaluación del rendimiento de la extracción a escala planta piloto del aceite esencial de la pimienta en función del nivel altitudinal de la plantación.

Hi_3: existe diferencia estadística significativa en la evaluación del rendimiento de la extracción a escala planta piloto del aceite esencial de la pimienta en función de la parte morfológica de la planta, la semilla y el follaje.

Hi_4: existe diferencia significativa en las propiedades fisicoquímicas de la extracción a escala planta piloto del aceite esencial de la pimienta en función del departamento de procedencia de la plantación.

Hi_5: existe diferencia significativa en las propiedades fisicoquímicas de la extracción a escala planta piloto del aceite esencial de la pimienta en función del nivel altitudinal de la plantación

Hi_6: existe diferencia significativa en las propiedades fisicoquímicas de la extracción a escala planta piloto del aceite esencial de la pimienta en función de la parte morfológica de la planta, la semilla y el follaje.

INTRODUCCIÓN

La pimienta gorda (*Pimenta dioica* (L) Merrill) pertenece a la familia de las mirtáceas, en Guatemala otros nombres con que se le conoce a la fruta son: peensia (Cobán), pens (quekchí), nabucuc (maya itzá) e ixanabacuc (maya yucateco). Se le puede encontrar distribuida naturalmente en los departamentos de Petén, Alta Verapaz y en menor proporción en el departamento de Izabal.

El árbol tiene abundantes hojas, opuestas y sencillas, de 10 a 20 cm de largo; el largo de sus hojas es de dos a tres veces mayor que su ancho. El haz es suave y de color verde oscuro brillante para el caso de la pimienta macho y de un verde más claro para la pimienta hembra. La textura de las hojas de pimienta macho es más dura que la de la pimienta hembra. El envés de sus hojas es claro con puntos amarillos.

Las flores son bisexuales, pero los árboles machos producen solo algunas flores infértiles. Por lo tanto, los árboles machos producen muy poca o escasa fruta, aunque sus hojas contienen más aceite que los que poseen abundantes flores.

La mayor parte de los aceites volátiles están compuestos de terpenos, sustancias oxigenadas, sesquiterpenos y pequeña cantidad de residuos no volátiles. Los principales componentes de estos aceites pueden, por consiguiente, dividirse en dos amplias clases de compuestos orgánicos: los que solamente contienen carbono e hidrógeno y los que contienen carbono, hidrógeno y oxígeno. Las excepciones son pocas. El aceite de pimienta pertenece a la segunda clase, pues contiene carbono, hidrógeno y oxígeno:

estos son los componentes de que dependen las grandes diferencias de fragancias observadas en varios aceites esenciales. En el caso del aceite esencial de la pimienta gorda, esta contiene 65% - 85 % de eugenol.

De acuerdo con Farrell, 2,5 lb de aceite esencial pueden reemplazar 100 lb de pimienta molida al condimentar; y en el caso de la oleorresina 5 lb de oleorresinas pueden sustituir 100 de la pimienta molida en cuanto a olor y sabor.

De convenio al estudio se tomaron las regiones de Alta Verapaz y Petén según el proyecto de investigación CONCYT 037- 2015 para la obtención de materia prima, el clima de Alta Verapaz se define como semicálido muy húmedo sin estación seca definida. Las temperaturas anuales promedio van de los 17 °C a los 21 °C; con una precipitación promedio superior a los 2 000 mm anuales y una humedad relativa promedio del 88 %. El clima de Petén es de tipo tropical cálido y húmedo, típico de tierras bajas en estas latitudes; se caracteriza como tropical variable-húmedo, con época larga de lluvia y con época seca desarrollada, pero de duración variable, entre diciembre/enero y abril/mayo. La temperatura media mensual, varía entre 21° en el mes de enero (más fresco del año), y 32° en el mes de mayo (más cálido, con precipitación promedio anual de 2 446 mm.

Las características de los suelos de la región son abundantes y están dadas en Alta Verapaz con siete de las ocho clases agrológicas de suelos. Sin embargo, la que tiene una mayor proporción es las clases VII (56,74 %), que corresponde a las tierras no cultivables, aptas solo para explotación forestal o algún tipo de cultivos perennes, este suelo es el predominante en las plantaciones silvestres y cultivadas de pimienta gorda. En Petén se cuenta con un 19,82 % del suelo correspondiente a la clase VII.

1. ANTECEDENTES

Ernest Guenther. *The essential oils* (*Los aceites esenciales*) escribe un libro detallado de la extracción del aceite esencial, así mismo 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. 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.

Anabella López Lobos, presento su trabajo de tesis *Estudio de factibilidad de una planta de extracción de aceite esencial y oleorresina de pimienta gorda, pimenta dioica* en la Universidad Rafael Landívar de Guatemala, Facultad de Ingeniería. En dicho estudio de investigación se propone el montaje de una planta a nivel industrial basándose en la obtención de aceite y oleorresina de la pimienta; realiza ensayos a nivel laboratorio y a escala planta piloto; determina parámetros de operación de un rendimiento óptimo, tiempo de extracción y solvente en la trampa de vapor; encuentra un factor de escalonamiento de 0,833, un mayor rendimiento en función de un diámetro de partícula de 1 mm y diferencia significativa en el rendimiento del aceite utilizando trampa de hexano en el vaso de recolección de hidrolato al final de la hidrodestilación.

Redunda que el aceite obtenido contiene 45 % de eugenol y un índice de refracción promedio de 1,5º, con una densidad de 0,95 g/ml. Estima una

eficiencia esperada a nivel industrial del 80 %, es decir, una extracción de 1,75 ml por kilogramo de materia vegetal.

Manuel Guillermo Cerpa Chavez, ingeniero químico realiza la memoria para optar al grado de Doctor por la Universidad de Valladolid *Hidrodestilación de aceites esenciales: modelado y caracterización;* establece nuevas metodologías para comprender la transferencia de masa, mediante un modelado matemático básico, versátil, consistente e integrado termodinámicamente; ubica el aceite esencial en la matriz herbácea, mediante el análisis microhistológico por SEM; identifica, determina y discierne la composición química de los aceites esenciales, mediante el análisis cromatográfico combinado con la espectrometría de masas (GC/MS); ofrece nuevos criterios para el escalado preliminar. Concluye el análisis químico por GC/MS de los aceites esenciales obtenidos, usando una columna polar (DB-WAX); es el método adecuado y recomendado por este estudio. Permite identificar, cuantificar y discernir la mayoría de los compuestos químicos característicos de los aceites esenciales obtenidos, así como modelado brinda una evolución cualitativa y aproximada de la composición química del aceite esencial obtenido en el florentino y el remanente en la superficie de la matriz herbácea.

Kevin Carias presenta su trabajo de tesis sobre el rendimiento extractivo y la caracterización fisicoquímica del aceite esencial obtenido de las hojas y los frutos de la pimienta gorda *(Pimienta dioica* (L) Merrill.) con el método de hidrodestilación y rotoaporación por refinado a escala laboratorio; estudio realizado bajo directrices del proyecto de investigación CONCYT 037-2015, en el Laboratorio de Investigaciones de Extractos Vegetales de la Facultad de Ingeniería; el método consistió en seleccionar diferentes áreas de cultivo, así como sus distintos niveles altitudinales, tomando 50 g de materia prima por lote

y una relación con solvente de 1:15 y 1:10 para hojas y frutos, respectivamente; se obtuvo una diferencia estadística significativa para el rendimiento pero no para las pruebas fisicoquímicas.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Aceite esencial

Según Guenther 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 Heath los aceites esenciales son mezclas complejas de químicos; las porciones relativas de estos son usualmente característicos de una especie específica pero pueden variar dependiendo de la especie, fuente y las 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.

2.1.1. Definición de aceite esencial

Los aceites esenciales son líquidos volátiles y odoríferos presentes en muchos vegetales, los cuales pueden ser aislados mediante destilación por arrastre con vapor. Estos, en su mayoría, son insolubles en agua, pero fácilmente solubles en alcohol, éter y aceites vegetales y minerales. Por lo general, no son oleosos al tacto. Pueden agruparse en cinco clases, dependiendo de su estructura química: alcoholes, ésteres, aldehídos, cetonas,

lactonas y óxidos. Son líquidos a temperatura ambiente, muy raramente tienen color y su densidad es generalmente inferior a la del agua. Están casi siempre dotados de poder rotatorio y tienen un índice de refracción elevado.

2.1.2. Volatilidad y solubilidad

Para oler en una planta los productos aromáticos pesados habría que dejar secar la planta para eliminar los más livianos. Como esto no ocurre normalmente, la presencia de los más volátiles enmascara continuamente a los constituyentes aromáticos pesados.

Situación que no ocurre si se huele la esencia pura, a medida que se van evaporando las fracciones más livianas, se van detectando los componentes menos volátiles. Por otro lado, los productos con alta volatilidad suelen perderse durante los procesos extractivos, sobre todo cuando se utiliza la destilación por arrastre con vapor de agua.

2.1.2.1. Ventajas

Los aceites esenciales tienen las siguientes ventajas de acuerdo el Centro de Comercio Internacional UNCTAD - GATT:

- 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

2.1.2.2. Inconvenientes

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 pesar con precisión
    - No se dispersan fácilmente sobre todo en los productos secos

2.1.3. Especificaciones de los aceites esenciales

Heath menciona que las especificaciones para los aceites esenciales están dados en muchas farmacopeas y los estándares de la EOA (Essential Oil Association), así como varios estándares nacionales e internacionales. Las especificaciones generalmente incluyen lo siguiente:

- Descripción: material fuente.

- Apariencia física: naturaleza y color del aceite.

- Gravedad específica a 15°/15° C (o peso por mililitro a 20 °C): en las especificaciones de la EOA un factor de temperatura también es incluido para permitir su determinación a otra temperatura más apropiada.

- Rotación óptica a 20 °C.

- Índice de refracción a 20 °C.

- Solubilidad en alcohol etílico de una determinada concentración: en términos de volumen de solvente para producir una solución clara.

  - Requerimientos específicos: exámenes fisicoquímicos para establecer el contenido de compuestos seleccionados o grupos de compuestos

2.1.4. Operación unitaria

Cerpa indica que de manera general, la hidrodestilación se describe de la siguiente manera: 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 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.

2.1.5. Proceso de obtención

Los aceites esenciales se obtienen por uno de los métodos siguientes:

- Destilación en corriente de vapor
- Extracción con disolventes volátiles
- Expresión a mano o a máquina
- *Enfleurage*, proceso en el cual se utiliza grasa como disolvente

Hoy los aceites esenciales sintéticos u obtenidos de fuentes naturales por cualquiera de esos cuatro métodos, se purifican normalmente por destilación al vacío. Para propósitos de este trabajo de investigación solo se detallará el primero, ya que es el método más adecuado para el proceso requerido.

2.1.5.1. Destilación por arrastre con vapor

Guenther afirma que la destilación simple y fraccionada es aplicable sólo a mezclas que son completamente miscibles o solubles. Pero cuando los líquidos no son mutuamente solubles (inmiscibles), también, pueden ser destilados. Por lo tanto, una mezcla de líquidos inmiscibles tendrá un punto de ebullición menor que el punto de ebullición de cualquiera de los componentes individuales puros. Cuando se utiliza vapor para recuperar una de las fases inmiscibles, el proceso se llama destilación con vapor directo, y es el método más común de separar los aceites esenciales del material de la planta. La ventaja de esta técnica es que el material deseado destila a una temperatura menor a los 100 °C. No obstante, si sustancias inestables o con un alto punto de ebullición deben ser removidas de una mezcla, la descomposición se evita. Como todos los gases se mezclan, las dos sustancias pueden mezclarse en el vapor y codestilar.

Una vez el destilado se enfría, el componente deseado (aceite), el cual no es miscible, se separa del agua y es separado en un decantador o vaso florentino. La destilación al vapor es ampliamente usada al aislar líquidos y sólidos de fuentes naturales.

Se distinguen tres tipos de destilación por arrastre implicando vapor o hidrodestilación, según Guenther:

- Destilación en agua: al emplear este método el material a destilar entra en contacto directo con agua hirviendo. Puede flotar en el agua o estar inmersa en ella dependiendo de su gravedad específica y el tamaño del lote. El agua hierve mediante la aplicación de calor por los métodos usuales (fuego directo, camisa de vapor, serpentín de vapor, cerrado o perforado, etc.). Algunos materiales deben ser destilados así (por

ejemplo pétalos), por que al entrar en contacto con el vapor forman aglomeraciones y se aglutinan, evitando así el paso del vapor.

- Destilación con agua y vapor: el material de la planta se suspende sobre una rejilla perforada o malla insertada a cierta distancia sobre el fondo del alambique. La parte inferior del alambique se llena con agua, hasta un nivel debajo de esta rejilla. El agua se calienta por los mismos métodos antes mencionados. En este caso se usa vapor húmedo saturado de baja presión el cual atraviesa el material. En este método el vapor siempre está completamente saturado, húmedo y nunca sobrecalentado, y el material está en contacto solamente con el vapor y no con el agua hirviendo.

- Destilación con vapor directo: este método es semejante al anterior, salvo que no hay agua en el fondo del alambique. El vapor (seco, saturado o sobrecalentado) se genera en una caldera separada. En algunos casos, se introduce vapor recalentado a presión ligeramente superior a la atmosférica, el cual sale por los orificios de un serpentín situado bajo la carga

2.1.5.2. Formación de emulsiones en el proceso de arrastre con vapor

Es necesario mencionar que cuando se realizan destilaciones hetero-azeotrópicas de plantas aromáticas utilizando unidades de extracción con vapor, una vez efectuada la condensación de dos líquidos no miscibles, se obtienen generalmente en el recipiente de decantación emulsiones de tipo directo; es decir, aceite en agua y emulsiones inversas de agua en aceite, que

son muy estables y difíciles de separar. Estas emulsiones, llamadas térmicas, de aspecto lechoso, tienen diámetro de gotas de algunos micrones.

Durante la destilación de una planta aromática se presenta un fenómeno de separación de fases que ni la simple decantación o la cohobación permiten la recuperación de los aceites esenciales. Además, es pertinente indicar que las emulsiones que se forman representan un doble interés para que sean tratadas, ya que, por un lado, es recuperar la esencia que se pierde sobre todo cuando son de alto costo y, por otro, contribuir al ecosistema mediante un tratamiento que permite la descontaminación del agua de condensación. En las empresas destiladoras de aceites esenciales efectúan la separación en un recipiente denominado vaso florentino.

2.1.6. 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 destilación del mismo (no mayor de 50 °C);

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 utilizado es hexano grado industrial, con las siguientes características:

- CAS 110-54-3
- P ebullición 69°C
- Densidad 0.66 g/ml a 20 ^{o}C
- Índice de Refracción 1.38 a 20 ^{o}C

2.2. Pimienta gorda (*Pimenta dioica* (L.) Merrill)

A continuación, se dará una descripción detallada sobre la Pimienta gorda (*Pimenta dioica* (L.) Merrill).

2.2.1. Descripción

Strasburger en su tratado de botánica describe a la pimienta gorda, la cual es una especie arbórea de talla mediana de 8 a 12 metros, muy ramificada, tallo de consistencia dura, liso, de color blanquecino; sus ramas, también duras se dirigen hacia arriba, dando origen a otras ramas y ramísculos cada vez más delgados, tiene la propiedad de desprender capas constantemente. Follaje denso perenne y copa redonda. Sus hojas son abundantes, simples, opuestas de 10 a 20 cm de longitud, enteras y sin pubescencia, más o menos ovales con ápices redondo y obtusos, nervaduras laterales, lustrosas en la parte superior y más opacas en la parte inferior de la lámina. Las hojas tienen pequeñas glándulas que se ven exponiéndolas a la luz, y que al estrujarlas produce un olor agradable muy penetrante; a estas glándulas, llamadas lisígenas, se debe el olor aromático que tienen. Sus flores son pequeñas de color blanco, en racimos axiliares, hermafroditas; actinomorfitas, regulares, pentámeras, estambres libres o indefinidos con biloculares, ovarios inferior y un estigma sencillo, embrión curvo.

El fruto seco es de color café rojizo oscuro. Es una baya dura con una superficie rugosa formada por numerosas protuberancias y cavidades aceitosas debajo del exocarpo. El cáliz y estilo son restos del ápice; su tallo está unido a la base, o en ocasiones, posee un tallo corto o porción de tallo en forma globular, de un tamaño aproximado entre 4 y 7 mm. El pericarpio es esponjoso, quebradizo y alrededor de 1 mm de espesor. La baya tiene 2 lóculos separados por una delgada división. Cada lóculo contiene una sola semilla de color café oscuro en forma de riñón; el embrión es alargado y encrespado, los cotiledones son pequeños y con radícula visible. La semilla carece de albumen.

Rosengarten en su libro *The book of spices* describe a la pimienta gorda como un árbol tropical siempre verde (Pimenta diocia L, anteriormente P. Officinalis Lindley.) de la familia de las mirtáceas, (Myrtaceae), nativa de las Indias Occidentales y de Centro América, apreciada por sus frutos, fuente de una especia altamente aromática. A la edad de 7 comienza a producir, pero no es sino hasta los 15 o 20 años donde alcanza su potencial completo y puede seguir produciendo hasta por 100 años.

Los frutos son recolectados antes de que estén completamente maduros, ya que pierden su aroma al estar maduros. Esto ocurre de 3 a 4 meses después de la floración; luego, son secados al sol durante 4 a 10 días. Es importante el cosechar la pimienta cuando han alcanzado su mayor tamaño, pero todavía están verdes, porque al estar completamente maduras, el fruto pierda algo de su aroma. Durante el secado, los frutos cambian de un verde hacia un color café rojizo. El fruto casi esférico de unos 5 mm de diámetro, contiene dos semillas en forma de riñón de color café oscuro, y su superficie es áspera, causada por las glándulas protuberantes de aceite. El olor y sabor de la pimienta se debe a la presencia de aceite esencial, el cual se concentra principalmente en la cáscara o pericarpio, aunque todas las partes de la planta contienen (en mayor o menor grado) aceites esenciales, que es el objetivo principal de su explotación. Además, su madera es altamente apreciada en la ebanistería y mueblería de lujo debido a sus características, principalmente su consistencia compacta y fuerte, su durabilidad y peso, así como su coloración característica.

El contenido de aceite esencial es de aproximadamente de 4,5 % para la pimienta gorda de Jamaica y de 2,5 % para la de Centro América, contiene aproximadamente 8 % de ácido quercitánico (sabor astringente), 25 % de fibra

cruda, 3 % de almidón y trazas de alcaloides. Su componente principal es el eugenol.

2.2.2. Condiciones climáticas, edáficas y agronómicas

La pimienta gorda en América se encuentra preferentemente en la vertiente del Golfo desde el norte de Puebla y Veracruz hasta el sur de la península de Yucatán y planicie costera del sureste. La altitud más común es de 0 a 700 metros sobre el nivel del mar. La pimienta de mejor calidad crece por debajo de los 300 m. s. n. m.

En cuanto al suelo adecuado para su cultivo se puede generalizar que se prefieren los suelos franco arcillosos. Aunque otros autores indican que prefiere suelos calcáreos bien drenados donde el suelo es superficial, así como suelos negro rocoso, profundo, lateríticos con textura migajón-arcilloso

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

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.

La especie no es exigente en calidad y topografía de suelos y se puede adaptar a diferentes condiciones edáficas, lo cual permite el uso de suelos que tienen limitaciones para otros cultivos; a la vez protege el medio ambiente.

Su temporada de cosecha se produce entre los meses de julio a septiembre, dependiendo de las condiciones ambientales del lugar. En Guatemala, la pimienta se encuentra en tierra caliza, en altitudes de 350 msnm o menos. Después de los 460 msnm los árboles son afectados por hongos, lo que hace disminuir la producción. Los árboles de pimienta gorda se desarrollan bien en suelos pobres y en pendientes, si la altitud y exceso de lluvias no son un factor limitante. En la RBM, la pimienta gorda es comúnmente encontrada en suelos bien drenados, poco profundos y pedregosos para regiones altas. No se reporta presencia de árboles de pimienta en zonas de bajos.

Las poblaciones de pimienta dioica ocurren en grupos o manchas. Estas manchas están usualmente compuestas por árboles de altura y DAP similar, lo que demuestra que la regeneración ocurre después de una perturbación en el bosque.

2.2.3. Constituyentes principales

Las partes que se utilizan son los frutos secos y las hojas. El contenido del fruto contiene de 2-5 % de aceite esencial (el contenido varía de acuerdo al tiempo de cosecha y el lugar de procedencia). La pimienta de Jamaica tiene 5 %, la de Guatemala 2-3 %, la de México 1,4 - 3 % y la de Honduras 1.3 - 4 %.

El componente principal es el eugenol (65 % - 85 %), pero también eugenol metil éter, 1,8-cineol y L - α -felandreno. El eugenol en forma sola se presenta en un 33,4 % y el éter metílico de eugenol en un 43,6 % en promedio, también contiene mirceno, felandreno 1- α; cariofileno y ácido palmítico.

Las hojas contienen menos aceite esencial, pero el contenido es lo suficientemente alto para hacer la destilación rentable. En forma fresca se obtiene de 0,35 – 1,25 %, y de hoja seca se obtiene de 0,7 – 2,9 %. En composición, es similar al aceite esencial de los frutos, pero tiene un mayor contenido de eugenol que la semilla y un olor y sabor menos fino.

2.2.4. Historia de la especie

Los exploradores españoles descubrieron la pimienta en las indias occidentales poco después que Colón descubrió las islas. Como su aspecto era similar a la pimienta negra conocida, ellos le llamaron pimienta también. Fue importada por primera vez a Europa como un sustituto del cardamomo.

La pimienta era usada por los aztecas y mayas para endulzar y sazonar las bebidas de chocolate, así como para preservar carnes y pescado. También, se sabe que fue usada para embalsamar y conservar los cuerpos de sus líderes debido a sus propiedades preservantes. Durante el siglo 17, los piratas la usaban para ahumar y asar sus provisiones de carnes antes de zarpar a sus viajes a través de las aguas de las Indias Occidentales; ellos llamaban a la carne boucan, que proviene de la verbo francés boucaner que se refiere a curado o a la barbacoa, y los piratas llegaron a ser conocidos como bucaneros.

En Guatemala las primeras semillas fueron traídas a Guatemala por habitantes de Jamaica que radicaron en el norte del país; por ello, las

plantaciones están localizadas en Petén, Alta Verapaz e Izabal. En la Costa Sur Occidental del territorio nacional, la pimienta era un cultivo exótico, y no fue sino hasta 1965, que el Centro Experimental Los Brillantes inicio los primeros trabajos llevando del Petén frutos seleccionados de árboles de alta producción y de buenas características agronómicas.

2.2.5. Usos de la pimienta gorda

indican aplicaciones comerciales de la pimienta ya sea en forma molida o en forma soluble, hecha al dispersar el aceite esencial o la oleorresina de la pimienta sobre una base comestible inerte. La pimienta en grano es utilizada en pastas de carnes, salsas y líquidos de curtido. La especie molida se utiliza en postres, mezclas de curry, saborizantes, curtidos, mezclas de especies para conservas, salsa de tomate (kétchup), salsa chili, mezcla de caldos, sopas, sazonadores para bologna, jamones, recubrimientos de jamones, salami, morcilla, quesos, marinado de mariscos y pescado, carnes ahumadas y enlatadas, embutidos y preservantes. La pimienta gorda es un componente usual de mezclas para curtido y de formulaciones de licores especiales como el Benedictino y licores Chartreuse.

De acuerdo al Centro de Comercio Internacional UNCTAD-GATT el aceite esencial de la semilla pimienta se utiliza principalmente en la industria alimentaria para salsas cárnicas, encurtidos, mezclas salsas y productos similares. Otra aplicación importante es para realzar los sabores de frutas, como la ciruela, la grosella y la piña. En perfumería se utiliza como modificador en los artículos de tocador para hombre; a este respecto se indica que posee propiedades especialmente buenas para la mezcla.

El aceite esencial de la hoja pimienta es utilizado para uso comercial en la elaboración de perfumería y para la extracción de eugenol, su principal componente. También, se incorpora a preparados farmacéuticos. Como agente saporífero, no puede compararse con el aceite de la baya y, por consiguiente, se utiliza poco en éste fin, pero se utiliza en la elaboración de helados, conservas, curtidos, panadería, pudines, gomas de mascar, gelatinas, licores, bebidas no alcohólicas, perfumería y medicina. La oleorresina es también utilizada en panadería y como condimento.

2,5 lb de aceite esencial pueden reemplazar 100 lb de pimienta molida al condimentar; y en el caso de la oleorresina 5 lb de oleorresinas pueden sustituir 100 de la pimienta molida en cuanto a olor y sabor.

Indica que las especies molidas se dispersan más uniformemente en embutidos pero pierde más rápido su sabor que las especies enteras. Es por esto que es muy común adicionar aceites esenciales u oleorresinas que representan ventajas tales como color uniforme, libres de bacterias, reducción del costo de transporte y del costo de almacén.

Los aceites esenciales y oleorresinas están disponibles en forma líquida o sólida, al ser mezclados con agentes solubilizantes como el polisorbato 80 (líquido), sal o dextrosa (sólido) que facilitan su incorporación uniforme en las mezclas.

Otros usos que actualmente se han investigado según Ragharan son medicinales, preservantes, bactericidas, funguicidas, antioxidantes y colorantes.

En cuanto a sus propiedades antimicrobianas se ha observado tiene actividad en contra de: E. Coli 0157.H7, S. Aureus, Aspergillus, levaduras y

Acinetobacter. El contenido de especies en muchos alimentos, generalmente no es suficiente para inhibir a los microorganismos completamente, pero puede inhibir la descomposición en alguna medida.

Pintauro describe un proceso simple para preservar frutas, verduras y flores al utilizar una solución diluida de aceite esencial que contengan eugenol, con la cual se recubre el exterior del alimento y se deja evaporar la humedad de la solución, algunas veces en combinación de ácido ascórbico. Esto ha demostrado que la retención de peso y textura, así como la resistencia a la descomposición, el moho y la pérdida de color se incrementan. Esto es de gran ayuda para que los artículos retengan sus características de frescura en periodos extensos sin refrigeración o manejo especial como el manejo y la distribución.

2.2.6. Propiedades fisicoquímicas del aceite de pimienta

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.

2.2.7. Obtención del aceite esencial de pimienta

De acuerdo a Guenther hay dos tipos de aceite de pimienta en el mercado: el de la semilla que tiene un olor y sabor más refinado por lo que tiene mejor precio y el aceite obtenido de las hojas.

Previo a la destilación la pimienta debe ser quebrada o triturada. Esto se hace por que el aceite esencial está contenido en glándulas de aceite, venas, sacos de aceite o vellosidades glandulares de la planta aromática. Sí el material no fuera triturado, el aceite podría ser removido por el vapor solamente después que ha travesado los tejidos vegetales hacia la superficie expuesta. Esto sólo puede ser logrado mediante hidrodifusión. La difusión es un proceso lento, y sí el material no fuera triturado, la tasa de recuperación de aceite estaría determinada por completo por la tasa de difusión. Pero si el material es

triturado, se expone más superficie y glándulas de aceite, lo que incrementa la tasa de evaporación y destilación del aceite esencial.

Después el material triturado es cargado inmediatamente en el destilador. La destilación se lleva a cabo usualmente con vapor directo, y dura aproximadamente 6-10 horas; no obstante, el tiempo requerido, depende de la calidad del vapor, las condiciones de la pimienta (triturada o entera), el método de carga del destilador, etc. Las aguas de destilación pueden contener una cantidad considerable de aceite esencial (parte en forma emulsionada) y es sometida a un proceso llamado cohobación, el cual es un método de redestilación. Aquí el agua destilada se separa de la capa superior de aceite mediante decantación usando un vaso florentino y es recirculada al alambique de destilación.

El aceite de pimienta según los datos de Guether es un líquido incoloro a amarillo o amarillo rojizo, el cual se oscurece con la edad y posee el sabor y olor característico de la pimienta gorda. Su olor es aromático parecido al clavo y su sabor es fuerte y picante.

2.3. Caracterización fisicoquímica de los aceites esenciales

Estas representan las propiedades que tienen los aceites esenciales; dentro de la caracterización fisicoquímica se realiza la medición de densidad, índice de refracción, cromatografía gaseosa acoplada a espectrometría de masas, potencial de hidrógeno y miscibilidad en etanol.

2.3.1. 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.

2.4. Índice de refracción de los aceites esenciales

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

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.

2.5. pH del hidrolato

El factor pH (potencial hidrógeno) mide la concentración de H^+ en una solución. El pH ácido del hidrolato resultante de los aceites esenciales, explica en parte las propiedades bactericidas, fungicidas y viricidas (antiviral) debido a que la acidez se opone a la multiplicación microbial. Los aceites esenciales de alta calidad, presentan un hidrolato con pH cercanos a 5 (máximo 5,8) son ellos soluciones ácidas.

2.6. 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. Materia prima

A continuación, se muestra el origen de la pimienta gorda.

2.7.1. Origen

La pimienta gorda es la fruta seca del árbol de pimenta dioica Merrill. Su distribución ecológica abarca desde el sureste de México a Panamá y a través del todo El Caribe. En Guatemala, se le puede encontrar distribuida naturalmente en los departamentos de Petén, Alta Verapaz y en menor proporción en el departamento de Izabal.

Tabla I. **Clasificación botánica de la pimienta gorda**

Reino	Eukaryota
Subreino	Cormobyonta
División	Spermatophyta
Subdivisión	Magnoliophytina
Clase	Magnoliatae
Subclase	Rosidae
Orden	Myrtales
Familia	Myrtaceae
Genero	Pimenta
Especie	dioica

Fuente: STRASBURGER, E. et. al. *Tratado de botánica*. p. 47.

Tabla II. **Valor nutricional de la pimienta gorda**

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
Magnesio	135 mg

Continuación de la tabla II.

Fósforo	113 mg
Potasio	1 044 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.

2.7.2. Cosecha

Según el lugar donde se encuentren sembrada, o establecida la plantación y en condiciones favorables y utilizando métodos de propagación por medio de semilla, el árbol de pimienta gorda empieza a dar frutos a los 7 u 8 años, pero alcanza su producción optima a los 15 años de edad y su vida económica puede superar el siglo.

Mediante injertos se ha logrado que los árboles de pimienta comiencen a producir a los 4 años. Por lo general de siembra un árbol de pimienta macho por cada diez árboles de pimienta hembra.

En Guatemala existen plantaciones en Alta Verapaz, Santa Rosa, Suchitepéquez, San Marcos y en la costa sur. Por lo general, se cultivan para crear sombra y asociar su producción con cultivos de sombra como el café y cardamomo

2.7.2.1. Manejo postcosecha

La pimienta puede ser secada al sol, sobre fuego, una combinación de ambas técnicas o mecánicamente en hornos industriales. En Petén, son más comunes las tres primeras opciones, las cuales no requieren de mayor inversión de capital para implementarse.

El secado tradicional al sol consiste en colocar la pimienta sobre nylon y exponerla directamente a los rayos solares por un periodo de 4 a 5 días con buen sol y hasta 9 o más si éste no es constante. La pimienta debe ser movida con una pala de madera para que el secado de la fruta sea uniforme.

El producto secado de esta manera no pierde su aroma por cuanto no ha estado expuesto a humo. Una desventaja de este sistema es que a veces puede demorar varios días más ya que la temporada de cosecha coincide con el invierno, donde el brillo solar no es muy frecuente.

Para secar la fruta sobre el fuego, los pimenteros construyen un tapesco que es una plataforma hecha de madera rolliza de aproximadamente un metro de alto, cuatro o más de largo y menos de uno de ancho. Sobre esta estructura, se coloca una tela metálica o cedazo con agujeros de uno a dos mm. A uno de los lados a lo largo se construye una pared de troncos para contener el calor. Actualmente, algunos pimenteros han incorporado el uso de láminas de aluminio debajo de la malla metálica o cedazo para evitar que se ahúme la pimienta.

Otra manera de realizar este secado es cavando en el suelo una zanja de un metro de profundidad sobre la cual se coloca una lámina metálica y encima el cedazo donde se colocará la fruta a secar. Este sistema ofrece la ventaja de

reducir considerablemente el consumo de leña, concentrar la temperatura dentro del horno y reducir el calor a su alrededor. Además, se le adecua un tubo de escape para la salida del humo. Este último mecanismo reduce aún más el ahumado de la pimienta. Sobre esta estructura se construye un techo para proteger el horno de la lluvia.

Para estas dos técnicas de secado se necesita de dos personas, una para que recoja leña y la otra para batir la pimienta. La fruta se esparce sobre la tela metálica. En el suelo o zanja se coloca la leña, la cual debe quemarse a fuego lento para evitar que se arrebate la pimienta. La persona encargada del horno debe mover constantemente la fruta con una pala de madera para que el secado sea uniforme.

El precio de la pimienta proveniente de Guatemala está basado más en el tamaño del fruto que en la técnica de secado utilizada. Sin embargo, es fácil de imaginar que la pimienta secada al fuego pierde gran cantidad de sus aceites esenciales ya que estos se volatilizan debido al cambio brusco y la alta temperatura a la que está expuesta la pimienta en el horno.

Es común que en los campamentos se le dé a la pimienta una pasada ligera por el horno antes de transportarla a la comunidad. Esto se debe básicamente por tres razones:

- La pimienta húmeda se fermenta rápidamente.

- Los campamentos usualmente están ubicados a distancias considerables, por lo que es necesario el uso de bestias o vehículos para transportar el producto. La pimienta luego de este secado, pesa un 60 % menos que cuando está verde, lo cual reduce el número de bestias

necesarias para su acarreo o fletes y, por consiguiente, disminuye los costos.

- El secado completo de la pimienta al fuego demora entre 5 a 6 horas mientras que el secado al sol puede demorar seis o más días dependiendo de la intensidad solar.

La merma luego del proceso de secado de la pimienta es de 3 a 1 cuando el producto está muy verde y 2,5 a 1 cuando está más madura. Es decir, de cada 2,5 a 3 libras de pimienta verde, se obtiene 1 de pimienta seca.

Las empresas exportadoras almacenan la pimienta en depósitos de concreto para homogenizarla y completar su secado.

Existen dos formas de saber cuándo el producto ya está seco:

- Se toma un puñado y se agita cerca del oído. Si tintinea es que ya está seco.

- Mordiendo la semilla, si ésta se parte con facilidad es un indicador de que ya está lista, conteniendo un 12 % de humedad m/m.

Luego de seca, la pimienta es seleccionada mecánicamente según su tamaño. Generalmente, la pimienta mediana se comercializa entera para ser utilizada como condimento mientras que la semilla muy grande y pequeña se procesa para obtener sus aceites esenciales.

A la pimienta verde se le conoce comercialmente como cereza y a la pimienta seca se le conoce como pergamino.

2.7.3. Permisos, licencias y pago de arancel Conap

El primer requisito para solicitar una licencia de aprovechamiento de pimienta es estar registrado como contratista ante el Departamento de Vida Silvestre del Conap.

La solicitud de licencia de aprovechamiento tiene un costo de Q. 15 y se extiende por un volumen máximo de 300 qq de pimienta verde. La solicitud debe ir acompañada de una carta de aval firmada por el representante legal de la concesión, dueño de la finca privada o alcalde en caso de ser un aprovechamiento en terrenos municipales de donde será extraído el producto.

El permiso de transporte tiene un costo de Q. 15,00 tiene una vigencia máxima de dos meses y sirve para transportar el producto desde la comunidad hasta las bodegas de las empresas exportadoras en el área central.

La guía de transporte tiene un costo de Q. 15,00 y tiene una validez no menor a 2 días ni mayor de 10. Esta guía sirve para transportar el producto desde las bodegas de las empresas exportadoras en el área central en Petén hasta la ciudad capital o puerto de embarque.

Para transportar el producto de Petén a la capital o puerto de embarque, debe hacerse efectivo el pago de Q.12,00 por concepto de arancel. Todos estos pagos son depositados en la cuenta del Conap y entran a formar parte de los fondos privativos del Conap. Estos fondos se distribuyen entre todas las sedes regionales de Conap a nivel nacional. No se reinvierten en la región para beneficio de la actividad. Según caracterización general del recurso forestal no maderable pimienta (*Pimenta dioica*), agosto 2003.

2.8. Modelos Andeva

La técnica del análisis de la varianza (Andeva) es una de las técnicas más utilizadas en los análisis de los datos de los diseños experimentales. Se utiliza cuando se desea contrastar más de dos medias, por lo que puede verse como una extensión de la prueba t para diferencias de dos medias.

El Andeva usado para analizar experimentos, es un método muy flexible que permite construir modelos estadísticos para el análisis de los datos experimentales. Básicamente, es un procedimiento que permite dividir la varianza de la variable dependiente, generalmente variable continua, en dos o más componentes, cada uno de los cuales puede ser atribuido a una fuente (variable o factor) identificable y la otra al error experimental. Las variables independientes son generalmente nominales, son los factores en estudio y hacen grupos o tratamientos.

Los modelos que permite construir el Andeva pueden ser reducidos al cociente entre dos varianzas, el numerador es la varianza del modelo como los tratamientos, bloques, etc., y el denominador es la varianza de los errores. Por ejemplo, en un caso de Andeva unifactorial o *anova one way* el valor F calculado es:

$$\frac{S_{trat}^2}{S_{error}^2}.$$

El Andeva está basado en ciertos supuestos, unos más posibles que otros Es evidente que cuantos más factores se introduzcan se espera que quede menos cantidad de variación residual (error) por explicar. Pero siempre quedará alguna variación residual.

3. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Localización

El estudio presentado se realizó en la Universidad San Carlos de Guatemala y en la Universidad del Valle de Guatemala.

- Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales (LIEXVE), Sección de Química Industrial, Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala. Edificio T-5.

- Laboratorio de Investigación de Productos Naturales (LIPRONAT), Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala, edificio T-10.

- Instituto de Investigaciones, CIB/Departamento de Química, Laboratorio de Instrumentación de Química Avanzada LIQA, Universidad del Valle de Guatemala.

3.2. Variables

Son aquellas que tienen la particularidad o capacidad de influir, incidir o afectar a otras variables; para este estudio se tiene lo siguiente.

3.2.1. Variables independientes

- Fueron verificadas en este estudio aquellas variables que se suponían eran la causa de alteración y pudieron ser manipulables para su estudio.

Tabla III. **Variables independientes para el proceso de destilación por arrastre con vapor directo**

Núm.	Variable	Dimensional	Descripción
1	Sección vegetal de la planta	Adimensional	Hojas y frutos
2	Región de procedencia	Adimensional	Petén y Alta Verapaz
3	Nivel altitudinal	Msnm	Seis diferentes niveles altitudinales

Fuente: elaboración propia.

3.2.2. Variables dependientes

Fenómeno que depende del valor de la variable independiente de dicha función.

Tabla IV. **Variables dependientes para el proceso de extracción por maceración dinámica**

Núm.	Variable	Dimensional	Descripción
1	% rendimiento	%	En función del lote utilizado para la extracción
2	Densidad	g/mL	Depende de la extracción total del solvente
3	Índice de refracción	Adimensional	Depende del lote utilizado para la extracción
4	Cromatografía gaseosa	Adimensional	Depende del lote utilizado para la extracción

Fuente: elaboración propia.

3.2.3. Variable respuesta

La variable de respuesta para cada tratamiento, fue la obtención del rendimiento extractivo y contenido de eugenol del aceite esencial de pimienta gord.

3.3. Delimitación del campo de estudio

El trabajo de investigación se enfoca en la especie vegetal, pimienta gorda, cultivada en la región norte del país, de los departamentos de Alta Verapaz y Petén, en relación a tres niveles altitudinales de cada procedencia, así como dos partes extractivas de la planta (hojas y frutos), para comparar los tratamientos entre sí y así determinar cuál de estos posee el mejor rendimiento extractivo de oleorresina con un contenido alto en eugenol, esto por medio de destilación por arrastre con vapor directo utilizando trampa de hexano, filtración y evaporación de solvente, a escala planta piloto.

3.3.1. Obtención de la materia prima

La materia prima vegetal para la extracción del aceite esencial se obtuvo de la región norte del país, departamentos de Alta Verapaz y Petén; para cada departamento se seleccionaron tres municipios con diferente nivel altitudinal; para el departamento de Alta Verapaz, fueron los municipios de Santa María Cahabón, Campur y San Pedro Carchá; para el departamento de Petén, los municipios fueron Melchor de Mencos, Dolores y San Luis; tanto hojas como frutos, se recolectaron de podas y cosechas que fueron trasportados en un vehículo agrícola, resguardados en costales de yute, con el fin de preservar la calidad del producto y evitar deshidratación por el calor almacenado; esta materia prima se trasladó a la Universidad de San Carlos de Guatemala para darle continuidad a la operación de su secado; se realizó en el secador solar CEDA de la Facultad de Agronomía.

3.3.2. Extracción del aceite esencial

Para la extracción del aceite esencial se utilizaron hojas y frutos del árbol de pimienta gorda con el método de destilación por arrastre con vapor directo; dicha operación unitaria se realizó en una marmita de 60 litros de la planta piloto del Laboratorio de Investigaciones de Ingeniería de Extractos Vegetales, LIEXVE, del Centro de Investigaciones de Ingeniería, CII, edificio T-5, ciudad universitaria zona 12.

3.3.3. Análisis fisicoquímico del aceite esencial

La caracterización fisicoquímica, densidad e índice de refracción del aceite esencial de pimienta gorda, se realizó en el Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, LIEXVE, de la Sección de Química Industrial de la

Universidad de San Carlos de Guatemala, edificio T-5, ciudad universitaria zona 12; la caracterización de cromatografía gaseosa con acoplamiento da espectrometría de masas, 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. Gerson Moises Cuzco Salazar.
- Asesores: Inga. Qca. Telma Maricela Cano Morales, Ing. Qco. Mario José Mérida Meré.

3.5. Recursos materiales disponibles

La materia prima, los insumo, la cristalería, los reactivos y los equipos utilizados en el desarrollo adecuado de la parte experimental del proyecto de investigación, fueron los siguientes:

Tabla V. **Materia prima y reactivos**

Materia prima por región	Descripción
Campur, alta Verapaz	Hojas y frutos de pimienta gorda (*Pimenta dioica* (l.) Merrill.)
Cahabón, alta Verapaz	Hojas y frutos de pimienta gorda (*Pimenta dioica* (l.) Merrill.)
San pedro carcha, alta Verapaz	Hojas y frutos de pimienta gorda (*Pimenta dioica* (l.) Merrill.)
San Luis, Petén	Hojas y frutos de pimienta gorda (*Pimenta dioica* (l.) Merrill.)
Dolores, Petén	Hojas y frutos de pimienta gorda (*Pimenta dioica* (l.) Merrill.)
Melchor de Mencos, Petén	Hojas y frutos de pimienta gorda (*Pimenta dioica* (l.) Merrill.)
Reactivos	Hexano
	Agua desmineralizada

Fuente: elaboración propia.

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

Cristalería	Beacker 500 mL
	Erlenmeyer 500 mL
	Balón de rotaevaporador 500 mL
	Varillas de agitación
	Embudo para filtración en vacío
	Beacker 200 ml
	Crisol
Instrumentos de medición	Picnómetro de 5 ml
	Balón aforado de 100 mL
	Refractómetro Fisher Scientific de 60 Hertz
	Termómetro
	Cronómetro
	Balanza analítica marca VWR
	Balanza de humedad BOECO de 120 V
	Cromatógrafo de gases
Equipo, planta piloto	Secador solar CEDA
	Caldera Pirotubular
	Molino de martillo
	Licuadora industrial
	Bomba de vacío
	Marmita de concentración con torre de destilación
	Marmita de acero inoxidable de 60 litros
Otros	Cuaderno de bitácora
	Rotaevaporador
	Guantes de látex
	Papel aluminio
	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 del aceite esencial de la pimienta gorda, a partir de dos secciones de la planta, hojas y frutos, las cuales se detallan a continuación.

3.6.1. Extracción del aceite esencial de pimienta gorda (*Pimenta dioica* (L.) Merrill), con el método de destilación por arrastre con vapor directo utilizando trampa de hexano

- Limpiar materia prima.
- Secado de materia prima.
- Determinar humedad.
- Reducir tamaño de materia prima por medio de un molino de martillo y una licuadora industrial.
- Pesar el lote de materia prima (hojas o frutos).
- Limpiar marmita de acero inoxidable de 80 litros.
- Pesar la materia prima por lote.
- Encender la caldera, verificando los niveles de agua.
- Agregar a la marmita la materia prima, sellar.
- Dar paso al vapor a la chaqueta de la marmita.
- Llenar el vaso florentino con hexano y agua para preparar la trampa.
- Dar un tiempo de extracción de 4 horas.
- Cerrar el paso de vapor.
- Recuperar el aceite esencial capturado con hexano en la trampa de vaso florentino.
- Decantar el agua y recuperar el hexano con aceite esencial.
- Rotaevaporar muestra.

3.6.2. Cálculo del rendimiento del aceite esencial

- Tarar *beacker* de toma de muestra.
- Pesar *beacker* con aceite esencial en balanza analítica.
- Apuntar los pesos en cuaderno de bitácora.
- El rendimiento se determina como la razón del peso del aceite en función de la materia prima inicial. Utilizar la siguiente ecuación.

$$\%Rendimiento = \frac{w_f - w_o}{w_{mp}} \qquad \text{[Ec. 1]}$$

Donde:

- % rendimiento: porcentaje de rendimiento del aceite esencial a escala planta piloto.
- Wf: peso final del *beacker* con aceite (g).
- Wo: 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 5 mL.
- Utilizar una micropipeta para verter la muestra del aceite en el picnómetro.
- Pesar el picnómetro con la muestra.
- Utilizar la siguiente ecuación.

Los datos se tomaron a temperatura de 20 °C.

$$\rho = \frac{w_{fp} - w_{op}}{v_p} \qquad \text{[Ec. 2]}$$

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 usando 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 delimitora, con las líneas de intersección.
- Mover la palanca de la parte inferior izquierda.
- Leer en la escala superior el índice de refracción.

Los datos se tomaron a temperatura de 20 °C.

3.6.5. Cromatografía gaseosa con acoplamiento de espectrometría de masas

Las 36 muestras se colocaron en recipientes nuevos de vidrio limpios, herméticamente sellados, color ámbar de 20 mL para evitar su degradación; estas fueron analizadas en el Instituto de Investigaciones, CIB/Departamento de Química, Laboratorio de Instrumentación de Química Avanzada LIQA, Universidad del Valle de Guatemala donde se les realizó el análisis químico por medio de cromatografía gaseosa acoplada a espectrometría de masas.

3.7. Recolección y ordenamiento de la información

La realización del presente estudio de investigación plantea como objetivo la obtención y la caracterización fisicoquímica del aceite esencial de pimienta gorda; para dar inicio a la investigación fue necesario determinar las variables involucradas, dependientes e independientes, para posteriormente elaborar la parte experimental del estudio.

La parte experimental del estudio consistió en obtener 36 muestras de oleorresina de pimienta gorda obedeciendo al arreglo de investigación completamente al azar; de diferente procedencia de la región norte del país, diferente nivel altitudinal y diferente parte vegetal; esta obtención de aceite se realizó con la metodología de destilación por arrastre con vapor directo a escala planta piloto, con tres muestras de repetición para cada tratamiento, los tratamientos, fueron seleccionados de forma totalmente al azar.

3.7.1. Diseño de tratamientos

La elaboración de los tratamientos a evaluar se diseñaron de forma completamente al azar esto con el fin de obtener resultados más certeros, los arreglos de combinación son experimentos factorial que involucran las variables: Región de procedencia, parte extractiva de la planta, nivel altitudinal y repeticiones del tratamiento, para evaluar el efecto que estas variables tienen sobre la calidad y rendimiento del aceite esencial.

3.7.2. Factor 1: parte de la planta

- Niveles del factor 1: se tomaron dos partes de la planta para la extracción.
    - p_1 (Hojas)
    - p_2 (Frutos)

3.7.3. Factor 2: región de procedencia

- Niveles del factor 2: se tomaron dos departamentos de procedencia de la especie.
    - r1 (Alta Verapaz)
    - r2 (Petén)

3.7.4. Factor 3: nivel altitudinal de plantación

- Niveles del factor 3: se tomaron tres valores altitudinales en cada departamento.

  - n_1 (75 & 238 msnm)
  - n_2 (400 & 1300 msnm)
  - n_3 (575 & 1475 msnm)

3.7.5. Repeticiones

Se hicieron con tres repeticiones por cada tratamiento, 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

$$N = n * r * p * c \qquad \text{[Ec. 3]}$$

Donde:

p = número de niveles del factor No.1, Parte vegetal de la planta.
r = número de niveles del factor No.2, Región de procedencia.
n = número de niveles del factor No.3, Nivel altitudinal.
c = número de repeticiones por cada nivel, corrida o repetición de cada tratamiento.

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

- N= 36 combinaciones

Tabla VII. **Factores del diseño experimental**

Factores	No.1: parte extractiva de la planta No.2: región de procedencia No.3 : nivel altitudinal	**Número de factores**	3
Niveles	No.1 : hojas y frutos No.2 : Petén y Alta Verapaz No.3 : msnm	**Número de niveles**	No.1 : 2 No.2 : 2 No.3 : 3
Número de tratamientos		12	
Número de repeticiones		3	
Número de tratamientos con repetición		36	

Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. **Tratamientos 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 IX. **Diseño experimental completamente al azar**

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

Fuente: elaboración propia.

Tabla X. **Rendimiento extractivo del aceite esencial obtenido de las hojas y los frutos de la pimienta gorda cultivada en la región norte del país, a escala planta piloto**

Núm.	Tratamiento	Aleatorizado	Rendimiento (%)
1	30	p2.d2.a2.R1	17,9115
2	14	p2.d1.a1.R3	22,388
3	29	p2.d1.a2.R1	9,82
4	4	p2.d1.a3.R3	12,77
5	23	p2.d1.a1.R2	19,4031
6	34	p2.d1.a1.R1	34,3284
7	20	p1.d2.a1.R1	19,403
8	15	p1.d1.a3.R2	20,8955
9	24	p2.d2.a3.R3	23,8805

Continuación de la tabla X.

10	13	p2.d2.a1.R2	20,8955
11	35	p1.d1.a2.R1	12,775
12	18	p2.d1.a2.R2	8,7404
13	31	p2.d2.a2.R2	2,0578
14	25	p1.d2.a1.R2	20,8955
15	8	p2.d2.a2.R3	12,02
16	16	p1.d1.a2.R3	3,8043
17	27	p2.d2.a3.R1	26,8656
18	12	p1.d2.a2.R3	25,3731
19	36	p2.d1.a2.R3	11,26
20	7	p1.d1.a3.R3	9,8201
21	32	p1.d1.a1.R2	12,8358
22	22	p1.d2.a3.R2	21,6417
23	5	p1.d1.a3.R1	12,7676
24	9	p1.d2.a2.R2	15,78
25	2	p1.d1.a1.R1	24,6269
26	26	p1.d1.a2.R2	25,3012
27	17	p1.d2.a3.R3	8,9552
28	28	p2.d2.a1.R3	26,8656
29	3	p2.d1.a3.R1	11,0595
30	1	p2.d2.a1.R1	17,28
31	10	p1.d1.a1.R3	12,76
32	21	p2.d2.a3.R2	18,6567
33	19	p1.d2.a2.R1	17,9104
34	6	p1.d2.a1.R3	7,4626
35	11	p2.d1.a3.R2	23,8805
36	33	p1.d2.a3.R1	12,775

Fuente: elaboración propia.

Tabla XI. **Densidad del aceite esencial obtenido de las hojas y los frutos de la pimienta gorda cultivada en la región norte del país a escala planta piloto**

Núm.	Tratamiento	Aleatorizado	Peso materia prima (g)	Volumen ocupado (ml)	Densidad (g/mL)
1	30	p2.d2.a2.R1	1,0061	1,088	0,9247
2	14	p2.d1.a1.R3	1,0051	1,088	0,9238
3	29	p2.d1.a2.R1	1,0009	1,088	0,9199
4	4	p2.d1.a3.R3	1,0069	1,088	0,9255
5	23	p2.d1.a1.R2	0,961	1,088	0,8833
6	34	p2.d1.a1.R1	0,9226	1,088	0,8480
7	20	p1.d2.a1.R1	1,0781	1,088	0,9909
8	15	p1.d1.a3.R2	1,0653	1,088	0,9791
9	24	p2.d2.a3.R3	1,0552	1,088	0,9699
10	13	p2.d2.a1.R2	0,9638	1,088	0,8858
11	35	p1.d1.a2.R1	0,9769	1,088	0,8979
12	18	p2.d1.a2.R2	0,9886	1,088	0,9086
13	31	p2.d2.a2.R2	1,0731	1,088	0,9863
14	25	p1.d2.a1.R2	1,0613	1,088	0,9755
15	8	p2.d2.a2.R3	1,0713	1,088	0,9847
16	16	p1.d1.a2.R3	1,0109	1,088	0,9291
17	27	p2.d2.a3.R1	0,9913	1,088	0,9111
18	12	p1.d2.a2.R3	1,0653	1,088	0,9791
19	36	p2.d1.a2.R3	1,0179	1,088	0,9356
20	7	p1.d1.a3.R3	1,0811	1,088	0,9937
21	32	p1.d1.a1.R2	1,0835	1,088	0,9959
22	22	p1.d2.a3.R2	0,9825	1,088	0,9030
23	5	p1.d1.a3.R1	1,0322	1,088	0,9487
24	9	p1.d2.a2.R2	1,0025	1,088	0,9214
25	2	p1.d1.a1.R1	1,0396	1,088	0,9555
26	26	p1.d1.a2.R2	1,0311	1,088	0,9477
27	17	p1.d2.a3.R3	1,0476	1,088	0,9629
28	28	p2.d2.a1.R3	1,0753	1,088	0,9883
29	3	p2.d1.a3.R1	1,0279	1,088	0,9448
30	1	p2.d2.a1.R1	0,9883	1,088	0,9084
31	10	p1.d1.a1.R3	1,0532	1,088	0,9680
32	21	p2.d2.a3.R2	1,0987	1,088	1,0098

Continuación de la tabla XI.

33	19	p1.d2.a2.R1	1,0619	1,088	0,9760
34	6	p1.d2.a1.R3	1,003	1,088	0,9219
35	11	p2.d1.a3.R2	1,0337	1,088	0,9501
36	33	p1.d2.a3.R1	1,0145	1,088	0,9324

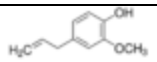
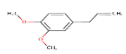
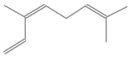
Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. **Índice de refracción del aceite esencial obtenido de las hojas y los frutos de la pimienta gorda cultivada en la región norte del país, a escala planta piloto**

Procedencia	Sección vegetal	Locación	Índice de refracción
Alta Verapaz	Frutos	Campur	1,506
Alta Verapaz		San Pedro Carchá	1,504
Alta Verapaz		Santa María Cahabón	1,492
Alta Verapaz	Hojas	Campur	1,499
Alta Verapaz		San Pedro Carchá	1,516
Alta Verapaz		Santa María Cahabón	1,515
Petén	Frutos	San Luis	1,511
Petén		Dolores	1,512
Petén		Melchor de Mencos	1,506
Petén	Hojas	San Luis	1,522
Petén		Dolores	1,515
Petén		Melchor de Mencos	1,525

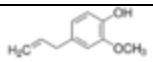
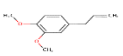
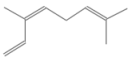
Fuente: elaboración propia.

Tabla XIII. **Composición química del aceite esencial de las hojas de pimienta gorda obtenida a escala planta piloto, procedentes de Melchor de Mencos, mediante el método de GC-MS**

Núm.	Número CAS	Nombre IUPAC	Nombre común	Estructura molecular	Molécula	% Área
1	97-53-0	2-Metoxi-4-(2-propenil)fenol	Eugenol		$C_{10}H_{12}O_2$	28,10
2	93-15-2	1,2-Dimetoxi-4-(2-propenil)benceno	Metil eugenol		$C_{11}H_{14}O_2$	20,22
3	87-44-5	8-Metileno-4,11,11-(trimetil)Biciclo[7,2,0] 4 undeceno	Cariofileno		$C_{15}H_{24}$	16,72
4	28634-89-1	4-Metil-1-(1-metiletil)Biciclo[3,1,0] 2 hexeno	Beta tujeno		$C_{10}H_{16}$	7,53
5	1000062-61-9	1,5,9,9-tetrametil-1,4,7,-Cicloundecatrieno	_____		$C_{15}H_{24}$	3,37
6	3338-55-4	3,7-dimetil1,3,6-Octatrieno, (3Cis)	Ocimeno		$C_{10}H_{16}$	3,01
7	17699-14-8	3ª,3b,4,5,6,7-hexahidro-3,7-dimetil-4-(1-metiletil)(1,3)ciclopropano[1,2]benceno	alfa cubebeno		$C_{15}H_{24}$	2,32
8	1139-30-6	4,12,12-trimetil-9-metileno 5-Oxatricilo [8,2,0,4,6]dodecano	Óxido de cariofileno		$C_{15}H_{24}O$	2,25
9	483-76-1	4,7-dimetil-1-propan-2-II-1,2,3,5,6,8a-Hexahidronaftaleno	Naftaleno		$C_{15}H_{24}$	2,15
10	57-10-3	Ácido hexadecanoico	Ácido palmítico		$C_{16}H_{32}O_2$	0,98

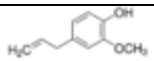
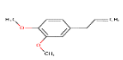
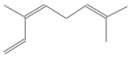
Fuente: elaboración propia.

Tabla XIV. **Composición química del aceite esencial de las hojas de pimienta gorda obtenido a escala planta piloto, procedentes de Dolores, Petén, mediante el método de GC-MS**

Núm.	Número CAS	Nombre IUPAC	Nombre común	Estructura molecular	Molécula	% Área
1	97-53-0	2-Metoxi-4-(2-propenil)fenol	Eugenol		C10H12O2	21,06
2	93-15-2	1,2-Dimetoxi-4-(2-propenil)benceno	Metil eugenol		C11H14O2	4,87
3	87-44-5	8-Metileno-4,11,11(trimetil) Biciclo[7,2,0] 4 undeceno	Cariofileno		C15H24	4,36
4	28634-89-1	4-Metil-1-(1-metiletil) Biciclo[3,1,0] 2 hexeno	Beta tujeno		C10H16	5,73
5	1000062-61-9	1,5,9,9-tetrametil-1,4,7,-Cicloundecatrieno	_____		C15H24	4,81
6	3338-55-4	3,7-dimetil-1,3,6-Octatrieno, (3Cis)	Ocimeno		C10H16	1,81
7	17699-14-8	3a,3b,4,5,6,7-hexahidro-3,7-dimetil-4-(1-metiletil) (1,3)ciclopropano[1,2]benceno	alfa cubebeno		C15H24	3,50
8	1139-30-6	4,12,12-trimetil-9-metileno 5-Oxatriciclo [8,2,0,4,6]dodecano,	Óxido de cariofileno		C15H24O	4,36
9	483-76-1	4,7-dimetil-1-propan-2-Il-1,2,3,5,6,8a-hexahidronaftaleno	Naftaleno		C15H24	2,98
10	57-10-3	Ácido hexadecanoico	Ácido palmítico		C16H32O2	1,35

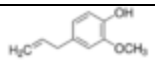
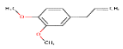
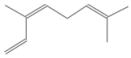
Fuente: elaboración propia.

Tabla XV. **Composición química del aceite esencial de las hojas de pimienta gorda obtenido a escala planta piloto, procedentes de San Luis Petén, mediante el método de GC-MS**

Núm.	Número CAS	Nombre IUPAC	Nombre común	Estructura molecular	Molécula	% Área
1	97-53-0	2-Metoxi-4-(2-propenil)fenol	Eugenol		$C_{10}H_{12}O_2$	52,79
2	93-15-2	1,2-Dimetoxi-4-(2-propenil)benceno	Metil eugenol		$C_{11}H_{14}O_2$	
3	87-44-5	8-Metileno-4,11,11(trimetil) Biciclo[7,2,0] 4 undeceno	Cariofileno		$C_{15}H_{24}$	0,53
4	28634-89-1	4-Metil-1-(1-metiletil) Biciclo[3,1,0] 2 hexeno	Beta tujeno		$C_{10}H_{16}$	7,30
5	1000062-61-9	1,5,9,9-tetrametil-1,4,7,-Cicloundecatrieno	_____		$C_{15}H_{24}$	2,94
6	3338-55-4	3,7-dimetil-1,3,6-Octatrieno, (3Cis)	Ocimeno		$C_{10}H_{16}$	1,62
7	17699-14-8	3a,3b,4,5,6,7-hexahidro-3,7-dimetil-4-(1-metiletil) (1,3)ciclopropano[1,2]benceno	alfa cubebeno		$C_{15}H_{24}$	1,36
8	1139-30-6	4,12,12-trimetil-9-metileno 5-Oxatriciclo [8,2,0,4,6]dodecano,	Óxido de cariofileno		$C_{15}H_{24}O$	4,13
9	483-76-1	4,7-dimetil-1-propan-2-Il-1,2,3,5,6,8a-hexahidronaftaleno	Naftaleno		$C_{15}H_{24}$	1,64
10	57-10-3	Ácido hexadecanoico	Ácido palmítico		$C_{16}H_{32}O_2$	2,58

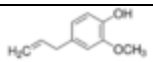
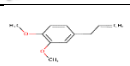
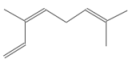
Fuente: elaboración propia.

Tabla XVI. **Composición química del aceite esencial de los frutos de pimienta gorda, obtenido a escala planta piloto, procedentes de Melchor de Mencos, mediante el método de GC-MS**

Núm.	Número CAS	Nombre IUPAC	Nombre común	Estructura molecular	Molécula	% Área
1	97-53-0	2-Metoxi-4-(2-propenil)fenol	Eugenol		$C_{10}H_{12}O_2$	24,30
2	93-15-2	1,2-Dimetoxi-4-(2-propenil)benceno	Metil eugenol		$C_{11}H_{14}O_2$	4,89
3	87-44-5	8-Metileno-4,11,11(trimetil) Biciclo[7,2,0] 4 undeceno	Cariofileno		$C_{15}H_{24}$	26,17
4	28634-89-1	4-Metil-1-(1-metiletil) Biciclo[3,1,0] 2 hexeno	Beta tujeno		$C_{10}H_{16}$	8,05
5	1000062-61-9	1,5,9,9-tetrametil-1,4,7,-Cicloundecatrieno	———		$C_{15}H_{24}$	4,75
6	3338-55-4	3,7-dimetil-1,3,6-Octatrieno, (3Cis)	Ocimeno		$C_{10}H_{16}$	3,14
7	17699-14-8	3a,3b,4,5,6,7-hexahidro-3,7-dimetil-4-(1-metiletil) (1,3)ciclopropano[1,2]benceno	alfa cubebeno		$C_{15}H_{24}$	6,43
8	1139-30-6	4,12,12-trimetil-9-metileno 5-Oxatriciclo [8,2,0,4,6]dodecano,	Óxido de cariofileno		$C_{15}H_{24}O$	2,65
9	483-76-1	4,7-dimetil-1-propan-2-Il-1,2,3,5,6,8a-hexahidronaftaleno	Naftaleno		$C_{15}H_{24}$	3,47
10	57-10-3	Ácido hexadecanoico	Ácido palmítico		$C_{16}H_{32}O_2$	0,30

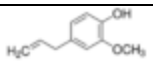
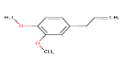
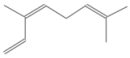
Fuente: elaboración propia.

Tabla XVII. **Composición química del aceite esencial de los frutos de pimienta gorda, obtenido a escala planta piloto, procedentes de Dolores, Petén, mediante el método de GC-MS**

Núm.	Número CAS	Nombre IUPAC	Nombre común	Estructura molecular	Molécula	% Área
1	97-53-0	2-Metoxi-4-(2-propenil)fenol	Eugenol		$C_{10}H_{12}O_2$	39,32
2	93-15-2	1,2-Dimetoxi-4-(2-propenil)benceno	Metil eugenol		$C_{11}H_{14}O_2$	0,42
3	87-44-5	8-Metileno-4,11,11(trimetil) Biciclo[7,2,0] 4 undeceno	Cariofileno		$C_{15}H_{24}$	16,22
4	28634-89-1	4-Metil-1-(1-metiletil) Biciclo[3,1,0] 2 hexeno	Beta tujeno		$C_{10}H_{16}$	
5	1000062-61-9	1,5,9,9-tetrametil-1,4,7,-Cicloundecatrieno	———		$C_{15}H_{24}$	3,45
6	3338-55-4	3,7-dimetil-1,3,6-Octatrieno, (3Cis)	Ocimeno		$C_{10}H_{16}$	2,63
7	17699-14-8	3a,3b,4,5,6,7-hexahidro-3,7-dimetil-4-(1-metiletil) (1,3)ciclopropano[1,2]benceno	alfa cubebeno		$C_{15}H_{24}$	1,47
8	1139-30-6	4,12,12-trimetil-9-metileno 5-Oxatriciclo [8,2,0,4,6]dodecano,	Óxido de cariofileno		$C_{15}H_{24}O$	6,28
9	483-76-1	4,7-dimetil-1-propan-2-Il-1,2,3,5,6,8a-hexahidronaftaleno	Naftaleno		$C_{15}H_{24}$	1,75
10	57-10-3	Ácido hexadecanoico	Ácido palmítico		$C_{16}H_{32}O_2$	1,58

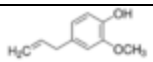
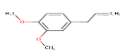
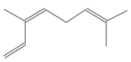
Fuente: elaboración propia.

Tabla XVIII. **Composición química del aceite esencial de los frutos de pimienta gorda, obtenido a escala planta piloto, procedentes de San Luis, Petén, mediante el método de GC-MS**

Núm.	Numero CAS	Nombre IUPAC	Nombre común	Estructura molecular	Molécula	% Area
1	97-53-0	2-Metoxi-4-(2-propenil)fenol	Eugenol		$C_{10}H_{12}O_2$	26,11
2	93-15-2	1,2-Dimetoxi-4-(2-propenil)benceno	Metil eugenol		$C_{11}H_{14}O_2$	15,50
3	87-44-5	8-Metileno-4,11,11(trimetil) Biciclo[7,2,0] 4 undeceno	Cariofileno		$C_{15}H_{24}$	19,70
4	28634-89-1	4-Metil-1-(1-metiletil) Biciclo[3,1,0] 2 hexeno	Beta tujeno		$C_{10}H_{16}$	
5	1000062-61-9	1,5,9,9-tetrametil-1,4,7,-Cicloundecatrieno	———		$C_{15}H_{24}$	3,13
6	3338-55-4	3,7-dimetil-1,3,6-Octatrieno, (3Cis)	Ocimeno		$C_{10}H_{16}$	
7	17699-14-8	3a,3b,4,5,6,7-hexahidro-3,7-dimetil-4-(1-metiletil) (1,3)ciclopropano[1,2]benceno	alfa cubebeno		$C_{15}H_{24}$	2,59
8	1139-30-6	4,12,12-trimetil-9-metileno 5-Oxatriciclo [8,2,0,4,6]dodecano,	Óxido de cariofileno		$C_{15}H_{24}O$	
9	483-76-1	4,7-dimetil-1-propan-2-Il-1,2,3,5,6,8a-hexahidronaftaleno	Naftaleno		$C_{15}H_{24}$	1,61
10	57-10-3	Ácido hexadecanoico	Ácido palmítico		$C_{16}H_{32}O_2$	26,11

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIX. **Composición química del aceite esencial de las hojas de pimienta gorda, obtenido a escala planta piloto, procedentes de Santa María Cahabón, mediante el método de GC-MS**

Núm.	Número CAS	Nombre IUPAC	Nombre común	Estructura molecular	Molécula	% Área
1	97-53-0	2-Metoxi-4-(2-propenil)fenol	Eugenol		$C_{10}H_{12}O_2$	41,24
2	93-15-2	1,2-Dimetoxi-4-(2-propenil)benceno	Metil eugenol		$C_{11}H_{14}O_2$	4,95
3	87-44-5	8-Metileno-4,11,11(trimetil) Biciclo[7,2,0] 4 undeceno	Cariofileno		$C_{15}H_{24}$	10,83
4	28634-89-1	4-Metil-1-(1-metiletil) Biciclo[3,1,0] 2 hexeno	Beta tujeno		$C_{10}H_{16}$	7,31
5	1000062-61-9	1,5,9,9-tetrametil-1,4,7,-Cicloundecatrieno	_____		$C_{15}H_{24}$	2,39
6	3338-55-4	3,7-dimetil-1,3,6-Octatrieno, (3Cis)	Ocimeno		$C_{10}H_{16}$	1,59
7	17699-14-8	3a,3b,4,5,6,7-hexahidro-3,7-dimetil-4-(1-metiletil) (1,3)ciclopropano[1,2]benceno	alfa cubebeno		$C_{15}H_{24}$	1,06
8	1139-30-6	4,12,12-trimetil-9-metileno 5-Oxatriciclo [8,2,0,4,6]dodecano,	Óxido de cariofileno		$C_{15}H_{24}O$	3,66
9	483-76-1	4,7-dimetil-1-propan-2-Il-1,2,3,5,6,8a-hexahidronaftaleno	Naftaleno		$C_{15}H_{24}$	1,46
10	57-10-3	Ácido hexadecanoico	Ácido palmítico		$C_{16}H_{32}O_2$	____

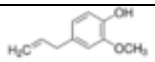
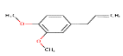
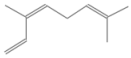
Fuente: elaboración propia.

Tabla XX. **Composición química del aceite esencial de las hojas de pimienta gorda, obtenido a escala planta piloto, procedentes de San Pedro Carchá, mediante el método de GC-MS**

Núm.	Número CAS	Nombre IUPAC	Nombre común	Estructura molecular	Molécula	% Área
1	97-53-0	2-Metoxi-4-(2-propenil)fenol	Eugenol		$C_{10}H_{12}O_2$	37,99
2	93-15-2	1,2-Dimetoxi-4-(2-propenil)benceno	Metil eugenol		$C_{11}H_{14}O_2$	4,18
3	87-44-5	8-Metileno-4,11,11(trimetil) Biciclo[7,2,0] 4 undeceno	Cariofileno		$C_{15}H_{24}$	18,19
4	28634-89-1	4-Metil-1-(1-metiletil) Biciclo[3,1,0] 2 hexeno	Beta tujeno		$C_{10}H_{16}$	5,86
5	1000062-61-9	1,5,9,9-tetrametil-1,4,7,-Cicloundecatrieno	———		$C_{15}H_{24}$	3,63
6	3338-55-4	3,7-dimetil-1,3,6-Octatrieno, (3Cis)	Ocimeno		$C_{10}H_{16}$	3,94
7	17699-14-8	3a,3b,4,5,6,7-hexahidro-3,7-dimetil-4-(1-metiletil) (1,3)ciclopropano[1,2]benceno	alfa cubebeno		$C_{15}H_{24}$	1,86
8	1139-30-6	4,12,12-trimetil-9-metileno 5-Oxatriciclo [8,2,0,4,6]dodecano,	Óxido de cariofileno		$C_{15}H_{24}O$	2,69
9	483-76-1	4,7-dimetil-1-propan-2-Il-1,2,3,5,6,8a-hexahidronaftaleno	Naftaleno		$C_{15}H_{24}$	1,54
10	57-10-3	Ácido hexadecanoico	Ácido palmítico		$C_{16}H_{32}O_2$	0,97

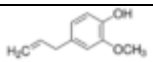
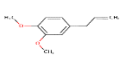
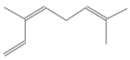
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXI. **Composición química del aceite esencial de las hojas de pimienta gorda, obtenido a escala planta piloto, procedentes de Campur, mediante el método de GC-MS**

Núm.	Número CAS	Nombre IUPAC	Nombre común	Estructura molecular	Molécula	% Área
1	97-53-0	2-Metoxi-4-(2-propenil)fenol	Eugenol		$C_{10}H_{12}O_2$	16,05
2	93-15-2	1,2-Dimetoxi-4-(2-propenil)benceno	Metil eugenol		$C_{11}H_{14}O_2$	2,79
3	87-44-5	8-Metileno-4,11,11(trimetil) Biciclo[7,2,0] 4 undeceno	Cariofileno		$C_{15}H_{24}$	13,99
4	28634-89-1	4-Metil-1-(1-metiletil) Biciclo[3,1,0] 2 hexeno	Beta Tujeno		$C_{10}H_{16}$	
5	1000062-61-9	1,5,9,9-tetrametil-1,4,7,-Cicloundecatrieno	_____		$C_{15}H_{24}$	2,91
6	3338-55-4	3,7-dimetil-1,3,6-Octatrieno, (3Cis)	Ocimeno		$C_{10}H_{16}$	3,37
7	17699-14-8	3a,3b,4,5,6,7-hexahidro-3,7-dimetil-4-(1-metiletil) (1,3)ciclopropano[1,2]benceno	alfa cubebeno		$C_{15}H_{24}$	2,19
8	1139-30-6	4,12,12-trimetil-9-metileno 5-Oxatriciclo [8,2,0,4,6]dodecano,	Óxido de cariofileno		$C_{15}H_{24}O$	6,43
9	483-76-1	4,7-dimetil-1-propan-2-Il-1,2,3,5,6,8a-hexahidronaftaleno	Naftaleno		$C_{15}H_{24}$	2,32
10	57-10-3	Ácido hexadecanoico	Ácido palmítico		$C_{16}H_{32}O_2$	1,16

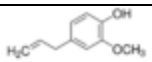
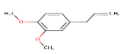
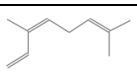
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXII. **Composición química del aceite esencial de los frutos de pimienta gorda, obtenido a escala planta piloto, procedentes de Santa María Cahabón, mediante el método de GC-MS**

Núm.	Número CAS	Nombre IUPAC	Nombre común	Estructura molecular	Molécula	% Área
1	97-53-0	2-Metoxi-4-(2-propenil)fenol	Eugenol		$C_{10}H_{12}O_2$	39,46
2	93-15-2	1,2-Dimetoxi-4-(2-propenil)benceno	Metil eugenol		$C_{11}H_{14}O_2$	0,46
3	87-44-5	8-Metileno-4,11,11(trimetil) Biciclo[7,2,0] 4 undeceno	Cariofileno		$C_{15}H_{24}$	17,24
4	28634-89-1	4-Metil-1-(1-metiletil) Biciclo[3,1,0] 2 hexeno	Beta tujeno		$C_{10}H_{16}$	9,52
5	1000062-61-9	1,5,9,9-tetrametil-1,4,7,-Cicloundecatrieno	———		$C_{15}H_{24}$	3,22
6	3338-55-4	3,7-dimetil-1,3,6-Octatrieno, (3Cis)	Ocimeno		$C_{10}H_{16}$	1,31
7	17699-14-8	3a,3b,4,5,6,7-hexahidro-3,7-dimetil-4-(1-metiletil) (1,3)ciclopropano[1,2]benceno	alfa cubebeno		$C_{15}H_{24}$	1,50
8	1139-30-6	4,12,12-trimetil-9-metileno 5-Oxatriciclo [8,2,0,4,6]dodecano,	Óxido de cariofileno		$C_{15}H_{24}O$	5,51
9	483-76-1	4,7-dimetil-1-propan-2-Il-1,2,3,5,6,8a-hexahidronaftaleno	Naftaleno		$C_{15}H_{24}$	1,74
10	57-10-3	Ácido hexadecanoico	Ácido palmítico		$C_{16}H_{32}O_2$	1,50

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIII. **Composición química del aceite esencial de los frutos de pimienta gorda, obtenidos a escala planta piloto, procedentes de San Pedro Carcha, mediante el método de GC-MS**

Núm.	Número CAS	Nombre IUPAC	Nombre común	Estructura molecular	Molécula	% Área
1	97-53-0	2-Metoxi-4-(2-propenil)fenol	Eugenol		$C_{10}H_{12}O_2$	30,71
2	93-15-2	1,2-Dimetoxi-4-(2-propenil)benceno	Metil eugenol		$C_{11}H_{14}O_2$	1,25
3	87-44-5	8-Metileno-4,11,11(trimetil) Biciclo[7,2,0] 4 undeceno	Cariofileno		$C_{15}H_{24}$	13,29
4	28634-89-1	4-Metil-1-(1-metiletil) Biciclo[3,1,0] 2 hexeno	Beta tujeno		$C_{10}H_{16}$	5,16
5	1000062-61-9	1,5,9,9-tetrametil-1,4,7,-Cicloundecatrieno	_____		$C_{15}H_{24}$	3,18
6	3338-55-4	3,7-dimetil-1,3,6-Octatrieno, (3Cis)	Ocimeno		$C_{10}H_{16}$	3,48
7	17699-14-8	3a,3b,4,5,6,7-hexahidro-3,7-dimetil-4-(1-metiletil) (1,3)ciclopropano[1,2]benceno	alfa cubebeno		$C_{15}H_{24}$	0,49
8	1139-30-6	4,12,12-trimetil-9-metileno 5-Oxatriciclo [8,2,0,4,6]dodecano,	Óxido de cariofileno		$C_{15}H_{24}O$	3,13
9	483-76-1	4,7-dimetil-1-propan-2-Il-1,2,3,5,6,8a-hexahidronaftaleno	Naftaleno		$C_{15}H_{24}$	0,32
10	57-10-3	Ácido hexadecanoico	Ácido palmítico		$C_{16}H_{32}O_2$	____

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIV. **Composición química del aceite esencial de los frutos de pimienta gorda, obtenido a escala planta piloto, procedentes de Campur, mediante el método de GC-MS**

Núm.	Número CAS	Nombre IUPAC	Nombre común	Estructura molecular	Molécula	% Área
1	97-53-0	2-Metoxi-4-(2-propenil)fenol	Eugenol		$C_{10}H_{12}O_2$	21,93
2	93-15-2	1,2-Dimetoxi-4-(2-propenil)benceno	Metil eugenol		$C_{11}H_{14}O_2$	____
3	87-44-5	8-Metileno-4,11,11(trimetil) Biciclo[7,2,0] 4 undeceno	Cariofileno		$C_{15}H_{24}$	24,94
4	28634-89-1	4-Metil-1-(1-metiletil) Biciclo[3,1,0] 2 hexeno	Beta tujeno		$C_{10}H_{16}$	15,93
5	1000062-61-9	1,5,9,9-tetrametil-1,4,7,-Cicloundecatrieno	_____		$C_{15}H_{24}$	6,13
6	3338-55-4	3,7-dimetil-1,3,6-Octatrieno, (3Cis)	Ocimeno		$C_{10}H_{16}$	2,91
7	17699-14-8	3a,3b,4,5,6,7-hexahidro-3,7-dimetil-4-(1-metiletil) (1,3)ciclopropano[1,2]benceno	alfa cubebeno		$C_{15}H_{24}$	____
8	1139-30-6	4,12,12-trimetil-9-metileno 5-Oxatriciclo [8,2,0,4,6]dodecano,	Óxido de cariofileno		$C_{15}H_{24}O$	1,02
9	483-76-1	4,7-dimetil-1-propan-2-Il-1,2,3,5,6,8a-hexahidronaftaleno	Naftaleno		$C_{15}H_{24}$	____
10	57-10-3	Ácido hexadecanoico	Ácido palmítico		$C_{16}H_{32}O_2$	____

Fuente: elaboración propia.

3.8. Recopilación y ordenamiento de datos obtenidos

Al concluir, la parte experimental del estudio de investigación proporcionó cierta cantidad de datos, con los que se procede a recopilar toda la información y ordenarla para luego tabularla de forma lógica y ordenada, esto con el propósito de interpretar los datos obtenidos como lo es el índice de refracción por medio de refractómetro Fisher Scientific de 60 Hertz; composición química por cromatografía de gases con acoplamiento de espectrofotometría de masas,

densidad por picnómetro de 1 ml y rendimientos por cálculos matemáticos dependiendo de un peso inicial y final de materia prima, con estas metodologías se obtienen los siguientes datos:

Tabla XXV. **Rendimiento extractivo del aceite esencial obtenido de las hojas y los frutos de la pimienta gorda cultivada en la región norte del país a escala planta piloto**

Tratamiento	Combinación	Peso materia prima (Kg)	Rendimiento (%)
1	p1.r1.n1.C1	4,00	0,4600
2	p1.r1.n1.C2	4,00	0,6057
3	p1.r1.n1.C3	4,00	0,6507
4	p1.r1.n2.C1	4,00	0,4749
5	p1.r1.n2.C2	4,00	0,4800
6	p1.r1.n2.C3	4,00	0,6154
7	p1.r1.n3.C1	4,00	0,3217
8	p1.r1.n3.C2	4,00	0,1940
9	p1.r1.n3.C3	4,00	0,4700
10	p1.r2.n1.C1	4,00	0,2526
11	p1.r2.n1.C2	4,00	0,2074
12	p1.r2.n1.C3	4,00	0,2384
13	p1.r2.n2.C1	4,00	0,2340
14	p1.r2.n2.C2	4,00	0,2190
15	p1.r2.n2.C3	4,00	0,2230
16	p1.r2.n3.C1	4,00	0,2790
17	p1.r2.n3.C2	4,00	0,2675
18	p1.r2.n3.C3	4,00	0,3073
19	p2.r1.n1.C1	4,00	0,4151
20	p2.r1.n1.C2	4,00	0,3872
21	p2.r1.n1.C3	4,00	0,4014
22	p2.r1.n2.C1	4,00	0,2697
23	p2.r1.n2.C2	4,00	0,3202
24	p2.r1.n2.C3	4,00	0,2551
25	p2.r1.n3.C1	4,00	0,8611
26	p2.r1.n3.C2	4,00	0,7593
27	p2.r1.n3.C3	4,00	0,8608
28	p2.r2.n1.C1	4,00	0,2674
29	p2.r2.n1.C2	4,00	0,2821
30	p2.r2.n1.C3	4,00	0,2463
31	p2.r2.n2.C1	4,00	0,4520
32	p2.r2.n2.C2	4,00	0,4937
33	p2.r2.n2.C3	4,00	0,4169
34	p2.r2.n3.C1	4,00	0,7939
35	p2.r2.n3.C2	4,00	0,7818
36	p2.r2.n3.C3	4,00	0,8551

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVI. **Densidad del aceite esencial obtenido de las hojas y frutos de la pimienta gorda cultivada en la región norte del país a escala planta piloto**

Tratamiento	Combinación	Volumen de picnómetro (ml)	Densidad (g/mL)
1	p1.r1.n1.C1	5	0,9356
2	p1.r1.n1.C2	5	0,9937
3	p1.r1.n1.C3	5	0,9959
4	p1.r1.n2.C1	5	0,9030
5	p1.r1.n2.C2	5	0,9487
6	p1.r1.n2.C3	5	0,9214
7	p1.r1.n3.C1	5	0,9555
8	p1.r1.n3.C2	5	0,9477
9	p1.r1.n3.C3	5	0,9629
10	p1.r2.n1.C1	5	0,9883
11	p1.r2.n1.C2	5	0,9448
12	p1.r2.n1.C3	5	0,9084
13	p1.r2.n2.C1	5	0,9680
14	p1.r2.n2.C2	5	1,0098
15	p1.r2.n2.C3	5	0,9760
16	p1.r2.n3.C1	5	0,9219
17	p1.r2.n3.C2	5	0,9501
18	p1.r2.n3.C3	5	0,9324
19	p2.r1.n1.C1	5	0,9247
20	p2.r1.n1.C2	5	0,9238
21	p2.r1.n1.C3	5	0,9199
22	p2.r1.n2.C1	5	0,9255
23	p2.r1.n2.C2	5	0,8833
24	p2.r1.n2.C3	5	0,8480
25	p2.r1.n3.C1	5	0,9909
26	p2.r1.n3.C2	5	0,9791
27	p2.r1.n3.C3	5	0,9699
28	p2.r2.n1.C1	5	0,8858
29	p2.r2.n1.C2	5	0,8979
30	p2.r2.n1.C3	5	0,9086
31	p2.r2.n2.C1	5	0,9863
32	p2.r2.n2.C2	5	0,9755
33	p2.r2.n2.C3	5	0,9847
34	p2.r2.n3.C1	5	0,9291
35	p2.r2.n3.C2	5	0,9111
36	p2.r2.n3.C3	5	0,9791

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVII. **Índice de refracción del aceite esencial obtenido de las hojas y los frutos de la pimienta gorda cultivada en la región norte del país, cultivada en la región norte del país a escala planta piloto**

Región de procedencia	Sección vegetal	Locación	Índice de refracción
Alta Verapaz	Frutos	Campur	1,506
Alta Verapaz		San Pedro Carchá	1,504
Alta Verapaz		Santa María Cahabón	1,492
Alta Verapaz	Hojas	Campur	1,499
Alta Verapaz		San Pedro Carchá	1,516
Alta Verapaz		Santa María Cahabón	1,515
Petén	Frutos	San Luis	1,511
Petén		Dolores	1,512
Petén		Melchor de Mencos	1,506
Petén	Hojas	San Luis	1,522
Petén		Dolores	1,515
Petén		Melchor de Mencos	1,525

Fuente: elaboración propia.

3.9. Análisis estadístico

Se realizó un análisis estadístico para obtener una mejor precisión de los datos obtenidos; también, para determinar si existen diferencias estadísticas significativas entre los datos obtenidos; esto por medio de análisis de varianza Andeva.

3.9.1. Supuestos del Andeva

Condiciones para realizar el análisis de varianza.

- Términos del error: aleatoria, independiente y normalmente distribuidos
- Las varianzas de los diferentes grupos son homogéneas

- Las varianzas y los promedios de los grupos no están correlacionados
- Los efectos principales son aditivos

$$\sigma^2 T_1 = \sigma^2 T_2 = \sigma^2 T_3 = \cdots .. \sigma^2 T_n$$

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

  - Ho: ti= t i = todos los tratamientos son iguales

  - Hi: ti ≠ t para al menos un i (al menos un tratamiento es diferente)

- Estadístico de prueba: se plantea un estadístico de prueba F.

- Estimar estadístico calculado: Fc 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 (Fc <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

$$\overline{X} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} ai = \frac{a1+a2+\cdots+an}{n} \qquad \text{[Ec.5]}$$

Donde:

- X= media aritmética
- an= valor del dato obtenido
- n= número total de datos observados

3.9.5. Desviación

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=n} |Xi-X|^2}{n-1}} \qquad \text{[Ec.6]}$$

Donde:

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

- Xi= valor de cada observación.

Tabla XXVIII. **Datos Andeva**

Tratamientos	**Repeticiones**			**Suma de cuadrados**	**Cuadro medio**	**Fc**	**T tabulado**
1	1	2	3	∑yi-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 XXIX. **Resumen estadístico para el rendimiento extractivo del aceite esencial en función del nivel altitudinal**

Nivel altitudinal	Recuento	Promedio	Desviación estándar	Coeficiente de variación	Mínimo	Máximo
Campur 1475	6	0,306583	0,0915395	29,8579 %	0,194	0,47
Dolores 400 msnm	6	0,367933	0,0999418	27,163 %	0,2551	0,4937
Melchor de Mencos 75 msnm	6	0,33325	0,0758516	22,7612 %	0,2463	0,4151
San Luis Petén 575 msnm	6	0,818667	0,0456073	5,57093 %	0,7593	0,8611
San Pedro Carchá 1300 msnm	6	0,374383	0,170948	45,6612 %	0,219	0,6154
Santa María Cahab[on 238 msnm	6	0,402467	0,196806	48,8999 %	0,2074	0,6507
Total	36	0,433881	0,211821	48,8202 %	0,194	0,8611

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXX. **Anova para el rendimiento extractivo del aceite esencial en función del nivel altitudinal**

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	1,0996	5	0,219921	14,01	0,0000
Intra grupos	0,470785	30	0,0156928		
Total (Corr.)	1,57039	35			

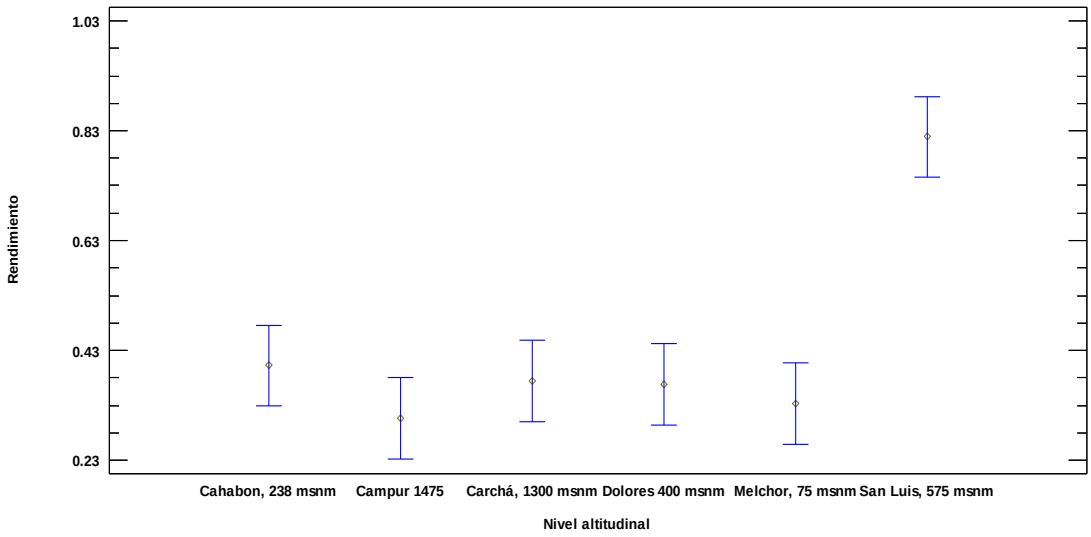
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXI. **Comparación entre los niveles para el rendimiento extractivo del aceite esencial en función del nivel altitudinal**

Comparación	Sigma1	Sigma2	F-Ratio	P-Valor
Campur 1475 / Dolores 400 msnm	0,0915395	0,0999418	0,838924	0,8519
Campur 1475 / Melchor de Mencos 75 msnm	0,0915395	0,0758516	1,45642	0,6900
Campur 1475 / San Luis Petén 575 msnm	0,0915395	0,0456073	4,02854	0,1524
Campur 1475 / San Pedro Carchá 1300 msnm	0,0915395	0,170948	0,286741	0,1966
Campur 1475 / Santa María Cahabón 238 msnm	0,0915395	0,196806	0,216342	0,1183
Dolores 400 msnm / Melchor de Mencos 75 msnm	0,0999418	0,0758516	1,73606	0,5597
Dolores 400 msnm / San Luis Petén 575 msnm	0,0999418	0,0456073	4,80204	0,1101
Dolores 400 msnm / San Pedro Carchá 1300 msnm	0,0999418	0,170948	0,341796	0,2637
Dolores 400 msnm / Santa María Cahabón 238 msnm	0,0999418	0,196806	0,257881	0,1632
Melchor de Mencos 75 msnm / San Luis Petén 575 msnm	0,0758516	0,0456073	2,76605	0,2885
Melchor de Mencos 75 msnm / San Pedro Carchá 1300 msnm	0,0758516	0,170948	0,19688	0,0989
Melchor de Mencos 75 msnm / Santa María Cahabón 238 msnm	0,0758516	0,196806	0,148543	0,0565
San Luis Petén 575 msnm / San Pedro Carchá 1300 msnm	0,0456073	0,170948	0,0711773	0,0115
San Luis Petén 575 msnm / Santa María Cahab´pn 238 msnm	0,0456073	0,196806	0,0537023	0,0060
San Pedro Carchá 1300 msnm / Santa María Cahabón 238 msnm	0,170948	0,196806	0,754487	0,7648

Fuente: elaboración propia.

Figura 1. **Media y 95 % de Fisher LSD para el rendimiento extractivo del aceite esencial en función del nivel altitudinal**



Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXII. **Resumen estadístico para el rendimiento extractivo del aceite esencial en función de la sección vegetal**

Sección vegetal	Recuento	Promedio	Desviación estándar	Coeficiente de variación	Mínimo	Máximo
Fruto	18	0,378744	0,214772	56,7064 %	0,2074	0,8551
Hoja	18	0,489017	0,199527	40,8017 %	0,194	0,8611
Total	36	0,433881	0,211821	48,8202 %	0,194	0,8611

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXIII. **Anova para el rendimiento extractivo del aceite esencial analizado en función de la sección vegetal**

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,10944	1	0,10944	2,55	0,1198
Intra grupos	1,46095	34	0,0429691		
Total (Corr.)	1,57039	35			

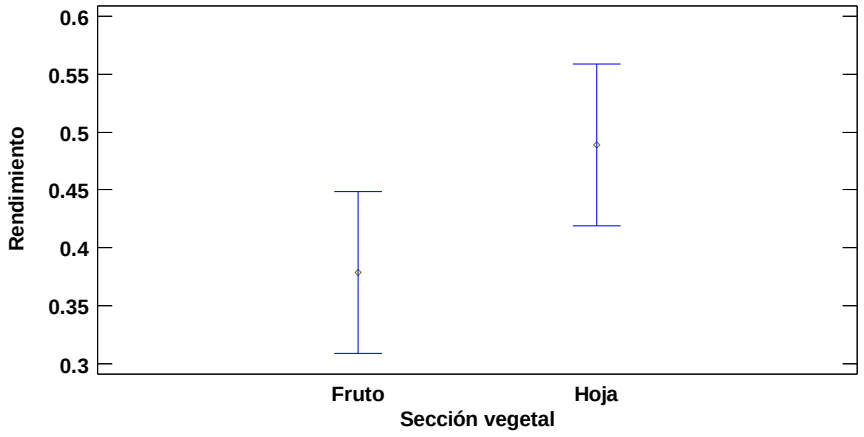
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXIV. **Comparación entre niveles para el rendimiento extractivo del aceite esencial en función de la sección vegetal**

Comparación	Sigma1	Sigma2	F-Ratio	P-Valor
Fruto / hoja	0,214772	0,199527	1,15865	0,7649

Fuente: elaboración propia.

Figura 2. **Media y 95 % de Fisher LSD para el rendimiento extractivo del aceite esencial en función de la sección vegetal**



Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXV. **Resumen estadístico para el rendimiento extractivo del aceite esencial en función de la procedencia**

Procedencia	Recuento	Promedio	Desviación estándar	Coeficiente de variación	Mínimo	Máximo
Alta Verapaz	18	0,361144	0,155456	43,0455%	0,194	0,6507
Petén	18	0,506617	0,238758	47,128%	0,2463	0,8611
Total	36	0,433881	0,211821	48,8202%	0,194	0,8611

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVI. **Anova para el rendimiento extractivo del aceite esencial en función de la procedencia**

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,19046	1	0,19046	4,69	0,0374
Intra grupos	1,37993	34	0,0405861		
Total (Corr.)	1,57039	35			

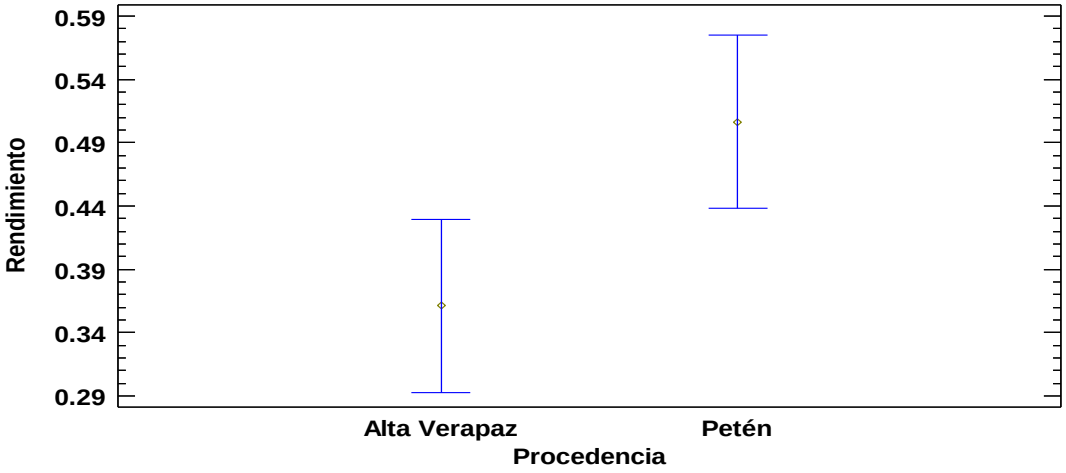
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVII. **Comparación entre los niveles para el rendimiento extractivo del aceite esencial en función de la procedencia**

Comparación	Sigma1	Sigma2	F-Ratio	P-Valor
Alta Verapaz / Petén	0.155456	0.238758	0.423936	0.0858

Fuente: elaboración propia.

Figura 3. **Media y 95 % de Fisher LSD para el rendimiento extractivo del aceite esencial en función de la procedencia**



Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVIII. **Resumen estadístico de la densidad del aceite esencial en función del nivel altitudinal**

Nivel altitudinal	Recuento	Promedio	Desviación estándar	Coeficiente de variación	Mínimo	Máximo
Cahabón, 238 msnm	6	0,93871	0,046246	4,92655%	0,885846	0,990901
Campur 1475	6	0,904197	0,0319511	3,53365%	0,847978	0,92546
Carchá, 1300 msnm	6	0,960968	0,0323756	3,36906%	0,911121	0,986305
Dolores 400 msnm	6	0,951256	0,0261602	2,75007%	0,908364	0,988327
Melchor, 75 msnm	6	0,959712	0,031983	3,33256%	0,921875	1,00983
San Luis, 575 msnm	6	0,949709	0,0380575	4,00728%	0,903033	0,995864
Total	36	0,944092	0,0378758	4,01188%	0,847978	1,00983

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXIX. **Anova para la densidad del aceite esencial en función del nivel altitudinal**

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,0133933	5	0,00267866	2,18	0,0826
Intra grupos	0,036817	30	0,00122723		
Total (Corr.)	0,0502102	35			

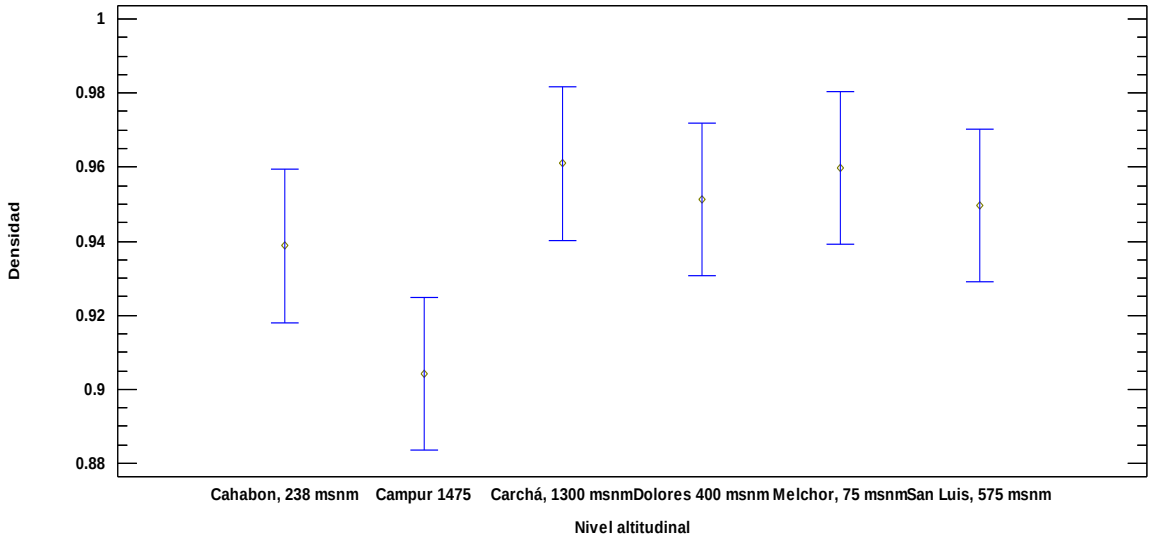
Fuente: elaboración propia.

Tabla XL. **Comparación entre niveles para la densidad del aceite esencial en función del nivel altitudinal**

Comparación	Sigma1	Sigma2	F-Ratio	P-Valor
Cahabón, 238 msnm / Campur 1475	0,046246	0,0319511	2,09496	0,4363
Cahabón, 238 msnm / Carchá, 1300 msnm	0,046246	0,0323756	2,04039	0,4525
Cahabón, 238 msnm / Dolores 400 msnm	0,046246	0,0261602	3,12512	0,2367
Cahabón, 238 msnm / Melchor, 75 msnm	0,046246	0,031983	2,0908	0,4375
Cahabón, 238 msnm / San Luis, 575 msnm	0,046246	0,0380575	1,47662	0,6793
Campur 1475 / Carchá, 1300 msnm	0,0319511	0,0323756	0,973952	0,9776
Campur 1475 / Dolores 400 msnm	0,0319511	0,0261602	1,49173	0,6715
Campur 1475 / Melchor, 75 msnm	0,0319511	0,031983	0,998011	0,9983
Campur 1475 / San Luis, 575 msnm	0,0319511	0,0380575	0,704841	0,7105
Carchá, 1300 msnm / Dolores 400 msnm	0,0323756	0,0261602	1,53163	0,6513
Carchá, 1300 msnm / Melchor, 75 msnm	0,0323756	0,031983	1,0247	0,9793
Carchá, 1300 msnm / San Luis, 575 msnm	0,0323756	0,0380575	0,723692	0,7314
Dolores 400 msnm / Melchor, 75 msnm	0,0261602	0,031983	0,669029	0,6699
Dolores 400 msnm / San Luis, 575 msnm	0,0261602	0,0380575	0,472499	0,4301
Melchor, 75 msnm / San Luis, 575 msnm	0,031983	0,0380575	0,706246	0,7121

Fuente: elaboración propia.

Figura 4. **Media y 95 % de Fisher LSD para la densidad del aceite esencial en función del nivel altitudinal**



Fuente: elaboración propia.

Tabla XLI. **Resumen estadístico de la densidad del aceite esencial en función de la sección vegetal**

Sección vegetal	Recuento	Promedio	Desviación estándar	Coeficiente de variación	Mínimo	Máximo
Fruto	18	0,921528	0,0339231	3,68118 %	0,847978	0,988327
Hoja	18	0,966656	0,0269178	2,78463 %	0,919945	1,00983
Total	36	0,944092	0,0378758	4,01188 %	0,847978	1,00983

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLII. **Anova para la densidad del aceite esencial en función de la sección vegetal**

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,0183294	1	0,0183294	19,55	0,0001
Intra grupos	0,0318809	34	0,000937672		
Total (Corr.)	0,0502102	35			

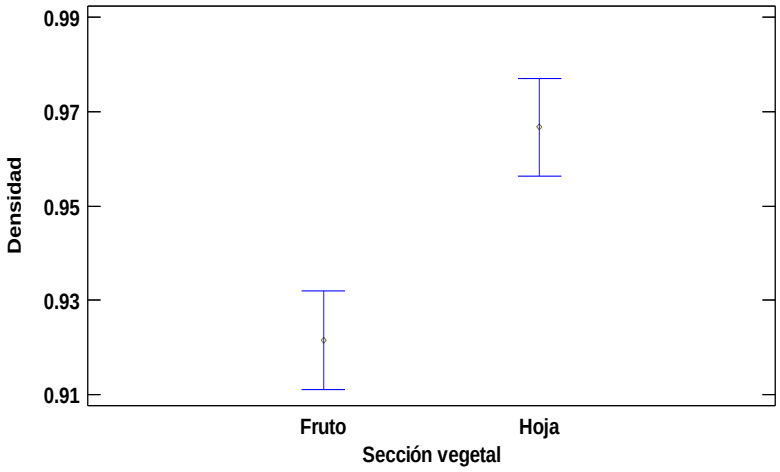
Fuente: elaboración propia.

Tabla XLIII. **Comparación entre niveles para la densidad del aceite esencial en función de la sección vegetal**

Comparación	Sigma1	Sigma2	F-Ratio	P-Valor
Fruto / hoja	0.0339231	0.0269178	1.58823	0.3494

Fuente: elaboración propia.

Figura 5. **Media y 95 % de Fisher LSD para la densidad del aceite esencial en función de la sección vegetal**



Fuente: elaboración propia.

Tabla XLIV. **Resumen estadístico de la densidad del aceite esencial en función de la procedencia**

Procedencia	Recuento	Promedio	Desviación estándar	Coeficiente de variación	Mínimo	Máximo
Alta Verapaz	18	0,934625	0,0426047	4,55848 %	0,847978	0,990901
Petén	18	0,953559	0,0307993	3,22993 %	0,903033	1,00983
Total	36	0,944092	0,0378758	4,01188 %	0,847978	1,00983

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLV. **Anova para la densidad del aceite esencial en función de la procedencia**

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,00322641	1	0,00322641	2,33	0,1358
Intra grupos	0,0469838	34	0,00138188		
Total (Corr.)	0,0502102	35			

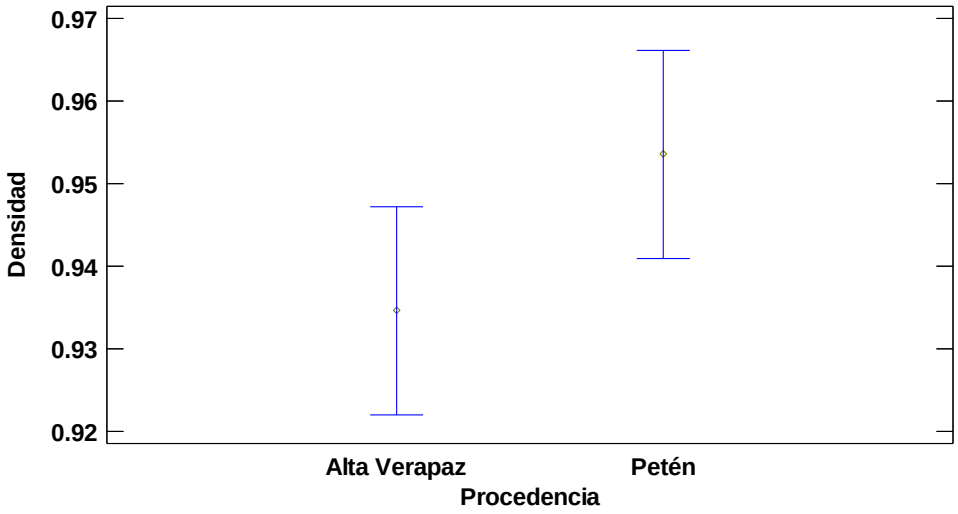
Fuente: elaboración propia.

Tabla XLVI. **Comparación entre niveles para la densidad del aceite esencial en función de la procedencia**

Comparación	Sigma1	Sigma2	F-Ratio	P-Valor
Alta Verapaz / Petén	0,0426047	0,0307993	1,91352	0,1911

Fuente: elaboración propia.

Figura 6. **Media y 95 % de Fisher LSD para la densidad del aceite esencial en función de la procedencia**



Fuente: elaboración propia.

Tabla XLVII. **Resumen estadístico de la composición química del aceite esencial analizado en función del nivel altitudinal**

Nivel altitudinal	Recuento	Promedio	Desviación estándar	Coeficiente de variación	Mínimo	Máximo
Cahabón, 238 msnm	6	28,0467	11,7522	41,9021 %	13,82	41,24
Campur 1475	6	15,165	6,0559	39,9334 %	6,86	21,93
Carchá, 1300 msnm	6	28,745	6,36742	22,1514 %	18,6	37,99
Dolores 400 msnm	6	23,8917	8,54622	35,7707 %	16,01	39,32
Melchor, 75 msnm	6	25,2633	4,46175	17,661 %	19,92	31,8
San Luis, 575 msnm	6	32,7183	13,607	41,5884 %	17,22	52,79
Total	36	25,6383	10,054	39,2147 %	6,86	52,79

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLVIII. **Anova para la composición química del aceite esencial en función del nivel altitudinal**

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	1070,76	5	214,152	2,60	0,0452
Intra grupos	2467,14	30	82,2379		
Total (Corr.)	3537,9	35			

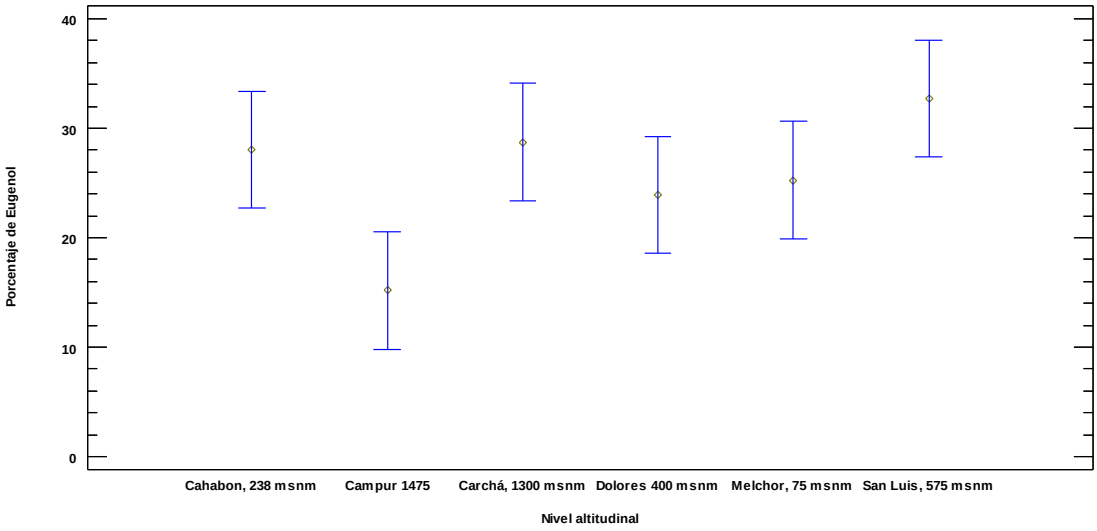
Fuente: elaboración propia.

Tabla XLIX. **Comparación entre niveles para la composición química del aceite esencial en función del nivel altitudinal**

Comparación	Sigma1	Sigma2	F-Ratio	P-Valor
Cahabón, 238 msnm / Campur 1475	11.7522	6.0559	3.76598	0,1719
Cahabón, 238 msnm / Carchá, 1300 msnm	11.7522	6.36742	3.4065	0,2047
Cahabón, 238 msnm / Dolores 400 msnm	11.7522	8.54622	1.89098	0,5013
Cahabón, 238 msnm / Melchor, 75 msnm	11.7522	4.46175	6.93784	0,0531
Cahabón, 238 msnm / San Luis, 575 msnm	11.7522	13.607	0.745946	0,7556
Campur 1475 / Carchá, 1300 msnm	6.0559	6.36742	0.904544	0,9150
Campur 1475 / Dolores 400 msnm	6.0559	8.54622	0.502122	0,4677
Campur 1475 / Melchor, 75 msnm	6.0559	4.46175	1.84224	0,5187
Campur 1475 / San Luis, 575 msnm	6.0559	13.607	0.198075	0,1001
Carchá, 1300 msnm / Dolores 400 msnm	6.36742	8.54622	0.55511	0,5340
Carchá, 1300 msnm / Melchor, 75 msnm	6.36742	4.46175	2.03665	0,4536
Carchá, 1300 msnm / San Luis, 575 msnm	6.36742	13.607	0.218978	0,1210
Dolores 400 msnm / Melchor, 75 msnm	8.54622	4.46175	3.66891	0,1800
Dolores 400 msnm / San Luis, 575 msnm	8.54622	13.607	0.394476	0,3303
Melchor, 75 msnm / San Luis, 575 msnm	4.46175	13.607	0.107519	0,0287

Fuente: elaboración propia.

Figura 7. **Media y 95 % de Fisher LSD para la composición química del aceite esencial en función del nivel altitudinal**



Fuente: elaboración propia.

Tabla L. **Resumen estadístico de la composición química del aceite esencial en función de la sección vegetal**

Sección vegetal	Recuento	Promedio	Desviación estándar	Coeficiente de variación	Mínimo	Máximo
Fruto	18	23,4394	7,57565	32,3201 %	13,5	39,46
Hoja	18	27,8372	11,8525	42,5779 %	6,86	52,79
Total	36	25,6383	10,054	39,2147 %	6,86	52,79

Fuente: elaboración propia.

Tabla LI. **Anova para la composición química del aceite esencial en función de la sección vegetal**

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	174,064	1	174,064	1,76	0,1935
Intra grupos	3363,83	34	98,9363		
Total (Corr.)	3537,9	35			

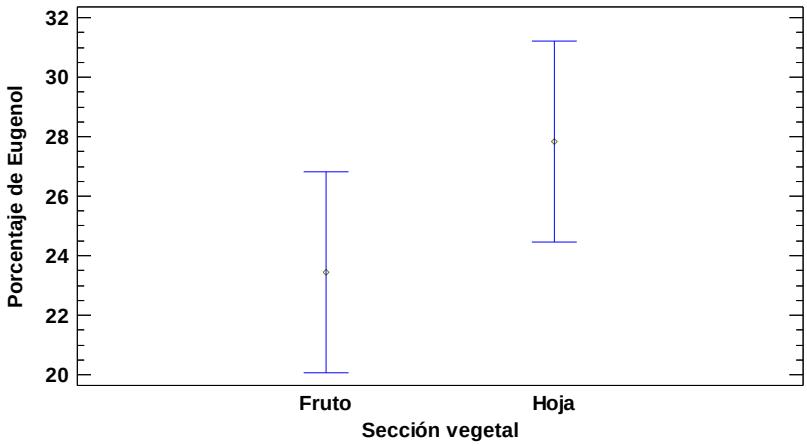
Fuente: elaboración propia.

Tabla LII. **Comparación entre niveles para la composición química del aceite esencial en función de la sección vegetal**

Comparación	Sigma1	Sigma2	F-Ratio	P-Valor
Fruto / Hoja	7,57565	11,8525	0,408525	0,0735

Fuente: elaboración propia.

Figura 8. **Media y 95 % de Fisher LSD para la composición química del aceite esencial en función de la sección vegetal**



Fuente: elaboración propia.

Tabla LIII. **Resumen estadístico de la composición química del aceite esencial en función de la procedencia**

Procedencia	Recuento	Promedio	Desviación estándar	Coeficiente de variación	Mínimo	Máximo
Alta Verapaz	18	23.9856	10.2278	42.6415 %	6.86	41.24
Petén	18	27.2911	9.88528	36.2216 %	16.01	52.79
Total	36	25.6383	10.054	39.2147 %	6.86	52.79

Fuente: elaboración propia.

Tabla LIV. **Anova para la composición química del aceite esencial en función de la procedencia**

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	98,3403	1	98,3403	0,97	0,3311
Intra grupos	3439,56	34	101,163		
Total (Corr.)	3537,9	35			

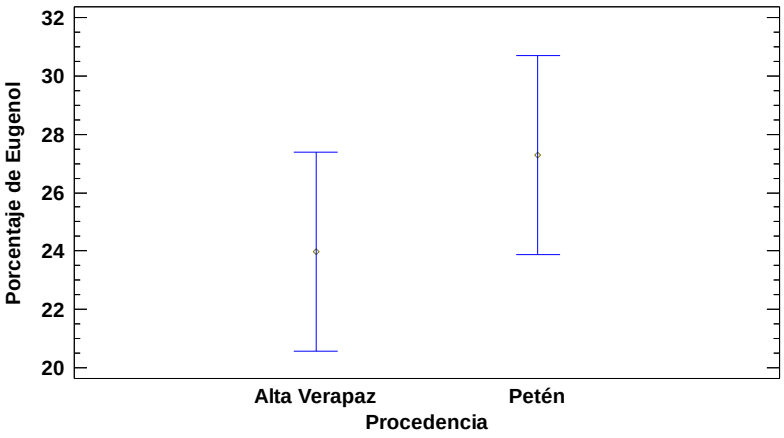
Fuente: elaboración propia.

Tabla LV. **Comparación entre niveles para la composición química del aceite esencial en función de la procedencia**

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.

Figura 9. **Media y 95 % de Fisher LSD para la composición química del aceite esencial en función de la procedencia**



Fuente: elaboración propia.

Tabla LVI. **Resumen estadístico del índice de refracción del aceite esencial en función del nivel altitudinal**

Nivel altitudinal	Recuento	Promedio	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
Cahabón, 238 msnm	6	1,5035	0,0125976	1,492	1,515
Campur 1475	6	1,5025	0,00383406	1,499	1,506
Carchá, 1300 msnm	6	1,51	0,00657267	1,504	1,516
Dolores 400 msnm	6	1,5135	0,00164317	1,512	1,515
Melchor, 75 msnm	6	1,5155	0,0104067	1,506	1,525
San Luis, 575 msnm	6	1,5165	0,00602495	1,511	1,522
Total	36	1,51025	0,00912884	1,492	1,525

Fuente: elaboración propia.

Tabla LVII. **Anova para el índice de refracción del aceite esencial en función del nivel altitudinal**

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,00109725	5	0,00021945	3,62	0,0111
Intra grupos	0,0018195	30	0,00006065		
Total (Corr.)	0,00291675	35			

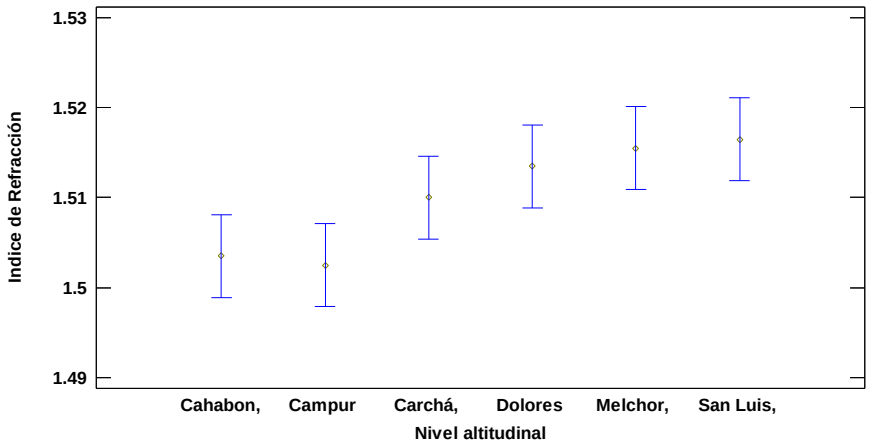
Fuente: elaboración propia.

Tabla LVIII. **Comparación entre niveles para el índice de refracción del aceite esencial en función del nivel altitudinal**

Comparación	Sigma1	Sigma2	F-Ratio	P-Valor
Cahabón, 238 msnm / Campur 1475	0,0125976	0,00383406	10,7959	0,0207
Cahabón, 238 msnm / Carchá, 1300 msnm	0,0125976	0,00657267	3,67361	0,1796
Cahabón, 238 msnm / Dolores 400 msnm	0,0125976	0,00164317	58,7778	0,0004
Cahabón, 238 msnm / Melchor, 75 msnm	0,0125976	0,0104067	1,46537	0,6852
Cahabón, 238 msnm / San Luis, 575 msnm	0,0125976	0,00602495	4,3719	0,1313
Campur 1475 / Carchá, 1300 msnm	0,00383406	0,00657267	0,340278	0,2618
Campur 1475 / Dolores 400 msnm	0,00383406	0,00164317	5,44444	0,0865
Campur 1475 / Melchor, 75 msnm	0,00383406	0,0104067	0,135734	0,0469
Campur 1475 / San Luis, 575 msnm	0,00383406	0,00602495	0,404959	0,3437
Carchá, 1300 msnm / Dolores 400 msnm	0,00657267	0,00164317	16,0	0,0086
Carchá, 1300 msnm / Melchor, 75 msnm	0,00657267	0,0104067	0,398892	0,3360
Carchá, 1300 msnm / San Luis, 575 msnm	0,00657267	0,00602495	1,19008	0,8532
Dolores 400 msnm / Melchor, 75 msnm	0,00164317	0,0104067	0,0249307	0,0010
Dolores 400 msnm / San Luis, 575 msnm	0,00164317	0,00602495	0,0743802	0,0127
Melchor, 75 msnm / San Luis, 575 msnm	0,0104067	0,00602495	2,98347	0,2555

Fuente: elaboración propia.

Figura 10. **Media y 95 % de Fisher LSD para el índice de refracción del aceite esencial en función del nivel altitudinal**



Fuente: elaboración propia.

Tabla LIX. **Resumen estadístico del índice de refracción del aceite esencial en función de la sección vegetal**

Sección vegetal	Recuento	Promedio	Desviación estándar	Coeficiente de variación	Mínimo	Máximo
Fruto	18	1,50517	0,00673228	0,447278 %	1,492	1,512
Hoja	18	1,51533	0,00845751	0,558128 %	1,499	1,525
Total	36	1,51025	0,00912884	0,604459 %	1,492	1,525

Fuente: elaboración propia.

Tabla LX. **Anova para el índice de refracción del aceite esencial analizado en función de la sección vegetal**

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,00093025	1	0,00093025	15,92	0,0003
Intra grupos	0,0019865	34	0,0000584265		
Total (Corr.)	0,00291675	35			

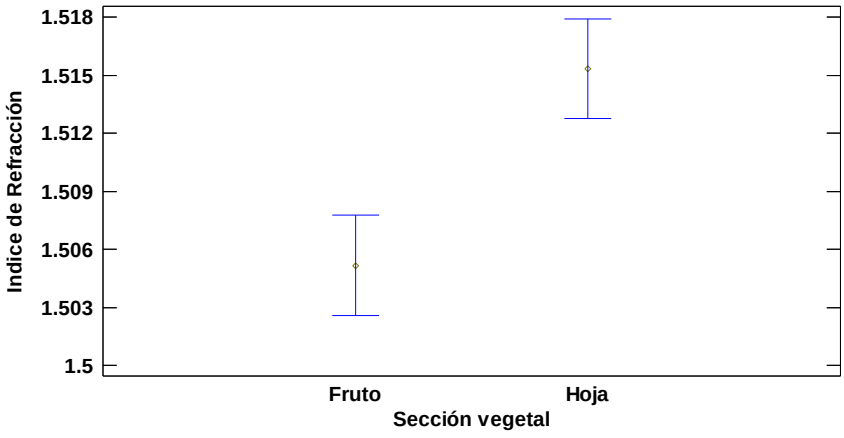
Fuente: elaboración propia.

Tabla LXI. **Comparación entre niveles para el índice de refracción del aceite esencial en función de la sección vegetal**

Comparación	Sigma1	Sigma2	F-Ratio	P-Valor
Fruto / hoja	0,00673228	0,00845751	0,633635	0,3560

Fuente: elaboración propia.

Figura 11. **Media y 95 % de Fisher LSD para el índice de refracción del aceite esencial en función de la sección vegetal**



Fuente: elaboración propia.

Tabla LXII. **Resumen estadístico del índice de refracción del aceite esencial en función de la procedencia**

Procedencia	Recuento	Promedio	Desviación estándar	Coeficiente de variación	Mínimo	Máximo
Alta Verapaz	18	1,50533	0,00868399	0,576882 %	1,492	1,516
Petén	18	1,51517	0,00670601	0,442592 %	1,506	1,525
Total	36	1,51025	0,00912884	0,604459 %	1,492	1,525

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXIII. **Anova para el índice de refracción del aceite esencial en función de la procedencia**

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,00087025	1	0,00087025	14,46	0,0006
Intra grupos	0,0020465	34	0,0000601912		
Total (Corr.)	0,00291675	35			

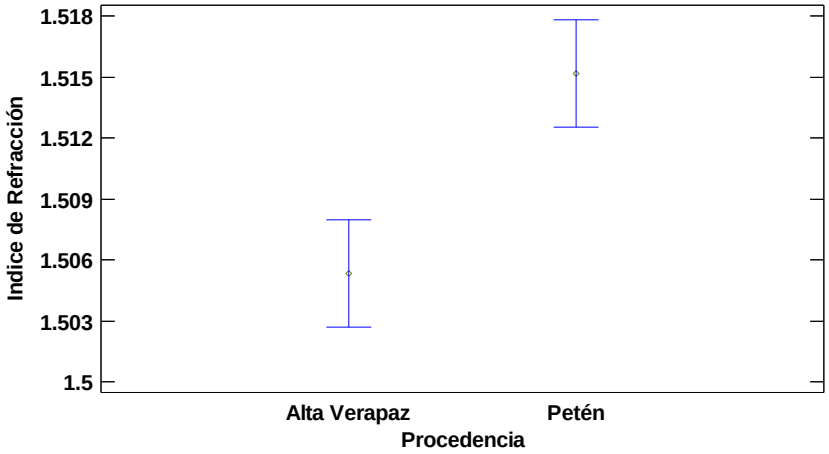
Fuente: elaboración propia.

Tabla LXIV. **Comparación entre niveles para el índice de refracción de aceite esencial en función de la procedencia**

Comparación	Sigma1	Sigma2	F-Ratio	P-Valor
Alta Verapaz / Petén	0,00868399	0,00670601	1,67691	0,2963

Fuente: elaboración propia.

Figura 12. **Media y 95 % de Fisher LSD para el índice de refracción del aceite esencial en función de la procedencia**



Fuente: elaboración propia.

4. RESULTADOS

4.1. Determinación del rendimiento extractivo del aceite esencial de pimienta gorda a partir de las variables independientes

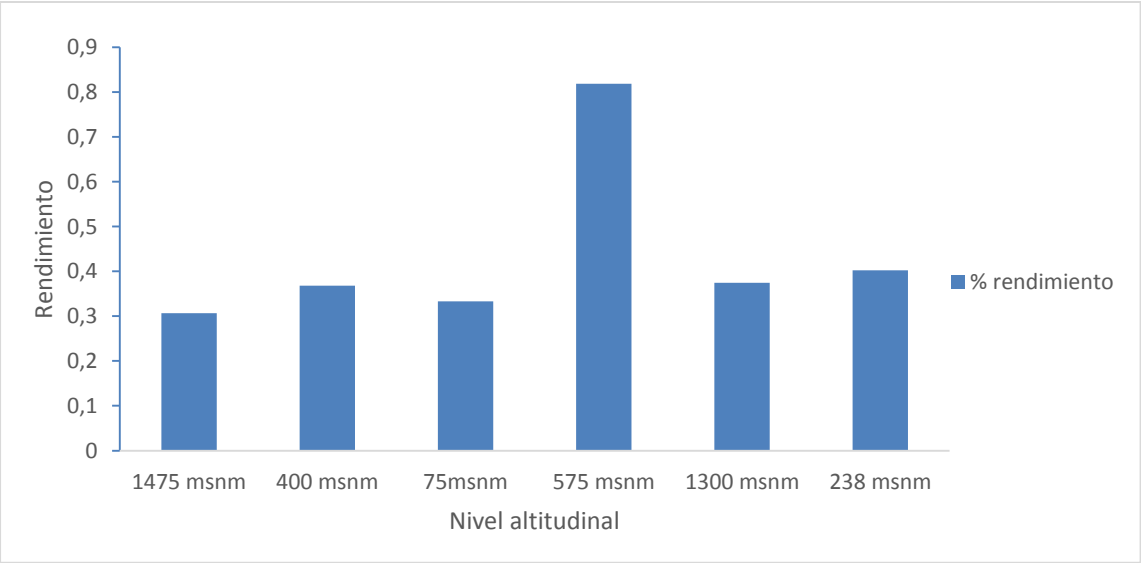
A continuación, se presenta el rendimiento extractivo de la pimienta gorda de acuerdo a su nivel altitudinal, su sección vegetal y su procedencia.

Tabla LXV. **Rendimiento extractivo del aceite esencial de la pimienta gorda en función del nivel de procedencia**

Nivel altitudinal	% rendimiento
1475 msnm	0,306583 ±
400 msnm	0,367933 ±
75msnm	0,33325 ±
575 msnm	0,818667 ±
1300 msnm	0,374383 ±
238 msnm	0,402467 ±

Fuente: elaboración propia.

Figura 13. **Gráfica del rendimiento extractivo del aceite esencial de pimienta gorda en función del nivel altitudinal**



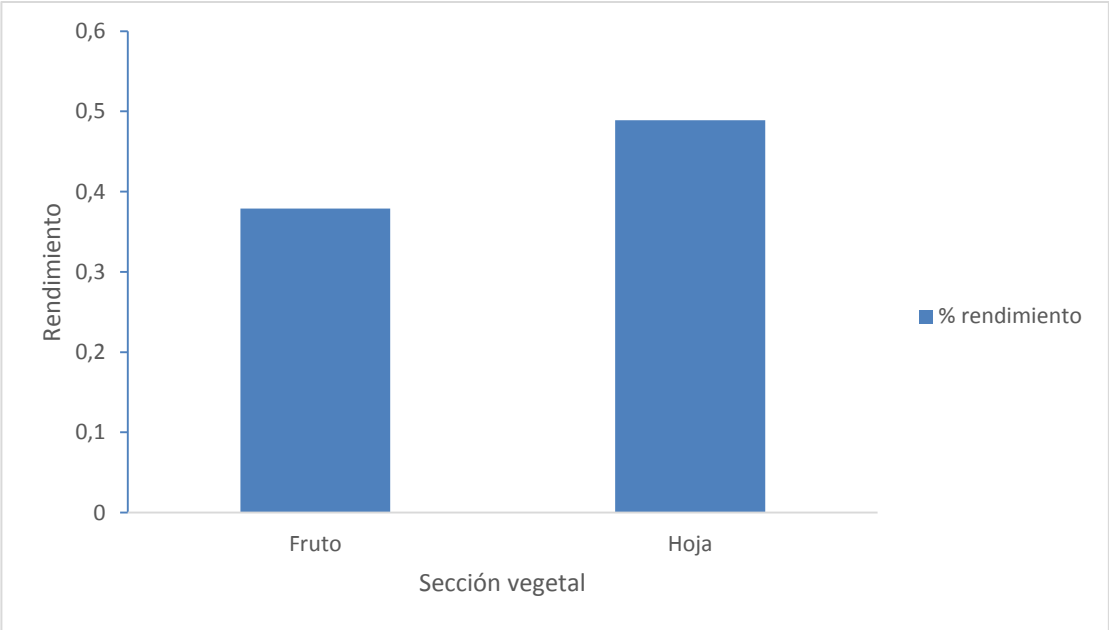
Fuente: elaboración propia.

Tabla LXVI. **Rendimiento extractivo del aceite esencial de la pimienta gorda en función de la sección vegetal**

Sección vegetal	% rendimiento
Fruto	0,378744 ±
Hoja	0,489017 ±

Fuente: elaboración propia.

Figura 14. **Gráfica del rendimiento extractivo del aceite esencial de pimienta gorda en función del nivel altitudinal**



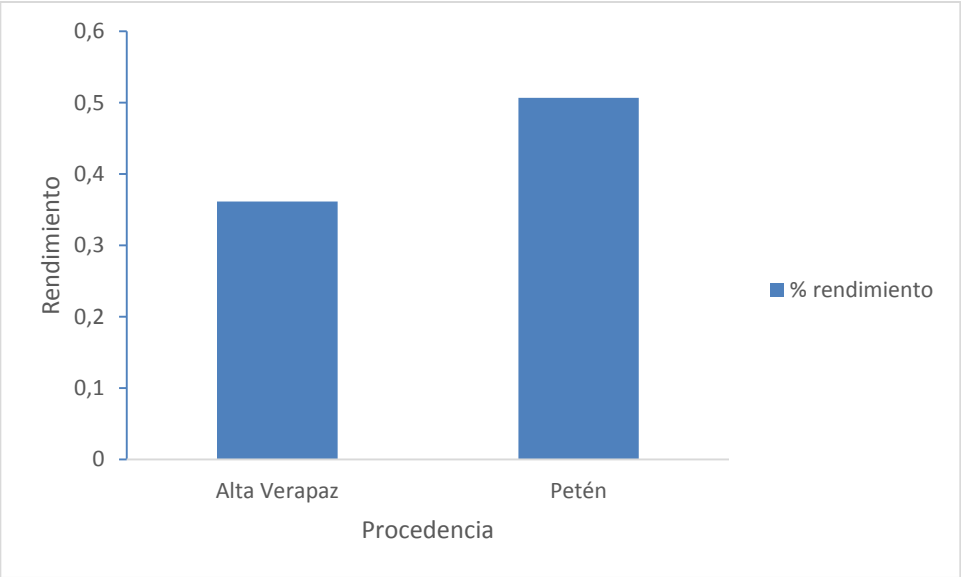
Fuente: elaboración propia.

Tabla LXVII. **Rendimiento extractivo del aceite esencial de la pimienta gorda en función de la procedencia**

Procedencia	% rendimiento
Alta Verapaz	0,361144 ±
Petén	0,506617 ±

Fuente: elaboración propia.

Figura 15. **Gráfica del rendimiento extractivo del aceite esencial de pimienta gorda en función del nivel altitudinal**



Fuente: elaboración propia.

4.2. Caracterizar fisicoquímicamente del aceite esencial extraído de la pimienta gorda, por medio de una cromatografía de gases con acoplamiento de espectrofotometría de masas

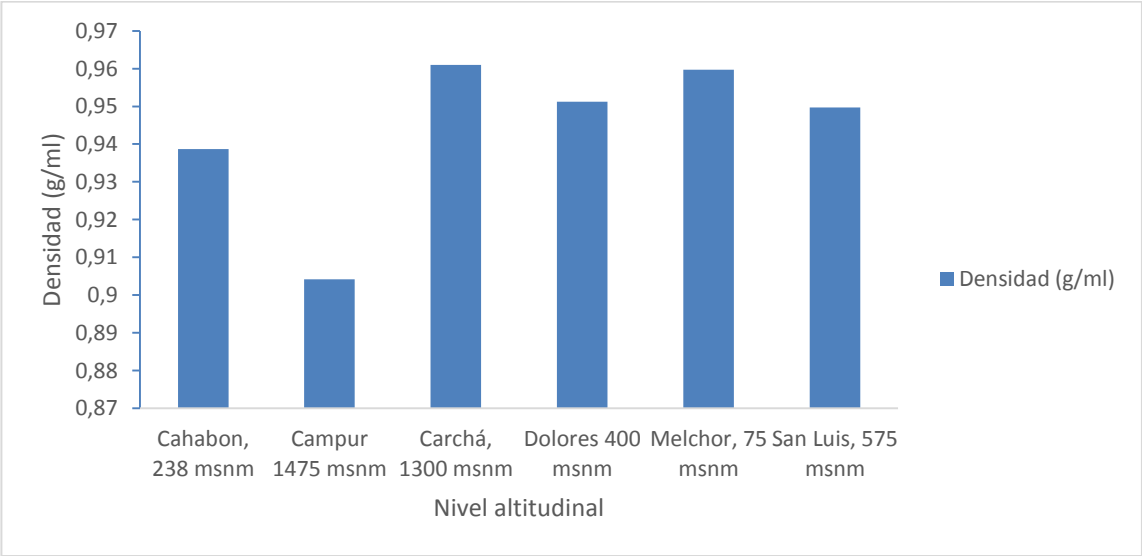
A continuación, se presentan las propiedades analizadas de la pimienta gorda para su caracterización fisicoquímica.

Tabla LXVIII. **Densidad del aceite esencial de pimienta gorda en función del nivel altitudinal**

Nivel altitudinal	Densidad (g/ml)
Cahabón, 238 msnm	0,93871 ±
Campur 1475	0,904197 ±
Carchá, 1300 msnm	0,960968 ±
Dolores 400 msnm	0,951256 ±
Melchor, 75 msnm	0,959712 ±
San Luis, 575 msnm	0,949709 ±

Fuente: elaboración propia,

Figura 16. **Gráfica de la densidad obtenida del aceite esencial de pimienta gorda en función del nivel altitudinal**



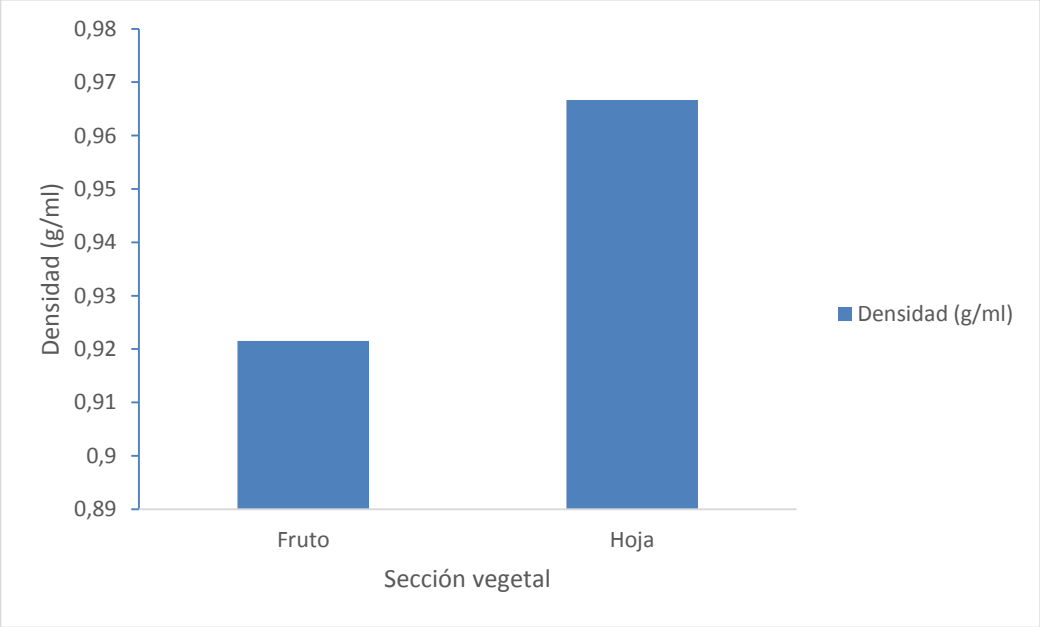
Fuente: elaboración propia.

Tabla LXIX. **Densidad del aceite esencial de pimienta gorda Merrill en función de la sección vegetal**

Sección vegetal	Densidad (g/mL)
Fruto	0,921528 ±
Hoja	0,966656 ±

Fuente: elaboración propia.

Figura 17. **Gráfica de la densidad obtenida del aceite esencial de pimienta gorda en función de la sección vegetal**



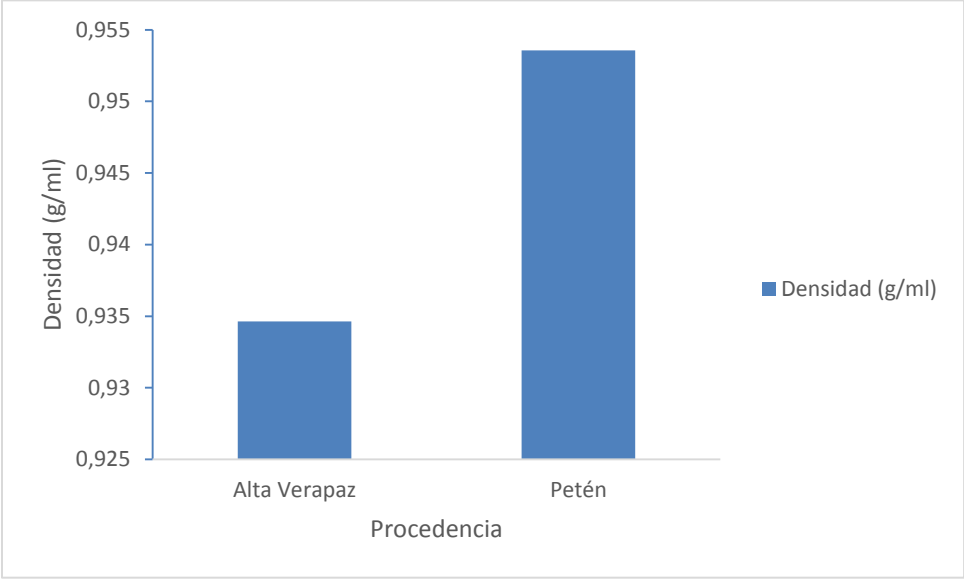
Fuente: elaboración propia.

Tabla LXX. **Densidad del aceite esencial de pimienta gorda en función de la procedencia**

Procedencia	Densidad (g/ml)
Alta Verapaz	0,934625 ±
Petén	0,953559 ±

Fuente: elaboración propia.

Figura 18. **Gráfica de la densidad obtenida del aceite esencial de pimienta gorda en función de la procedencia**



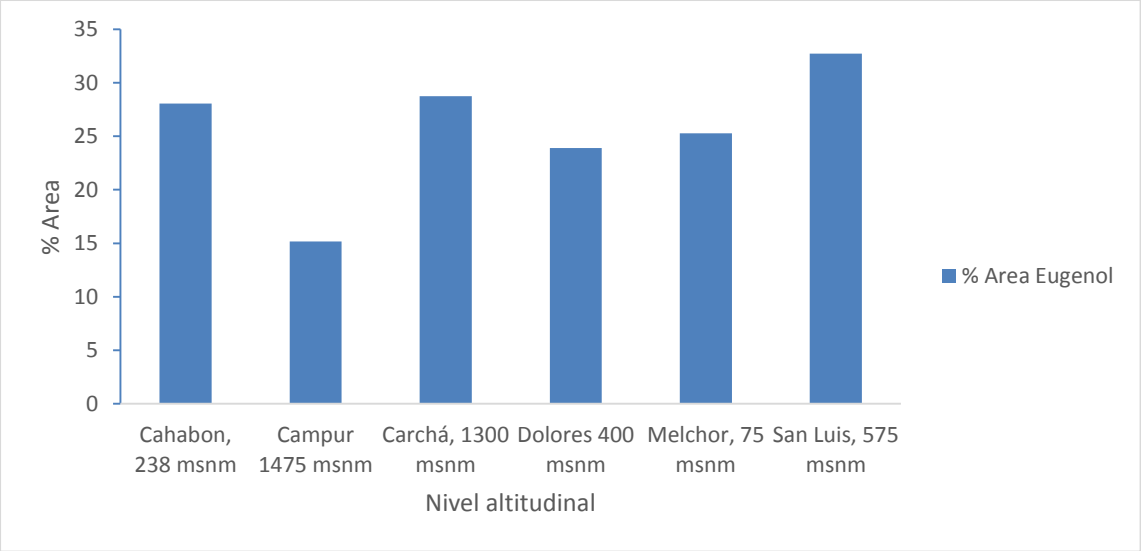
Fuente: elaboración propia.

Tabla LXXI. **Porcentaje de área de eugenol en cromatografía del aceite esencial de pimienta gorda en función del nivel altitudinal**

Nivel altitudinal	% área eugenol
Cahabón, 238 msnm	28,0467 ±
Campur 1475 msnm	15,165 ±
Carchá, 1300 msnm	28,745 ±
Dolores 400 msnm	23,8917 ±
Melchor, 75 msnm	25,2633 ±
San Luis, 575 msnm	32,7183 ±

Fuente: elaboración propia.

Figura 19. **Gráfica de porcentaje de área de eugenol en cromatografía de aceite esencial de pimienta gorda en función del nivel altitudinal**



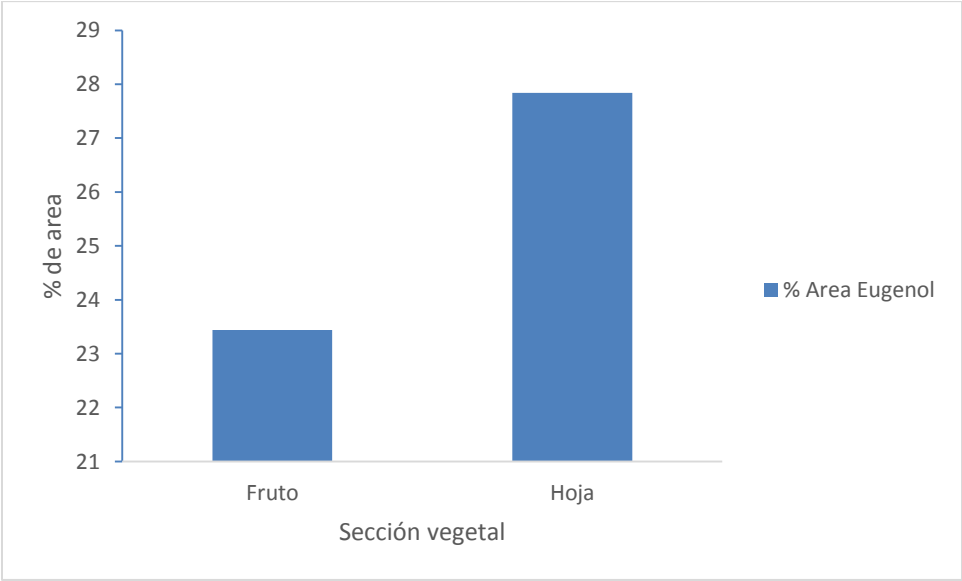
Fuente: elaboración propia.

Tabla LXXII. **Porcentaje de área de eugenol en cromatografía del aceite esencial de pimienta gorda en función de la sección vegetal**

Sección vegetal	% área eugenol
Fruto	23,4394 ±
Hoja	27,8372 ±

Fuente: elaboración propia.

Figura 20. **Gráfica de porcentaje de área de eugenol en cromatografía de aceite esencial de pimienta gorda en función de la sección vegetal**



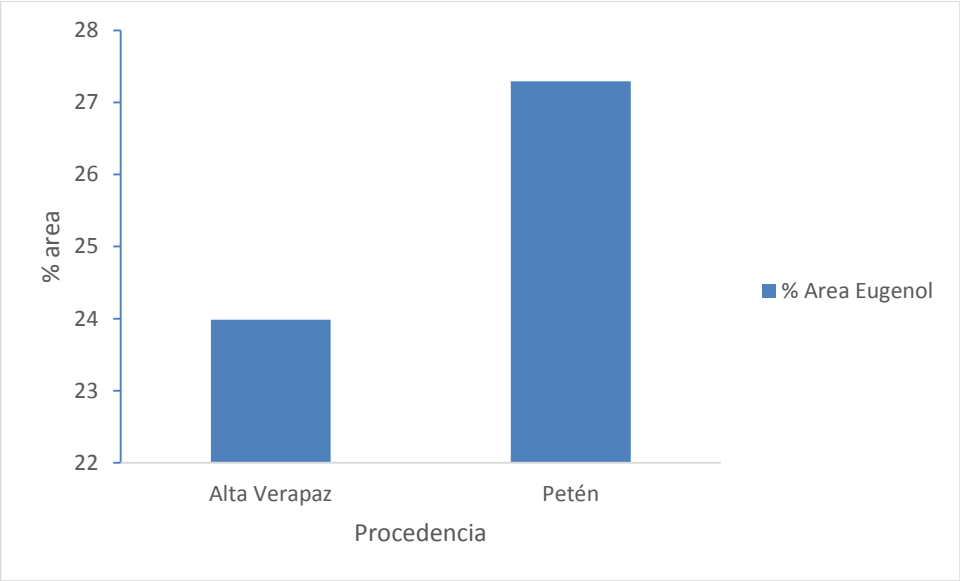
Fuente: elaboración propia.

Tabla LXXIII. **Porcentaje de área de eugenol en cromatografía del aceite esencial de pimienta gorda en función de la procedencia**

Procedencia	% área eugenol
Alta Verapaz	23,9856 ±
Petén	27,2911 ±

Fuente: elaboración propia.

Figura 21. **Gráfica de porcentaje de área de eugenol en cromatografía de aceite esencial de pimienta gorda en función de la procedencia**



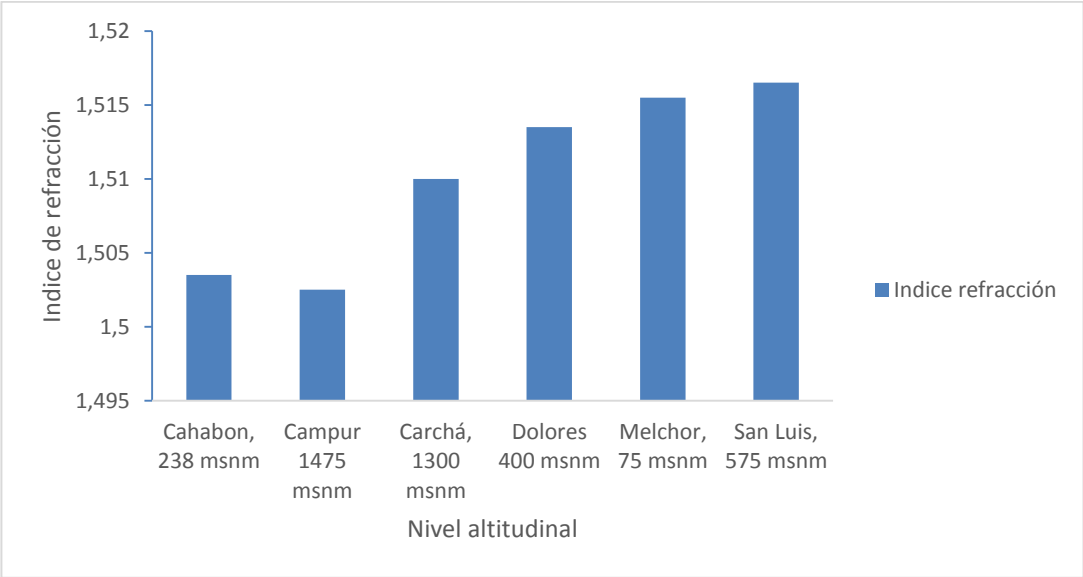
Fuente: elaboración propia.

Tabla LXXIV. **Índice de refracción del aceite esencial de pimienta gorda en función del nivel altitudinal**

Nivel altitudinal	Índice refracción
Cahabón, 238 msnm	1,5035 ±
Campur 1475 msnm	1,5025 ±
Carchá, 1300 msnm	1,51 ±
Dolores 400 msnm	1,5135 ±
Melchor, 75 msnm	1,5155 ±
San Luis, 575 msnm	1,5165 ±

Fuente: elaboración propia.

Figura 22. **Gráfica de índice de refracción del aceite esencial de pimienta gorda en función del nivel altitudinal**



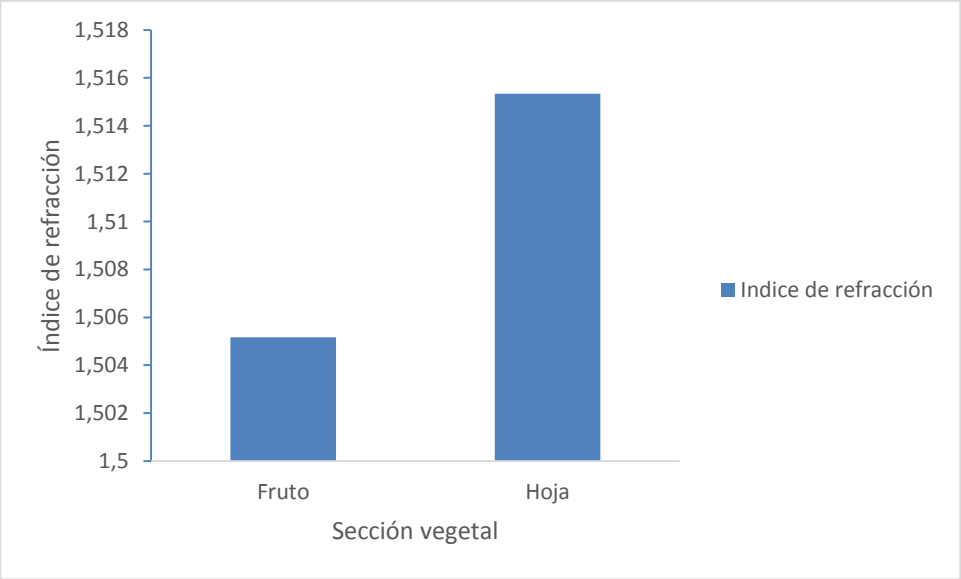
Fuente: elaboración propia.

Tabla LXXV. **Índice de refracción del aceite esencial de pimienta gorda en función de la sección vegetal**

Sección vegetal	Índice de refracción
Fruto	1,50517 ±
Hoja	1,51533 ±

Fuente: elaboración propia.

Figura 23. **Gráfica de índice de refracción del aceite esencial de pimienta gorda en función de la sección vegetal**



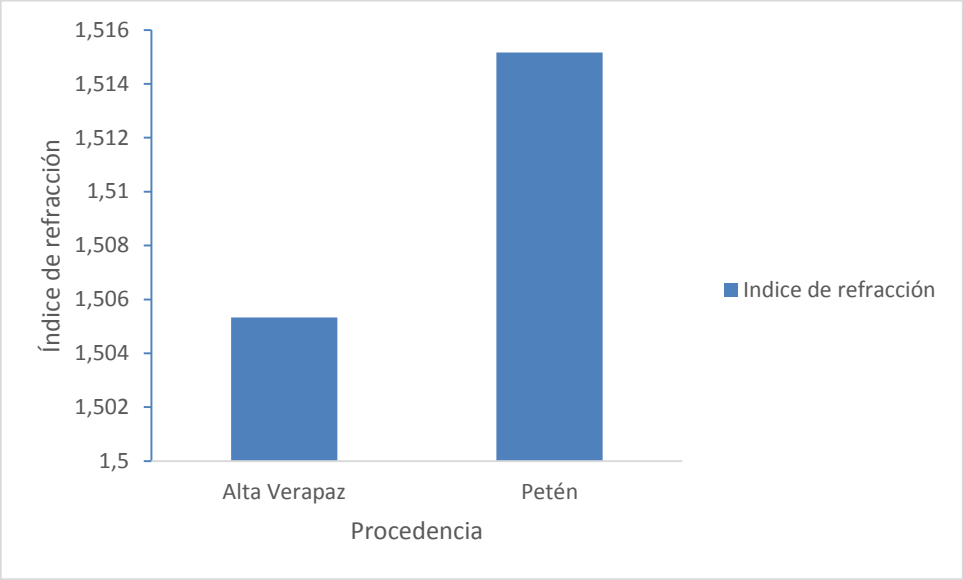
Fuente: elaboración propia.

Tabla LXXVI. **Índice de refracción del aceite esencial de pimienta gorda en función de la procedencia**

Procedencia	Índice de refracción
Alta Verapaz	1,50533 ±
Petén	1,51517 ±

Fuente: elaboración propia.

Figura 24. **Gráfica de índice de refracción del aceite esencial de pimienta gorda en función de la procedencia**



Fuente: elaboración propia.

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

El trabajo de investigación tuvo como objetivo evaluar el rendimiento extractivo del aceite esencial de los frutos y hojas de la pimienta gorda cultivada en la región norte de Guatemala, mediante la técnica de destilación por arrastre con vapor a escala planta piloto y su caracterización fisicoquímica; la materia prima utilizada provino de Petén y Alta Verapaz, se extrajo el aceite de los frutos y hojas de la planta y se seleccionaron tres niveles altitudinales por departamento: 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 extracción de aceite esencial consistió en una destilación por arrastre con vapor directo; primeramente, se secaron las hojas y frutos hasta alcanzar un 10 % de humedad, se redujo el tamaño de la partícula con un molino de cuchillas, se tamizó con un mesh número 8 y el tamiz núm. 30, para incrementar el área superficial y, por ende, el contacto entre el vapor y los sólidos, que favorece la transferencia de masa.

La extracción del aceite esencial se realizó en el Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales LIEXVE, Sección Química Industrial, Centro de Investigaciones de Ingeniería, Usac; se colocaron cuatro kilogramos de materia prima en la marmita de destilación, pasando vapor a una presión de 1,2 atm; luego, el condensado se recuperó en un vaso florentino con trampa de hexano grado industrial; se recuperó así la mayor cantidad de aceite y se evitó

su volatilización; este proceso duró cuatro horas efectivas de extracción a partir del punto de rocío; se preparó posteriormente una separación líquido-líquido por medio de una rotaevaporación para obtener el aceite esencial final; se reutilizó el hexano.

Se determinó el rendimiento extractivo del aceite esencial de la pimienta en función del nivel altitudinal en la tabla LXIII, muestra el porcentaje de rendimiento y su desviación estándar por cada nivel altitudinal; se denota el mayor rendimiento, 0,818667 % a una altura de 575 msnm, correspondiente a San Luis Petén, y el menor rendimiento, 0,306583 % a una altura de 1 475 msnm, siendo de Campur, Alta Verapaz; sin embargo, analizando los resultados con una Anova simple, se encuentra en la tabla XXVIII el Valor-P es de 0.0000 menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de rendimiento en función del nivel altitudinal, con un nivel del 95,0 % de confianza.

Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, se verifica la tabla XXIX correspondiente a la prueba múltiple de rangos, comparando cada nivel altitudinal se encuentra diferencia estadísticamente significativa únicamente en las combinaciones de Cahabón-San Luis y Carcha-San Luis. Con un valor-P menor al 0.05 y con un nivel del 95,0 % de confianza.

Según la figura 13 correspondiente a la representación gráfica del rendimiento extractivo del aceite esencial en función del nivel altitudinal se observa que la región de 575 msnm presenta el pico más elevado en la gráfica.

Evaluando el rendimiento extractivo del aceite esencial de la pimienta que se obtuvo al extraerse en función de la sección vegetal, tanto de frutos como hojas se observa que en la tabla LXIV. La hoja presenta un porcentaje de

rendimiento del 0,489017 % y los frutos 0,378744 % y un coeficiente de variación de 0,489017 y 0,378744, respectivamente. Comprobando si estos datos tienen significancia estadística se procedió a evaluar los datos con un Anova que se encuentra en la tabla XXXI un valor-P de 0,1198, valor mayor a 0,05; no presenta diferencia estadísticamente significativa y se vio reflejado en la tabla XXXII en la comparación de medias en la prueba múltiple de rangos con un valor-P 0,7649 mayor a 0,05 correspondiente a un nivel del 95,0 % de confianza. Aunque gráficamente se puede observar en la figura 14 el incremento del rendimiento del aceite en la parte extractiva de la hoja, en relación del fruto.

En relación a la procedencia regional, el porcentaje de extracción del aceite esencial se observa en la tabla LXV, para el departamento de Petén un porcentaje de rendimiento del 0,506617 % y para el departamento de Alta Verapaz 0,631144 % con una desviación estándar de 0,238758 y 0,155456 respectivamente. Evaluando los datos con un Anova simple como lo muestra la tabla XXXIV, se observa que el valor-P de 0,0374 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; por lo que procede a realizar la prueba de múltiples de rangos en la tabla XXXIV que confirma la diferencia existente entre ambas medias. Se observa en la figura 15 el mayor rendimiento de Petén en relación con Alta Verapaz.

Para la caracterización fisicoquímica del aceite esencial de la pimienta se procedió a realizar una cromatografía de gases con acoplamiento de espectrofotometría de masas. Asi mismo, se determinaron las propiedades de densidad e índice de refracción.

Evaluando la densidad del aceite esencial de la pimienta en función de su nivel altitudinal como lo muestra la tabla LXVI se observa que la mayor densidad se obtuvo de Carchá: 0,9609 g/ml con una altura de 1 300 msnm y la menor densidad en Campur: 0,9041 g/ml, con 1 475 msnm; procediendo con un Anova simple, en la tabla XXXVII se presenta un valor-P de 0,0826 mayor que 0,05 no existe diferencia estadísticamente significativa entre las medias de densidad de cada nivel altitudinal con un nivel del 95,0 % de confianza; se corrobora esto en la tabla XXXVIII correspondiente a la prueba múltiple de medias en donde se ve que ningún valor-P es menor o igual a 0,05 de las 15 combinaciones posibles. La figura 16 muestra la gráfica de densidad del aceite en relación con cada nivel altitudinal, se observa que los mayores picos corresponden a Carchá y Melchor.

La densidad del aceite con relación a la sección vegetal se muestra en la Tabla LXVII; es más denso el aceite de la hoja con una densidad de 0,9666 g/ml y el fruto presenta una densidad de 0.9215g/ml, con una desviación estándar de 0,0269 y 0,0332, respectivamente; para determinar si estadísticamente muestra significancia estos valores se procedió a realizar un Anova simple mostrado en la tabla XL; muestra el comportamiento de la densidad entre grupos y un componente dentro de grupos con un valor-P de 0,0001 menor a 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la densidad media de hoja y frutos. Para determinar cuál media es significativamente diferente se realizó la prueba múltiple de rangos observada en la tabla XLI con un P-valor de 0,3494. La figura 17 muestra la representación gráfica de las densidades en función de la sección vegetal, en donde se observa la mayor densidad del aceite obtenido de las hojas.

En cuanto a la densidad del aceite esencial de la pimienta gorda, analizada por su procedencia de los departamentos de Peten y Alta Verapaz, se

observa en la tabla LXVIII las densidades de 0,9535 g/ml y 0,9346 g/ml, respectivamente; es necesario realizar un Anova que se muestra en la tabla XLIII que analiza entre grupos y dentro de cada grupo, se observa un valor-P correspondiente de 0,1358 mucho mayor a 0,05 que corresponde a un nivel de confianza de 95,0 %; por lo que no existe diferencia entre la densidad del aceite esencial de la pimienta en relación con su procedencia, como se corrobora en la tabla XLIV de la comparación de medias. La figura 18 da una representación gráfica de ambas densidades; visualmente son distintas, pero no así estadísticamente.

Las cromatografías realizadas muestran los compuestos encontrados con el porcentaje de área como abundancia del compuesto, así para el caso del aceite esencial el compuesto eugenol fue el de mayor importancia y por eso se analizó estadísticamente para cada variable independiente del estudio; en el primer caso, porcentaje de área de eugenol en función del nivel altitudinal como lo muestra la tabla LXIX se observa que en el caso de San Luis con una altitud de 575 msnm corresponde el % de área de eugenol más alto, 32,7183 % y el caso de Campur a 1 475 msnm el % de área de eugenol es de 15,165 % ambos con su respectiva desviación estándar de 13,607 y 6,055. Para analizar estadísticamente las medias entre cada nivel altitudinal se realiza el Anova correspondiente a la tabla XLVI que da un valor-P de 0,0452 de la prueba-F menor que 0,05; existe una diferencia estadísticamente significativa entre los niveles altitudinales, procede así a realizar una prueba múltiple de rangos tabulada en la tabla XLVII; presenta variación estadística únicamente en las combinaciones Melchor/San Luis con un valor P de 0.0287 menor a 0,05, comportamiento que se observa en la figura.

El porcentaje de área de eugenol en la cromatografía del aceite esencial de pimienta gorda, analizado mediante su sección vegetal muestra una

diferencia en el fruto y en la hoja, según la tabla LXX con 23,439 % y 27,8372, respectivamente. Comparación que se analiza con un Anova simple en la tabla XLIX y que da un valor-P de 0,1935; dicho valor es mayor que 0,05 de un nivel de confianza del 95 %, no encontrando diferencia estadísticamente significativa se realiza la prueba múltiple de rangos en la tabla L, se descarta que exista dicha diferencia. Solamente se observa en la figura 20 la dominancia del contenido de eugenol en el aceite obtenido de las hojas.

En cuanto a la procedencia del aceite esencial, tanto de Petén como de Alta Verapaz se observa que el porcentaje de área de eugenol en la cromatografía como lo muestra la tabla LXXI el departamento de Petén muestra la mayor abundancia, 27,2911 % y el departamento de Alta Verapaz establece un 23,9856 %, por ser diferentes las medias se realiza un Anova simple que se muestra en la tabla LII, que representa un valor-P de 0,3311; dicho valor es mayor a 0,05 por lo que no existe diferencia estadísticamente significativa entre las dos medias del porcentaje de área de eugenol. Se corrobora con la prueba de varianza en la tabla LIII que muestra un valor arriba del estándar 0,05 por lo que no se encuentra significancia entre las dos medias. La figura 21 da la representación gráfica del porcentaje de áreas de eugenol, establecidas por cromatografía y se observa que el aceite esencial del departamento de Petén contiene mayor eugenol en su composición.

En la tabla XXV se encuentran tabulados los índices de refracción del aceite esencial de todos los niveles del experimento; 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 a 24 °C con base en el nivel altitudinal se encuentra tabulado en la tabla LXXII, con base en la sección vegetal en la tabla LXXIII y con base en su región de procedencia en la tabla

LXXIV. Observado que en el nivel altitudinal el mayor índice de refracción lo obtiene San Luis a 575 msnm, siendo esta de 1,5165 respectivamente y con base en la sección vegetal las hojas presentan el mayor promedio de índice de refracción con 1,51533, así como el departamento de Petén con 1,5151, respectivamente. No existe diferencia estadísticamente significativa en todos los casos para el índice de refracción analizado con Anova y pruebas múltiples de rangos.

Entre las tablas XI y XXII se encuentran tabulados los datos de las cromatografías de los componentes principales que se encontraron en las muestras de aceite esencial; valores que muestran, en mayor significancia, el eugenol como molécula principal de abundancia en el porcentaje de área, se halló también el metil eugenol, cuyo nombre IUPAC 1,2-dimetoxi-4-(2-propenil) benceno; un éter metílico de eugenol, con el grupo funcional metoxi, que se encuentra en diversos aceites esenciales, como en el aceite esencial de pimienta gorda. Otro compuesto que se halló en abundancia en todas las cromatografías fue el cariofileno, un sesquiterpeno bicíclico natural, componente del olor característico de clavo de olor; es uno de los compuestos químicos que contribuyen al sabor picante de la pimienta. Se encuentra también, el óxido de cariofileno en menor significancia, al igual que el ácido palmico; este es un ácido graso saturado de cadena larga y encontrado en un tiempo de 78 ± 2,5 minutos. El eugenol se estimó en un tiempo de retención aproximado a los 52 ± 0,7 minutos y el metil eugenol, segundo compuesto de mayor abundancia en un tiempo de 47 ± 5 minutos.

CONCLUSIONES

1. La unidad experimental de destilación de la planta piloto del Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, LIEXVE, operó eficientemente, en relación al rendimiento extractivo del aceite esencial de los frutos y hojas de pimienta gorda, se pudo extraer el aceite esencial en todos los tratamientos planteados.

2. Sí existe diferencia estadística significativa en la evaluación del porcentaje de rendimiento de la extracción a escala planta piloto del aceite esencial de la pimienta gorda, en función de la ubicación geográfica de la plantación.

3. Sí existe diferencia estadística significativa en la evaluación del porcentaje de rendimiento de la extracción a escala planta piloto del aceite esencial de la pimienta gorda, en función de los niveles altitudinales de la plantación, en base a la ubicación geográfica.

4. No existe diferencia estadística significativa en la evaluación del porcentaje de rendimiento de la extracción a escala planta piloto del aceite esencial de la pimienta gorda, en función de la sección vegetal, frutos y hojas.

5. No existe diferencia estadística significativa en las propiedades fisicoquímicas del aceite esencial de la pimienta gorda obtenido a escala planta piloto, en función de su ubicación geográfica.

6. Si existe diferencia estadística significativa en las propiedades fisicoquímicas de la extracción a escala planta piloto del aceite esencial de la pimienta gorda, en función de su nivel altitudinal.

7. No existe diferencia estadística significativa en las propiedades fisicoquímicas de la extracción a escala planta piloto del aceite esencial de la pimienta gorda, en función de la sección vegetal.

8. Todas las cromatografías de GC/MS realizadas al aceite esencial de la pimienta gorda, presentaron 10 compuestos de mayor abundancia o significancia en un comportamiento similar en porcentaje de área; fueron el eugenol, molécula principal, precedida por el isómero metoxi eugenol, ambos responsables del olor característico del aceite de pimienta gorda.

9. Todas las cromatografías de GC/MS realizadas al aceite esencial de la pimienta gorda, presentaron el cariofileno y oxido de cariofileno, moléculas que confieren el olor característico y el sabor picante a la pimienta, el beta tujeno que aporta efectos antiinflamatorios y anestésicos al aceite esencial; el último compuesto encontrado, en baja abundancia, fue el ácido palmítico, un ácido graso, presente también en aceites vegetales como el aceite de palma y aceite de coco.

RECOMENDACIONES

1. Seleccionar la calidad y uniformidad de la hoja de la pimienta gorda, así como el sexo del árbol.

2. Realizar una investigación para la extracción de aceite esencial de pimienta gorda, en función a frutos verdes y hojas verdes.

3. Realizar una investigación para la extracción del aceite esencial de pimienta gorda, en distintas regiones de plantación.

4. Realizar una investigación para la extracción del aceite esencial de pimienta gorda, en niveles altitudinales homogéneos para todas las muestras, de los diferentes departamentos.

BIBLIOGRAFÍA

1. BANDONI, Arnaldo. *Los recursos vegetales aromáticos en Latinoamérica. Su aprovechamiento industrial para la producción de aromas y sabores*. Argentina: Universidad Nacional de La Plata, 2000. 392 p.

2. Ramírez Zea, Carla. *Caracterización general del recurso forestal no maderable pimienta*, Guatemala: Universidad del Valle, 2003. 30 p.

3. Centro de Comercio Internacional UNCTAD-GATT. *Los mercados de algunos aceites esenciales y oleorresinas*. Suiza: Centro de Comercio Internacional, 1974. 321 p.

4. _____. *Los mercados de algunos aceites esenciales y oleorresinas*. Suiza: Centro de Comercio Internacional, 1985. 291 p.

5. CERPA CHAVEZ, Manuel G. *Hidrodestilación de aceites esenciales: modelado y caracterización*. España: Universidad de Valladolid, 2007. 392 p.

6. Prensa libre. *Fascículos coleccionables*. Guatemala: Prensa Libre, 2000. 32 p.

7. Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia SEGEPLAN. *Diagnóstico territorial del Petén*. Guatemala: Subsecretaría de Planificación y Ordenamiento Territorial, 2013. 255 p.

8. Grupo Gestor Purulhá. *Estudio de potencial económico y propuesta de mercadeo territorial del valle del Polochic*. Guatemala: Universidad Rafael Landívar, 2012. 57 p.

9. ESTRADA JIRÓN, J. *Extracción del aceite esencial del flavelo de la naranja dulce 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*. Tesis Pregrado. Ingeniería Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2014. 294 p.

10. LÓPEZ LOBOS, Anabella C. *Estudio de factibilidad de una planta de extracción de aceite esencial y oleorresina de pimienta gorda, pimenta dioica*. Guatemala: Universidad Rafael Landívar, 2003. 194 p.

11. FARRELL, Kenneth T. *Spices, condiments and seasonings.* Estados Unidos: The AVI Publishing Company Inc., 1985. 93 p.

12. GUENTHER, Ernest. *The essential oils*. Estados Unidos: D. Van Nostrand Company Inc., 1948. 382 p.

13. HEATH, Henry B. *Source book of flavors.* Estados Unidos: The AVI Publishing Company Inc., 1981. 83 p.

14. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. *Plan de desarrollo departamental, modelo de desarrollo territorial*. Guatemala: Segeplan, 2011. 47 p.

15. ORELLANA, Edwin. *Situación actual del cultivo de pimienta gorda en el Departamento de Alta Verapaz*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Humanidades, 1979. 100 p.

16. R PERRY, Robert. *Manual del ingeniero químico*. 6a ed. México: McGraw-Hill, 1992. 291 p.

17. PINTAURO, Nicholas. *Food Aditives to Extend Shelf Life.* Estados Unidos: Noyes Data Corporation, 1974. 93 p.

18. RAGHARAN UHL, Susheela. *Handbook of spices, seasonings & flavourings*. Estados Unidos: Technomic Publishing Co. Inc., 2000. 43 p.

19. RIVERA DE LEÓN, Servando*. Algunas recomendaciones para el cultivo de la pimienta gorda.* Guatemala: Estación de Fomento los Brillantes, 1976. 25 p.

20. ROSENGARTEN, Frederic Jr. *The book of spices*. Estados Unidos: Livingston Publishing Company. 1969. 392 p.

21. SNELL, Leslie; ETTRE, K. *Encyclopaedia of industrial chemical analysis.* Estados Unidos: Interscience Publishers, 1971. 143 p.

22. STRASBURGER, E. *Tratado de botánica*. España: Artes gráficas Grijelmo, S.A., 1974. 291 p.

23. SCHWEIGERT, Price. *The science of meat an meat products*. Estados Unidos: W.H Freeman and Company. 1971. 93 p.

APÉNDICES

Apéndice 1. **Extracción de aceite esencial de pimienta gorda por medio de la técnica de destilación por arrastre con vapor directo**

Fuente: elaboración propia.

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

Fuente: elaboración propia.

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

Fuente: elaboración propia.

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

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 5. **Caracterización fisicoquímica de aceite esencial de pimienta gorda**

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 6. **Requisitos académicos para la carrera de licenciatura en ingeniería química**

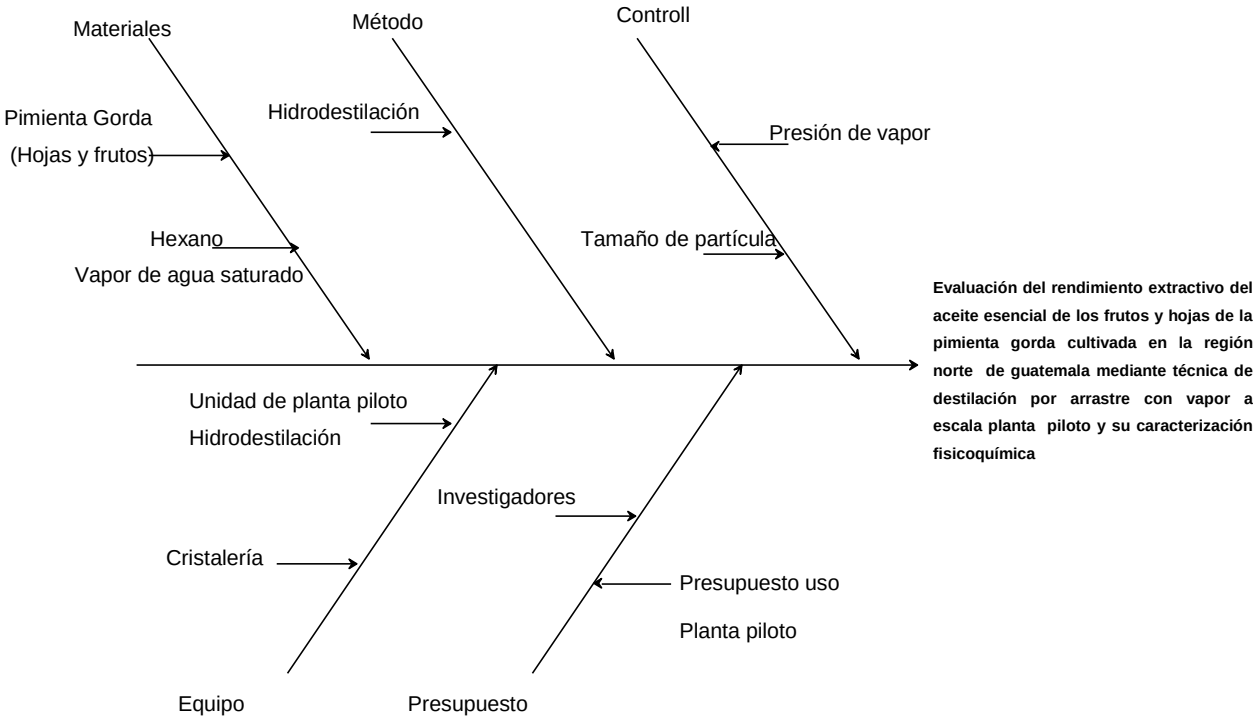
Carrera	Área	Tema genérico	Tema específico
	Química		
	Operaciones unitarias	• Balance de Masa y energía (IQ1) • Flujo de fluidos (IQ2) • Transferencia de calor (IQ3) • Transferencia de masa (IQ4) • Transferencia de masa en unidades (IQ5)	• Contacto interfacial gas-líquido • Contacto interfacial líquido-líquido • Contacto interfacial líquido-sólido (Lixiviación) • Contacto interfacial gas-sólido
	Fisicoquímica		
	Área complementaria		

Continuación del apéndice 6.

Especificación	Problemas por resolver	Hipótesis	Temario
EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO EXTRACTIVO DEL ACEITE ESENCIAL DE LOS FRUTOS Y HOJAS DE LA PIMIENTA GORDA CULTIVADA EN LA REGIÓN NORTE DE GUATEMALA MEDIANTE TECNICA DE DESTILACIÓN POR ARRASTRE CON VAPOR A ESCALA PLANTA PILOTO Y SU CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA	¿Por qué es útil extraer aceite esencial de los frutos y hojas de la pimienta gorda?	Existe diferencia estadística significativa en la evaluación del rendimiento de la extracción a escala planta piloto del aceite esencial de la pimienta en función de la parte morfológica de la planta, la semilla y el follaje	Índice Introducción • Marco conceptual • Marco teórico • Objetivos • Metodología • Cronograma • Presupuesto • Bibliografía • Anexos
	¿Por qué se estudia el aceite esencial de plantaciones a diferentes msnm?	Existe diferencia estadística significativa en la evaluación del rendimiento de la extracción a escala planta piloto del aceite esencial de la pimienta en función del nivel altitudinal de la plantación	
	¿Por qué existe diferencia en el aceite esencial de la pimienta según el dpto. de origen?	Existe diferencia estadística significativa en la evaluación del rendimiento de la extracción a escala planta piloto del aceite esencial de la pimienta en función del departamento de procedencia de la plantación.	

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 7. **Diagrama de Ishikawa**

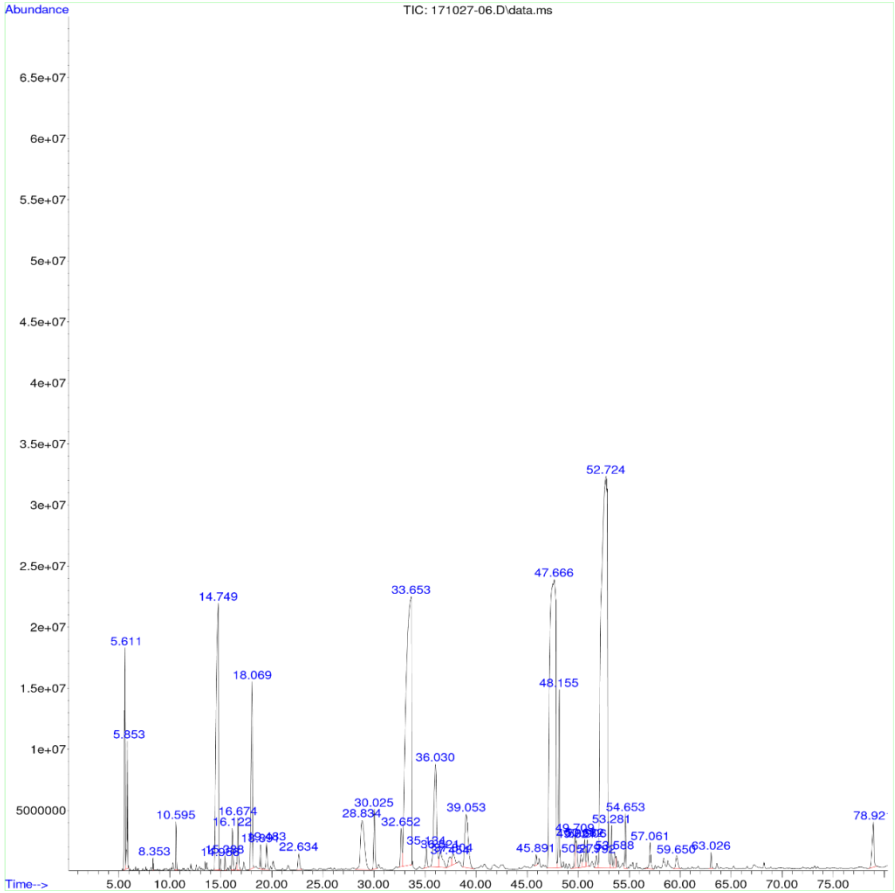


Fuente: elaboración propia.

ANEXOS

Anexo 1. **Cromatografía de gases con acoplamiento a espectrometría de masas GC-MS para extracto de hojas Melchor de Mencos**

```
File        :C:\msdchem\1\DATA\Cursos\Ai2017\171027-06.D
Operator    : AdeM
Acquired    : 27 Oct 2017  18:47     using AcqMethod ACEITES
ESENCIALES MCS DB-WAX SCAN 2.M Instrument :   GC-MSD
Sample Name: Muestra 1
Misc Info   : Hoja Melchor Mencos                           Vial
Number: 6
```



Continuación del anexo 1.

```
                                    LIQA Library Search Report

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\Cursos\Ai2017\
Data File : 171027-06.D
Title :
Acq On : 27 Oct 2017 18:47
Operator : AdeM
Sample : Muestra 1
Misc : Hoja Melchor Mencos
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
_____________________________________________________________________
                 Benzene, 1,2-dimethoxy-4-(2-propen        41488 000093-15-2 96
                   yl)-
26  48.153 2.25  C:\Database\NIST05a.L
                 Caryophyllene oxide                       71350 001139-30-6 91
                   Caryophyllene oxide                     71353 001139-30-6 91
                   Cyclohexane, 1,5-diethenyl-2,3-dim      32246 068779-14-6 56
                   ethyl-, (1.alpha.,2.alpha.,3.alpha
                   .,5.beta.)-

27  49.709 0.44 C:\Database\NIST05a.L
                  12-Oxabicyclo[9.1.0]dodeca-3,7-die       71453 019888-34-7 83
                  ne, 1,5,5,8-tetramethyl-, [1R-(1R*
                  ,3E,7E,11R*)]-
                  3-Cyclohexen-1-carboxaldehyde, 3,4        17043 1000131-99-4 60
                  -dimethyl-
                  Naphthalene, decahydro-, cis-            16342 000493-01-6 58

28  49.822 0.41 C:\Database\NIST05a.L
                 1,3,4-Trimethyladamantane                  41741 1000214-98-3 49
                 l-Tyrophanamide                            43594 1000131-25-3 45
                 1-Naphthalenemethanol, 1,2,3,5,6,7         72994 062192-82-9 38
                 ,8,8a-octahydro-.alpha.,.alpha.,4,
                 7-tetramethyl-

29  50.277 0.22 C:\Database\NIST05a.L
                  Naphthalene, 1,2,3,4,4a,7-hexahydr        59947 016728-99-7 78
                  o-1,6-dimethyl-4-(1-methylethyl)-
                  Naphthalene, 1,2,3,4,4a,7-hexahydr        59946 016728-99-7 50
                  o-1,6-dimethyl-4-(1-methylethyl)-
                  s-Triazolo[4,3-a]pyridine, 3,5,7-t        30421 004919-15-7 43
                  rimethyl-

30  50.632 0.50 C:\Database\NIST05a.L
                  (-)-Globulol                              72905 000489-41-8 99
                  Globulol                                  72897 051371-47-2 99
                  Ledol                                     72883 000577-27-5 94

31  50.905 0.39 C:\Database\NIST05a.L
                  Ledol                                     72883 000577-27-5 95
                  Naphthalene, decahydro-4a-methyl-1        59991 000515-17-3 84
                  -methylene-7-(1-methylethylidene)-
                  , (4aR-trans)-
                  Veridiflorol                              72904 1000122-17-3 76

32  51.792 0.22 C:\Database\NIST05a.L
                  Benzene, 1-butyl-4-methoxy-               32049 018272-84-9 60
                  Phenol, 4-(1,1-dimethylethyl)-2-me        32080 000098-27-1 55
                  thyl-
                  Phenol, 2-(1,1-dimethylethyl)-4-me        32085 002409-55-4 55
                  thyl-

33   52.724 28.10 C:\Database\NIST05a.L
                  3-Allyl-6-methoxyphenol                   31757 000501-19-9 98
                  Eugenol                                   31716 000097-53-0 97
                  Phenol, 2-methoxy-3-(2-propenyl)-         31835 001941-12-4 97
```

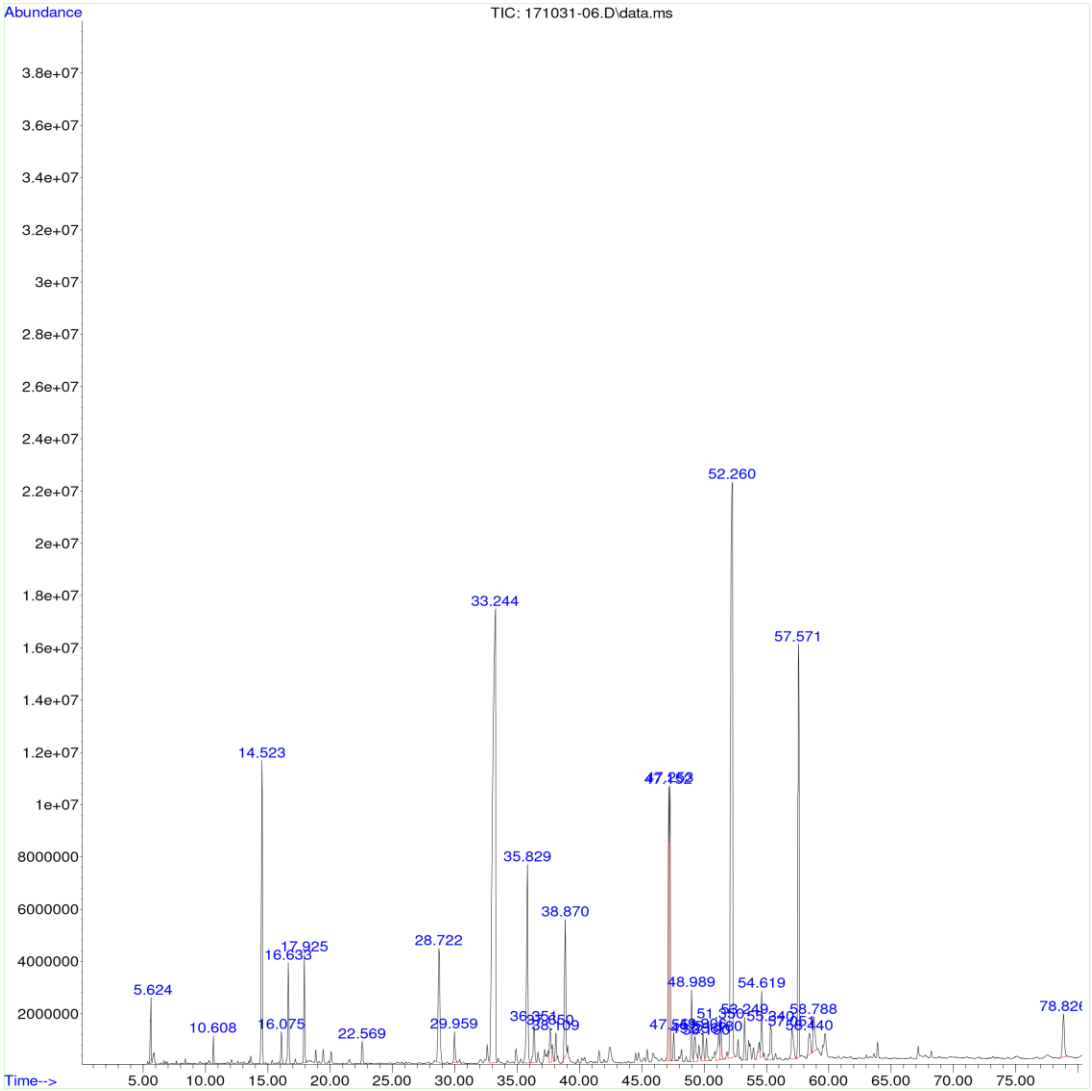
Continuación del anexo 1.

Fuente: Instituto de Investigaciones, CIB/Departamento de Química, LIQA/UVG. *Cromatografía de gases*. http://www.uvg.edu.gt/investigacion/cib/index.html. Consulta: 17 de mayo de 2018.

Anexo 2. **Cromatografía de gases con acoplamiento a espectrometría de masas GC-MS para extracto de hojas de Dolores, Petén**

```
File       :C:\msdchem\1\DATA\ALIMcursos\171031-06.D
Operator   : AdeM
Acquired   : 31 Oct 2017  19:47     using AcqMethod ACEITES
ESENCIALES MCS DB-WAX SCAN 2.M
Instrument :   GC-MSD
Sample Name: Muestra 19
Misc Info  : Hoja Dolores
Vial Number: 5
```

Continuación del anexo 2.



LIQA Library Search Report
Data Path : C:\msdchem\1\DATA\ALIMcursos\
Data File : 171031-06.D
Title :
Acq On : 31 Oct 2017 19:47
Operator : AdeM
Sample : Muestra 19
Misc : Hoja Dolores
ALS Vial : 5 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

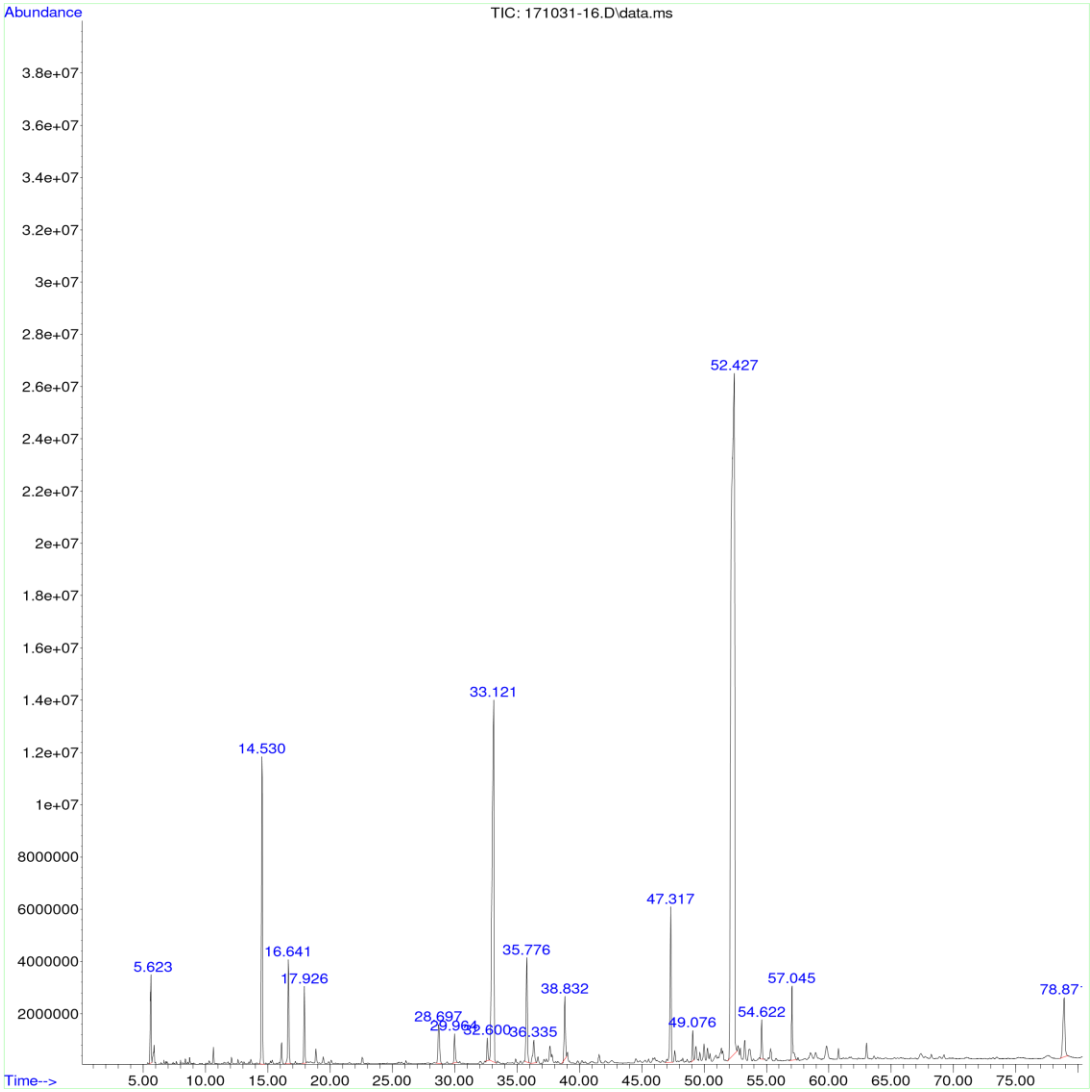
Continuación del anexo 2.

```
                 [1ar-(1a.alpha.,4a.alpha.,7.beta.,
                 7a.beta.,7b.alpha.)]-
                 (-)-Spathulenol                    71327 077171-55-2 81

25  52.260  21.06 C:\Database\NIST05a.L
                  3-Allyl-6-methoxyphenol           31757 000501-19-9 98
                  Eugenol                           31716 000097-53-0 97
                  Phenol, 2-methoxy-4-(1-propenyl)-, 31885 005932-68-3 97
                  (E)-

26  53.247  0.87  C:\Database\NIST05a.L
                  .alpha.-Cadinol                   72908 000481-34-5 93
                  .tau.-Muurolol                    72907 019912-62-0 62
                  1,4-Methano-1H-indene, octahydro-1 60055 087064-18-4 38
                  ,7a-dimethyl-4-(1-methylethenyl)-,
                  [1S-(1.alpha.,3a.beta.,4.alpha.,7
                  a.beta.)]-

27  54.621  1.23  C:\Database\NIST05a.L
                  .alpha.-Cadinol                    72908 000481-34-5 96
                  .tau.-Muurolol                     72907 019912-62-0 64
                  Acenaphthylene, dodecahydro-       32191 002146-36-3 30

28  55.340  0.96  C:\Database\NIST05a.L
                  Azulene, 1,2,3,3a,4,5,6,7-octahydr  60067 022567-17-5 64
                  o-1,4-dimethyl-7-(1-methylethenyl)
                  -, [1R-(1.alpha.,3a.beta.,4.alpha.
                  ,7.beta.)]-
                  1,3,3-Trimethyl-2-hydroxymethyl-3,  72990 1000144-10-7 49
                  3-dimethyl-4-(3-methylbut-2-enyl)-
                  cyclohexene
                  Ledol                               72883 000577-27-5 46

29  57.050  1.16  C:\Database\NIST05a.L
                  Phenol, 4-(2-propenyl)-             14802 000501-92-8 64
                  Phenol, 4-(2-propenyl)-             14803 000501-92-8 58
                  Benzaldehyde, 4-ethyl-              14801 004748-78-1 45

30  57.573  7.74  C:\Database\NIST05a.L
                  Phenol, 2-methoxy-4-(1-propenyl)-,   31885 005932-68-3 98
                  (E)-
                  Phenol, 2-methoxy-4-(1-propenyl)-    31833 000097-54-1 96
                  Phenol, 2-methoxy-4-(1-propenyl)-,   31883 005932-68-3 96
                  (E)-

31  58.442  0.72  C:\Database\NIST05a.L
                  1-Methylbicyclo[3.2.1]octane          10342 119972-41-7 56
                  Bicyclo[2.2.2]oct-2-ene, 1,2,3,6-t    32219 062376-14-1 38
                  etramethyl-
                  Tricyclo[3.2.2.0]nonane-2-carboxyl 3  3248 033101-05-2 38
                  ic acid

32  58.787  1.21  C:\Database\NIST05a.L
                  2,6,10-Dodecatrien-1-ol, 3,7,11-tr    72947 003790-71-4 90
                  imethyl-, (Z,E)-
                  2,6,10-Dodecatrien-1-ol, 3,7,11-tr    72935 004602-84-0 90
                  imethyl-

                     ACEITES ESE...X B SCAN 2.M Thu Nov 02 12:15:28 2017 Page: 4
```

Fuente: Instituto de Investigaciones, CIB/Departamento de Química, LIQA/UVG. *Cromatografía de gases*. http://www.uvg.edu.gt/investigacion/cib/index.html. Consulta: 18 de mayo de 2018.

Anexo 3. **Cromatografía de gases con acoplamiento a espectrometría de masas GC-MS para extracto de hojas de San Luis Petén**

```
File        :C:\msdchem\1\DATA\ALIMcursos\171031-16.D
Operator    : AdeM
Acquired    :  1 Nov 2017  10:15     using AcqMethod ACEITES
ESENCIALES MCS DB-WAX SCAN 2.M
Instrument :   GC-MSD
Sample Name: Muestra 29
Misc Info  : Hoja San Luis Peten
Vial Number: 15
```



Continuación del anexo 3.

```
                                    LIQA Library Search Report

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\ALIMcursos\
Data File : 171031-16.D
Title :
Acq On : 1 Nov 2017 10:15
Operator : AdeM
Sample : Muestra 29
Misc : Hoja San Luis Peten
ALS Vial : 15 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
_____________________________________________________________________________
                 8a.alpha.)-
                 Naphthalene, 1,2,3,4,4a,5,6,8a-oct 60065 030021-74-0 96
                 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 60068 030021-74-0 96
                 ahydro-7-methyl-4-methylene-1-(1-m
                 ethylethyl)-, (1.alpha.,4a.alpha.,
                 8a.alpha.)-

11  38.833 1.64  C:\Database\NIST05a.L
                 Naphthalene, 1,2,3,5,6,8a-hexahydr 59980 000483-76-1 96
                 o-4,7-dimethyl-1-(1-methylethyl)-,
                 (1S-cis)-
                 Naphthalene, 1,2,4a,5,8,8a-hexahyd 60036 000523-47-7 95
                 ro-4,7-dimethyl-1-(1-methylethyl)-
                 , [1S-(1.alpha.,4a.beta.,8a.alpha.
                 )]-
                 Naphthalene, 1,2,3,5,6,8a-hexahydr 59979 000483-76-1 94
                 o-4,7-dimethyl-1-(1-methylethyl)-,
                 (1S-cis)-

12  47.316 4.13  C:\Database\NIST05a.L
                 Caryophyllene oxide                71353 001139-30-6 94
                 Caryophyllene oxide                71350 001139-30-6 81
                 Bicyclo[6.1.0]nonane, 9-(1-methyle 32218 056666-90-1 55
                 thylidene)-

13  49.076 0.61  C:\Database\NIST05a.L
                 12-Oxabicyclo[9.1.0]dodeca-3,7-die 71453 019888-34-7 68
                 ne, 1,5,5,8-tetramethyl-, [1R-(1R*
                 ,3E,7E,11R*)]-
                 3,5-Dimethylcyclohex-1-ene-4-carbo 17040 006975-94-6 62
                 xaldehyde
                 Naphthalene, decahydro-            16318 000091-17-8 58

14  52.429 52.79 C:\Database\NIST05a.L
                 Eugenol                            31715 000097-53-0 97
                 Eugenol                            31717 000097-53-0 96
                 Phenol, 2-methoxy-3-(2-propenyl)-  31835 001941-12-4 96

15  54.621 0.93  C:\Database\NIST05a.L
                 .alpha.-Cadinol                    72908 000481-34-5 97
                 1H-Cycloprop[e]azulen-4-ol, decahy 73029 000552-02-3 53
                 dro-1,1,4,7-tetramethyl-, [1ar-(1a
                 .alpha.,4.beta.,4a.beta.,7.alpha.,
                 7a.beta.,7b.alpha.)]-
                 .tau.-Muurolol                     72907 019912-62-0 38

16  57.045 1.86  C:\Database\NIST05a.L
                 Phenol, 4-(2-propenyl)-            14802 000501-92-8 97
                 Phenol, 4-(2-propenyl)-            14803 000501-92-8 94
                 Phenol, 4-(2-propenyl)-, acetate   40117 061499-22-7 80

17  78.870 2.58  C:\Database\NIST05a.L
```

Continuación del anexo 3.

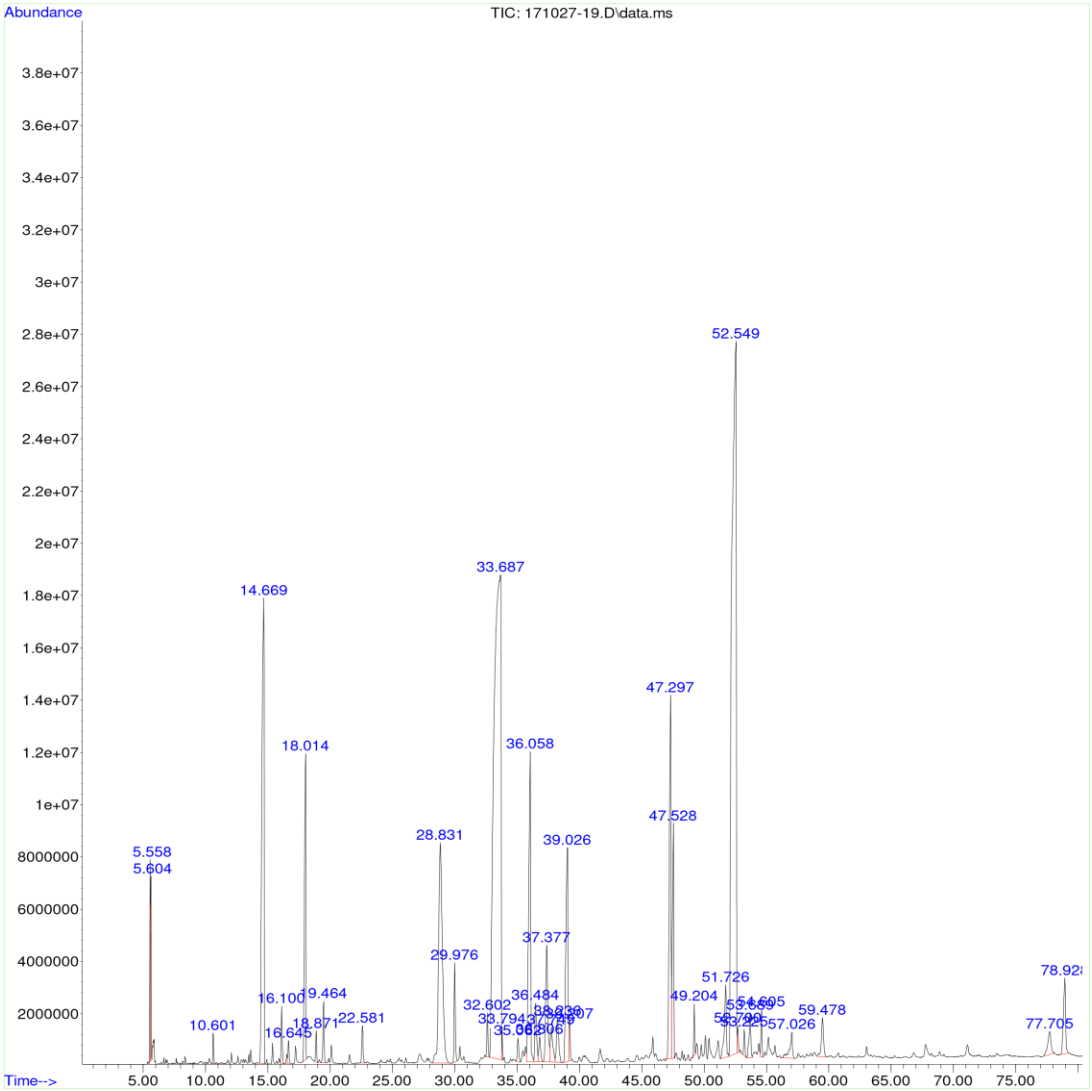
```
n-Hexadecanoic acid                96233 000057-10-3 98
n-Hexadecanoic acid                96234 000057-10-3 98
    ACEITES ESE...X B SCAN 2.M Fri Nov 03 12:51:15 2017 Page: 2
```

Fuente: Instituto de Investigaciones, CIB/Departamento de Química, LIQA/UVG. *Cromatografía de gases*. http://www.uvg.edu.gt/investigacion/cib/index.html. Consulta: 17 de mayo de 2018.

Anexo 4. **Cromatografía de gases con acoplamiento a espectrometría de masas GC-MS para extracto de frutos de Melchor de Mencos**

```
File       :C:\msdchem\1\DATA\Cursos\Ai2017\171027-19.D
Operator   : AdeM
Acquired   : 28 Oct 2017  13:36     using AcqMethod ACEITES
ESENCIALES MCS DB-WAX SCAN 2.M
Instrument :   GC-MSD
Sample Name: Muestra 14
Misc Info  : Fruto Melchor de Mencos
Vial Number: 19
```

Continuación del anexo 4.



LIQA Library Search Report

```
Data Path : C:\msdchem\1\DATA\Cursos\Ai2017\
Data File : 171027-19.D
Title :
Acq On : 28 Oct 2017 13:36
Operator : AdeM
Sample : Muestra 14
Misc : Fruto Melchor de Mencos
ALS Vial : 19 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
```

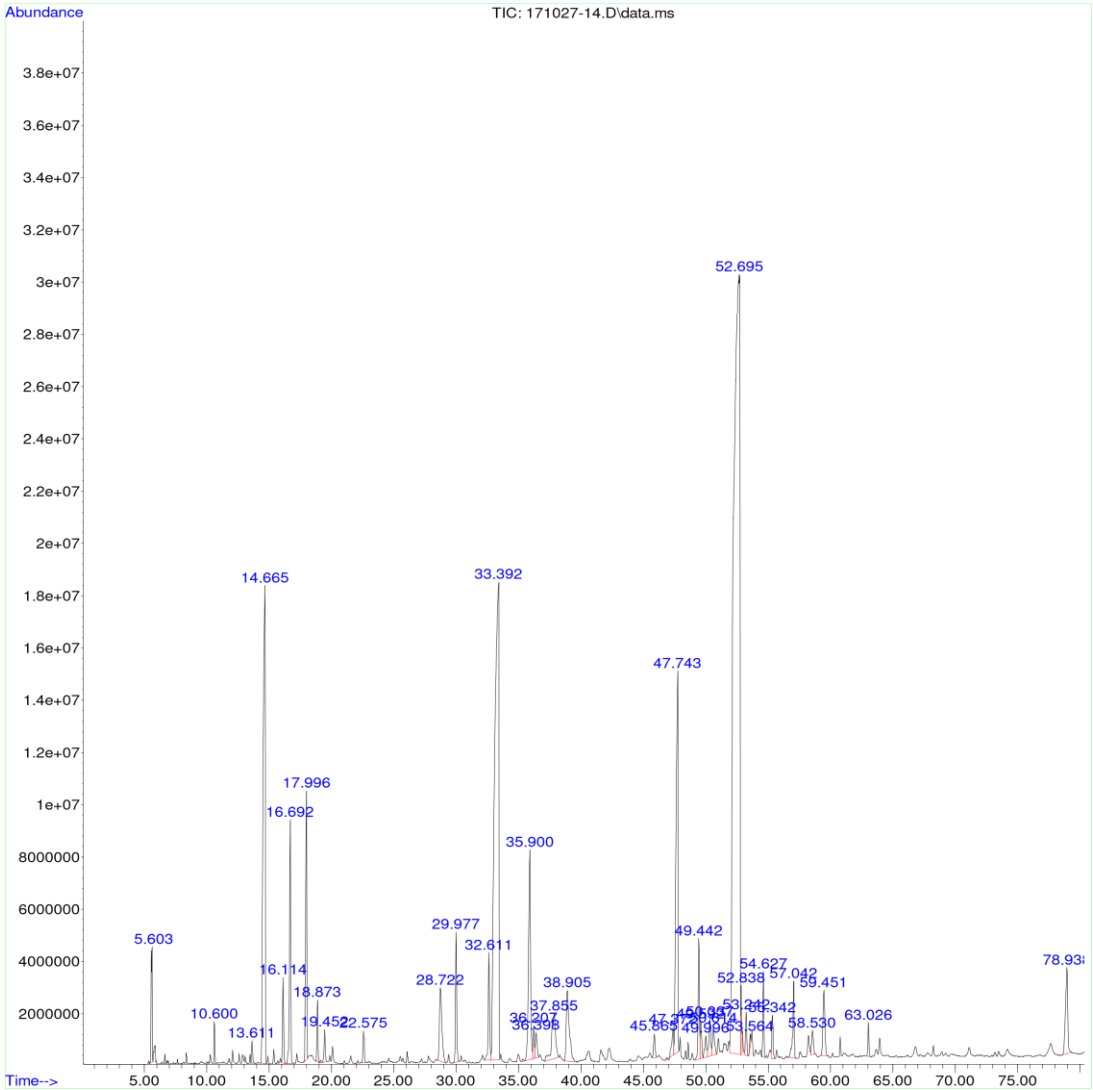
Continuación del anexo 4.

```
                  [1ar-(1a.alpha.,4a.alpha.,7.beta.,
                  7a.beta.,7b.alpha.)]-

29  52.547  24.30 C:\Database\NIST05a.L
                  3-Allyl-6-methoxyphenol            31757 000501-19-9 97
                  Eugenol                            31715 000097-53-0 97
                  Eugenol                            31717 000097-53-0 97

30  52.701  0.21  C:\Database\NIST05a.L
                  Phenol, 2-methoxy-3-(2-propenyl)-  31835 001941-12-4 89
                  Eugenol                            31714 000097-53-0 89
                  Bicyclo[4.4.0]dec-1-ene, 2-isoprop 59918 150320-52-8 86
                  yl-5-methyl-9-methylene-

31  53.224  0.24  C:\Database\NIST05a.L
                  .alpha.-Cadinol                    72908 000481-34-5 95
                  .tau.-Muurolol                     72907 019912-62-0 70
                  1,5-Cyclodecadiene, 1,5-dimethyl-8 59934 015423-57-1 50
                  -(1-methylethylidene)-, (E,E)-

32  53.688  0.61  C:\Database\NIST05a.L
                  1,6,10-Dodecatriene, 7,11-dimethyl 59895 028973-97-9 38
                  -3-methylene-, (Z)-
                  1,6,10-Dodecatriene, 7,11-dimethyl 59894 018794-84-8 38
                  -3-methylene-, (E)-
                  5-Acetoxymethyl-2,6,10-trimethyl-2 113275 1000144-12-3 37
                  ,9-undecadien-6-ol

33  54.607  0.40  C:\Database\NIST05a.L
                  .alpha.-Cadinol                    72908 000481-34-5 90
                  Cyclohexane, 1-ethenyl-1-methyl-2- 59967 003242-08-8 45
                  (1-methylethenyl)-4-(1-methylethyl
                  idene)-
                  1H-Cycloprop[e]azulen-4-ol, decahy 73029 000552-02-3 43
                  dro-1,1,4,7-tetramethyl-, [1ar-(1a
                  .alpha.,4.beta.,4a.beta.,7.alpha.,
                  7a.beta.,7b.alpha.)]-

34  57.027  0.58  C:\Database\NIST05a.L
                  Phenol, 4-(2-propenyl)-             14803 000501-92-8 49
                  Phenol, 4-(2-propenyl)-             14802 000501-92-8 49
                  Benzaldehyde, 2,5-dimethyl-         14828 005779-94-2 41

35  59.479  0.66  C:\Database\NIST05a.L
                  Caryophyllene oxide                 71352 001139-30-6 78
                  Spiro[4.5]dec-6-en-8-one, 1,7-dime  71412 039510-36-6 64
                  thyl-4-(1-methylethyl)-
                  7'-Oxaspiro[cyclopropane-1,4'-tric  31947 109637-57-2 64
                  yclo[3.3.1.0(6,8)]nonan-2'-one]

36  77.705  0.59  C:\Database\NIST05a.L
                  9,17-Octadecadienal, (Z)-           101505 056554-35-9 95
                  9,12-Octadecadienoic acid (Z,Z)-    111992 000060-33-3 93
                  9,12-Octadecadienoic acid, methyl 121093 002462-85-3 91
                  Ester

37 78.929 1.26 C:\Database\NIST05a.L
                     ACEITES ESE...X B SCAN 2.M Thu Nov 02 10:41:40 2017 Page: 5
```

Fuente: Instituto de Investigaciones, CIB/Departamento de Química, LIQA/UVG. *Cromatografía de gases*. http://www.uvg.edu.gt/investigacion/cib/index.html. Consulta: 17 de mayo de 2018.

Anexo 5. **Cromatografía de gases con acoplamiento a espectrometría de masas GC-MS para extracto de frutos de Dolores, Petén**

```
File        :C:\msdchem\1\DATA\Cursos\Ai2017\171027-14.D
Operator    : AdeM
Acquired    : 28 Oct 2017   6:22     using AcqMethod ACEITES
ESENCIALES MCS DB-WAX SCAN 2.M
Instrument :   GC-MSD
Sample Name: Muestra 9
Misc Info  : Dolores
Vial Number: 14
```



Continuación del anexo 5.

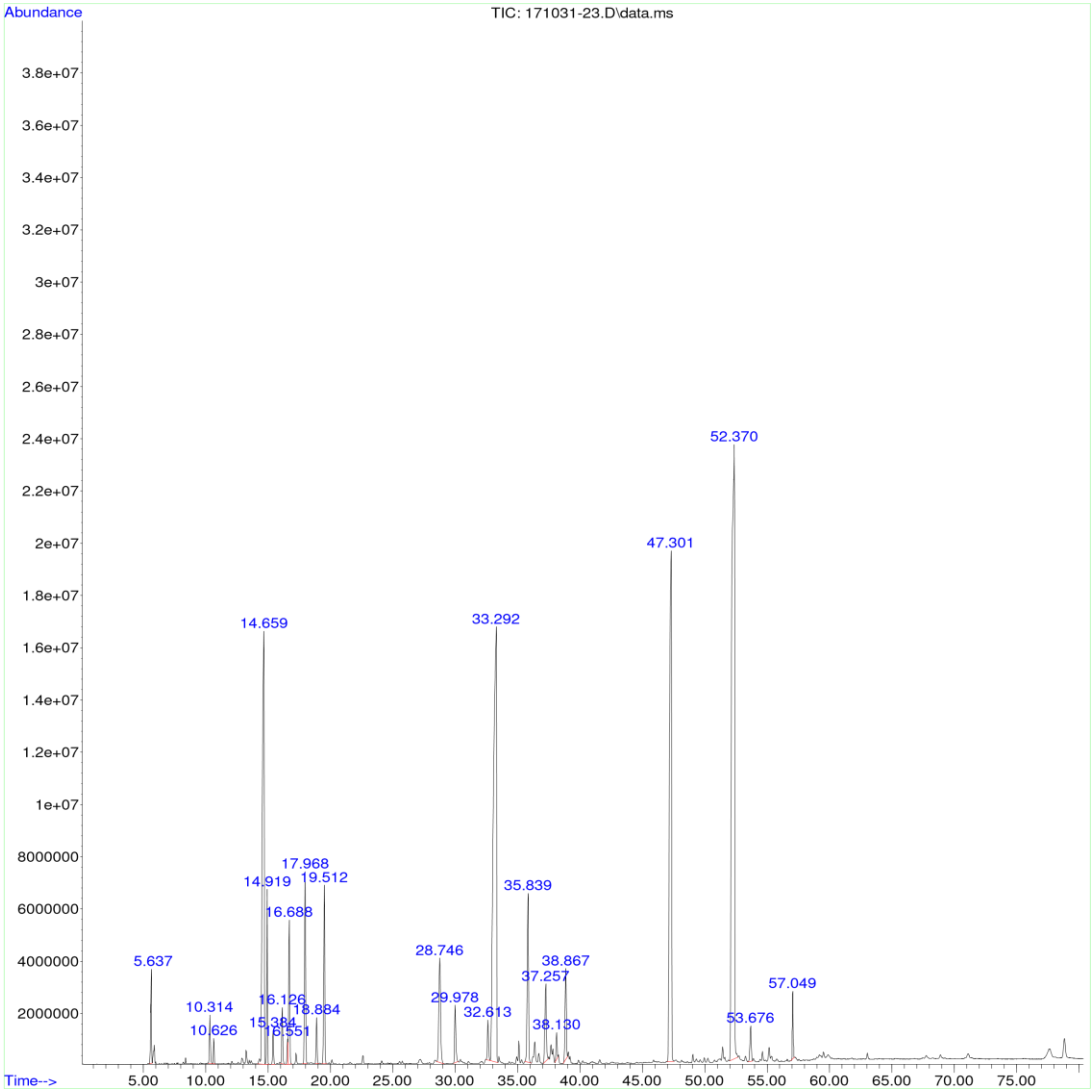
```
                                    LIQA Library Search Report

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\Cursos\Ai2017\
Data File : 171027-14.D
Title :
Acq On : 28 Oct 2017 6:22
Operator : AdeM
Sample : Muestra 9
Misc : Fruto Dolores
ALS Vial : 14 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
_____________________________________________________________________________
                 -1,7a-dimethyl-5-(1-methylethyl)-,
                 [1S-(1.alpha.,2.alpha.,3a.beta.,4
                 .alpha.,5.alpha.,7a.beta.,8S*)]-

26  50.336  0.56  C:\Database\NIST05a.L
                 (-)-Globulol                      72905 000489-41-8 99
                 Globulol                          72897 051371-47-2 99
                 Ledol                             72883 000577-27-5 95

27  50.614  0.46  C:\Database\NIST05a.L
                 Veridiflorol                      72904 1000122-17-3 91
                 Azulene, 1,2,3,3a,4,5,6,7-octahydr 60066 022567-17-5 90
                 o-1,4-dimethyl-7-(1-methylethenyl)
                 -, [1R-(1.alpha.,3a.beta.,4.alpha.
                 ,7.beta.)]-
                 1,4-Methanoazulene, decahydro-4,8, 60020 000475-20-7 89
                 8-trimethyl-9-methylene-, [1S-(1.a
                 lpha.,3a.beta.,4.alpha.,8a.beta.)]

28  52.697  39.32 C:\Database\NIST05a.L
                 3-Allyl-6-methoxyphenol            31757 000501-19-9 98
                 Eugenol                            31716 000097-53-0 97
                 Phenol, 2-methoxy-4-(1-propenyl)-,  31885 005932-68-3 97
                 (E)-

29  52.838  0.39 C:\Database\NIST05a.L
                 Bicyclo[4.4.0]dec-1-ene, 2-isoprop 59918 150320-52-8 89
                 yl-5-methyl-9-methylene-
                 Phenol, 2-methoxy-3-(2-propenyl)-  31835 001941-12-4 60
                 Eugenol                           31715 000097-53-0 60

30  53.243  0.44 C:\Database\NIST05a.L
                 .alpha.-Cadinol                   72908 000481-34-5 93
                 Cyclohexane, 1-ethenyl-1-methyl-2- 59967 003242-08-8 53
                 (1-methylethenyl)-4-(1-methylethyl
                 idene)-
                 1,4-Methano-1H-indene, octahydro-1 60055 087064-18-4 50
                 ,7a-dimethyl-4-(1-methylethenyl)-,
                 [1S-(1.alpha.,3a.beta.,4.alpha.,7
                 a.beta.)]-

31  53.566  0.07 C:\Database\NIST05a.L
                 Copaene                            59778 003856-25-5 97
                 Copaene                            59780 003856-25-5 93
                 Copaene                            59779 003856-25-5 92

32  54.626  0.72 C:\Database\NIST05a.L
                 .alpha.-Cadinol                    72908 000481-34-5 90
                 1H-Cycloprop[e]azulen-4-ol, decahy  73029 000552-02-3 53
                 dro-1,1,4,7-tetramethyl-, [1ar-(1a
                 .alpha.,4.beta.,4a.beta.,7.alpha.,
                 7a.beta.,7b.alpha.)]-
                 Acenaphthylene, dodecahydro-        32191 002146-36-3 30

33  55.340  0.41 C:\Database\NIST05a.L
```

```
1H-Cycloprop[e]azulen-4-ol, decahy   73029 000552-02-3 90
dro-1,1,4,7-tetramethyl-, [1ar-(1a
    ACEITES ESE...X B SCAN 2.M Thu Nov 02 10:23:55 2017 Page: 4
```

Fuente: Instituto de Investigaciones, CIB/Departamento de Química, LIQA/UVG. *Cromatografía de gases*. http://www.uvg.edu.gt/investigacion/cib/index.html. Consulta: 17 de mayo de 2018.

Anexo 6. **Cromatografía de gases con acoplamiento a espectrometría de masas GC-MS para extracto de frutos de San Luis, Petén**

```
File        :C:\msdchem\1\DATA\ALIMcursos\171031-23.D
Operator    : AdeM
Acquired    :  1 Nov 2017  20:23     using AcqMethod ACEITES
ESENCIALES MCS DB-WAX SCAN 2.M
Instrument :   GC-MSD
Sample Name: Muestra 36
Misc Info  : Fruto San Luis Peten
Vial Number: 22
```



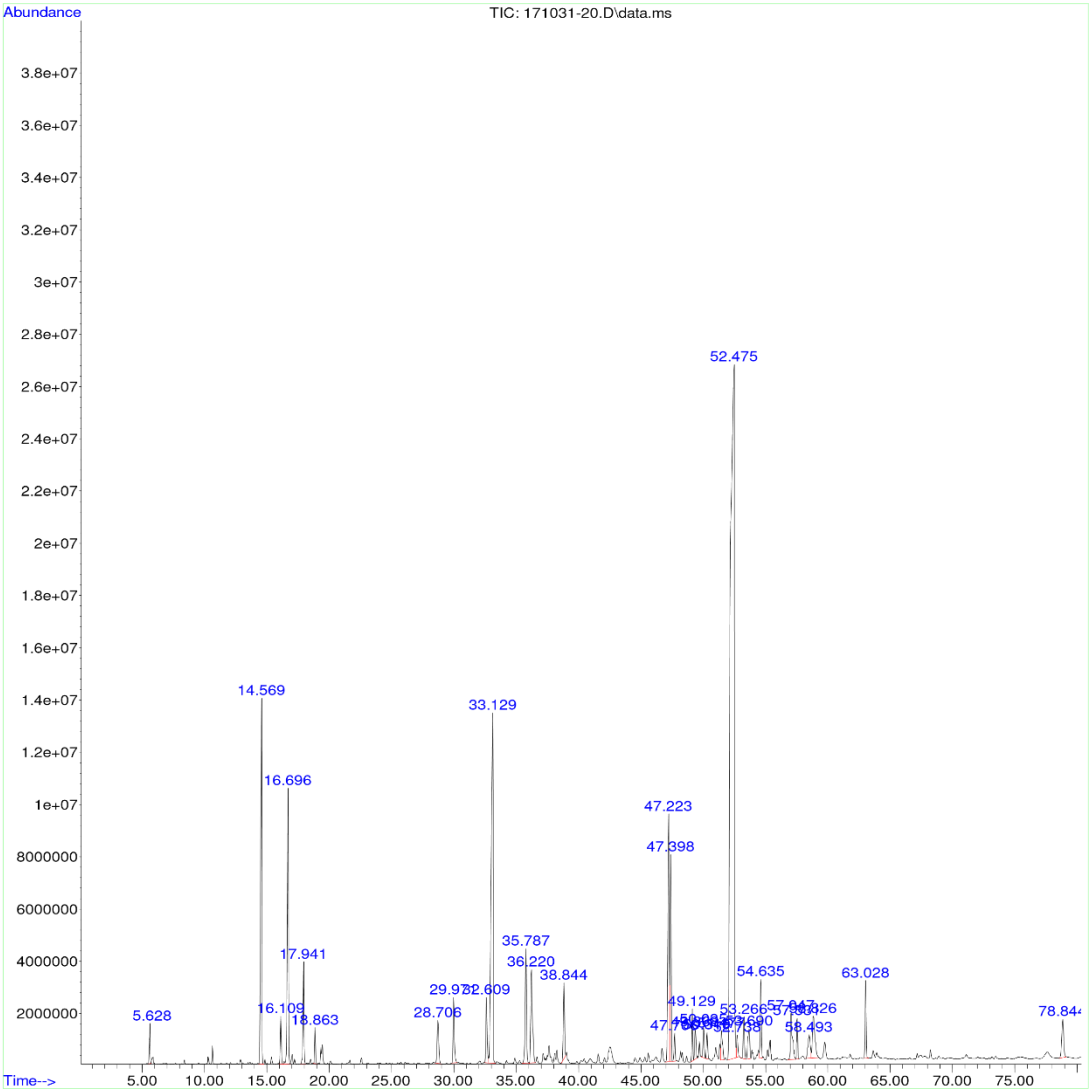
Continuación del anexo 6.

```
                                    LIQA Library Search Report

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\ALIMcursos\
Data File : 171031-23.D
Title :
Acq On : 1 Nov 2017 20:23
Operator : AdeM
Sample : Muestra 36
Misc : Fruto San Luis Peten
ALS Vial : 22 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-Cyclopenta[1,3]cyclopropa[1,2]b 60104 013744-15-5 94
                 enzene, octahydro-7-methyl-3-methy
                 lene-4-(1-methylethyl)-, [3aS-(3a.
                 alpha.,3b.beta.,4.beta.,7.alpha.,7
                 aS*)]-

19  38.128  0.41 C:\Database\NIST05a.L
                 Bicyclogermacrene                  59828 067650-90-2 90
                 1,5-Cyclodecadiene, 1,5-dimethyl-8 59934 015423-57-1 89
                 -(1-methylethylidene)-, (E,E)-
                 .gamma.-Elemene                    59818 030824-67-0 83

20  38.865  1.61 C:\Database\NIST05a.L
                 Naphthalene, 1,2,3,5,6,8a-hexahydr 59980 000483-76-1 97
                 o-4,7-dimethyl-1-(1-methylethyl)-,
                 (1S-cis)-
                 Naphthalene, 1,2,4a,5,8,8a-hexahyd 60036 000523-47-7 95
                 ro-4,7-dimethyl-1-(1-methylethyl)-
                 , [1S-(1.alpha.,4a.beta.,8a.alpha.
                 )]-
                 Naphthalene, 1,2,3,5,6,8a-hexahydr 59979 000483-76-1 94
                 o-4,7-dimethyl-1-(1-methylethyl)-,
                 (1S-cis)-

21  47.302  15.50 C:\Database\NIST05a.L
                 Benzene, 1,2-dimethoxy-4-(2-propen 41492 000093-15-2 98
                 yl)-
                 Benzene, 1,2-dimethoxy-4-(2-propen 41488 000093-15-2 96
                 yl)-
                 Benzene, 1,2-dimethoxy-4-(2-propen 41486 000093-15-2 94
                 yl)-

22  52.369  26.11 C:\Database\NIST05a.L
                 3-Allyl-6-methoxyphenol             31757 000501-19-9 98
                 Eugenol                             31715 000097-53-0 97
Eugenol 31716 000097-53-0 97

23  53.675  0.65 C:\Database\NIST05a.L
                 2,6,11,15-Tetramethyl-hexadeca-2,6  107082 038259-79-9 90
                 ,8,10,14-pentaene
                 2-Propenamide, 2-methyl-N-phenyl-   30152 001611-83-2 38
                 1,6,10-Dodecatriene, 7,11-dimethyl  59899 018794-84-8 32
                 -3-methylene-, (E)-

24  57.050  0.91 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 76

                     ACEITES ESE...X B SCAN 2.M Fri Nov 03 13:08:47 2017 Page: 3
```

Fuente: Instituto de Investigaciones, CIB/Departamento de Química, LIQA/UVG. *Cromatografía de gases*. http://www.uvg.edu.gt/investigacion/cib/index.html. Consulta: 17 de mayo de 2018.

Anexo 7. **Cromatografía de gases con acoplamiento a espectrometría de masas GC-MS para extracto de hojas de Santa María Cahabón**

```
File        :C:\msdchem\1\DATA\ALIMcursos\171031-20.D
Operator    : AdeM
Acquired    :  1 Nov 2017  16:03     using AcqMethod ACEITES
ESENCIALES MCS DB-WAX SCAN 2.M
Instrument :   GC-MSD
Sample Name: Muestra 33
Misc Info  : Hoja Cahabon
Vial Number: 19
```



Continuación del anexo 7.

```
                                    LIQA Library Search Report

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\ALIMcursos\
Data File : 171031-20.D
Title :
Acq On : 1 Nov 2017 16:03
Operator : AdeM
Sample : Muestra 33
Misc : Hoja Cahabon
ALS Vial : 19 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
_____________________________________________________________________________
                xaldehyde
                 Naphthalene, decahydro-, cis-       16344 000493-01-6 58

18  49.367  0.64  C:\Database\NIST05a.L
                 Azulene, 1,2,3,3a,4,5,6,7-octahydr  60067 022567-17-5 22
                 o-1,4-dimethyl-7-(1-methylethenyl)
                 -, [1R-(1.alpha.,3a.beta.,4.alpha.
                 ,7.beta.)]-
                 Naphthalene, 1,2,3,5,6,7,8,8a-octa  60051 010219-75-7 18
                 hydro-1,8a-dimethyl-7-(1-methyleth
                 enyl)-, [1S-(1.alpha.,7.alpha.,8a.
                 alpha.)]-
                 Caryophyllenyl alcohol              72920 1000131-90-4 15

19  50.036  0.57 C:\Database\NIST05a.L
                 (-)-Globulol                        72905 000489-41-8 99
                 Globulol                            72897 051371-47-2 98
                 Ledol                               72883 000577-27-5 97

20  50.309  0.49 C:\Database\NIST05a.L
                 Ledol                               72883 000577-27-5 98
                 Naphthalene, decahydro-4a-methyl-1  59991 000515-17-3 92
                 -methylene-7-(1-methylethylidene)-
                 , (4aR-trans)-
                 Veridiflorol                        72904 1000122-17-3 87

21  51.478  0.72 C:\Database\NIST05a.L
                 2-Pentadecanone, 6,10,14-trimethyl  104263 000502-69-2 98
                 2-Pentadecanone, 6,10,14-trimethyl  104264 000502-69-2 91
                 2-Pentadecanone, 6,10,14-trimethyl  104262 000502-69-2 55

22  52.474  41.24 C:\Database\NIST05a.L
                 Eugenol                              31715 000097-53-0 97
                 Eugenol                              31717 000097-53-0 97
                 Phenol, 2-methoxy-3-(2-propenyl)-    31835 001941-12-4 96

23  52.738  0.46 C:\Database\NIST05a.L
                 Bicyclo[4.4.0]dec-1-ene, 2-isoprop   59918 150320-52-8 90
                 yl-5-methyl-9-methylene-
                 Naphthalene, 1,2,3,4,4a,5,6,8a-oct   60065 030021-74-0 83
                 ahydro-7-methyl-4-methylene-1-(1-m
                 ethylethyl)-, (1.alpha.,4a.alpha.,
                 8a.alpha.)-
                 (+)-Epi-bicyclosesquiphellandrene    59869 054324-03-7 70

24  53.265  0.77 C:\Database\NIST05a.L
                 .alpha.-Cadinol                      72908 000481-34-5 93
                 .tau.-Muurolol                       72907 019912-62-0 64
                 1,4-Methano-1H-indene, octahydro-1   60055 087064-18-4 46
                 ,7a-dimethyl-4-(1-methylethenyl)-,
                 [1S-(1.alpha.,3a.beta.,4.alpha.,7
                 a.beta.)]-

25  53.688  0.91 C:\Database\NIST05a.L
                 3-Cyclohexene-1-methanol, .alpha.,   72995 023178-88-3 92
```

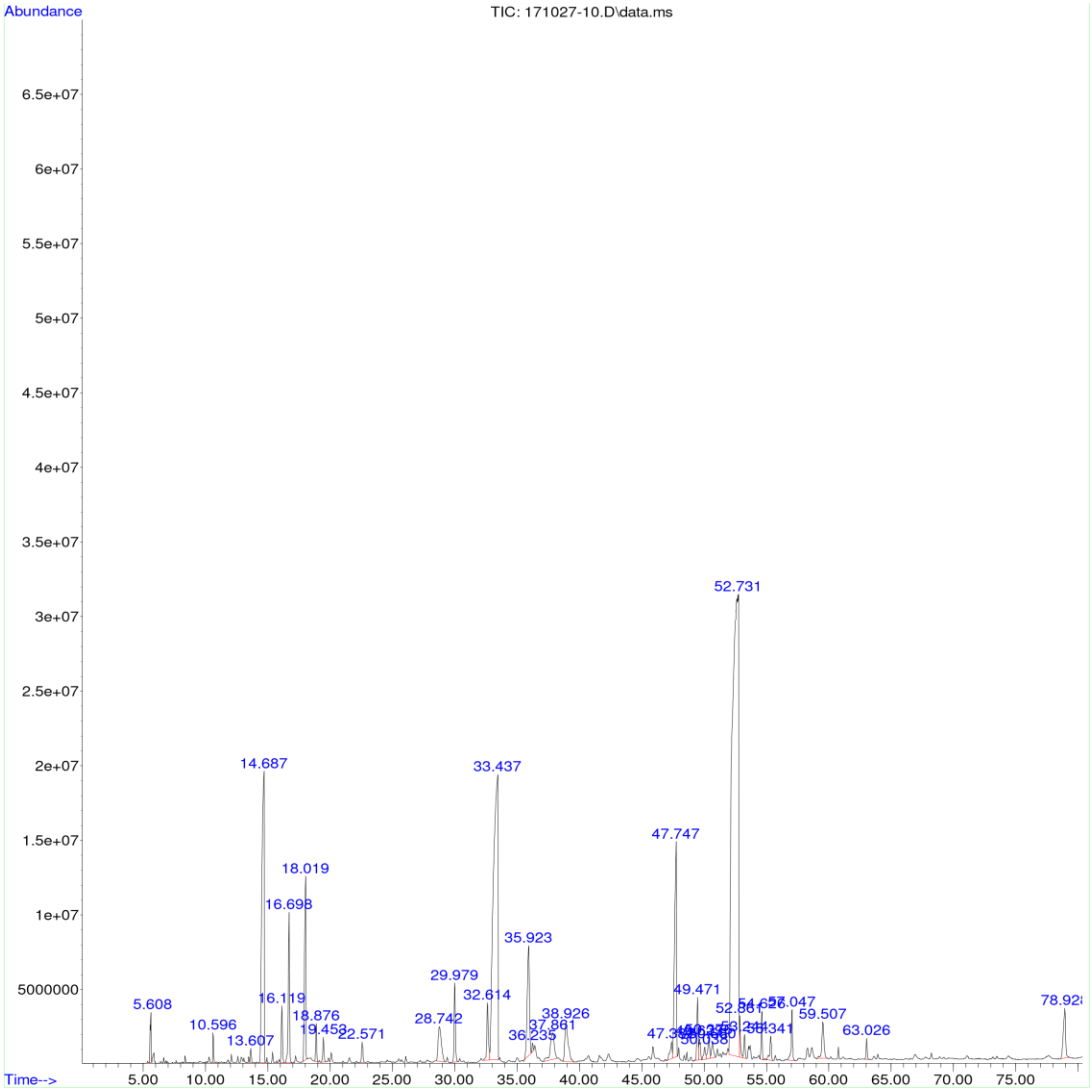
Continuación del anexo 7.

```
4-dimethyl-.alpha.-(4-methyl-3-pen
tenyl)-, [R-(R*,R*)]-
     ACEITES ESE...X B SCAN 2.M Fri Nov 03 12:57:47 2017 Page: 3
```

Fuente: Instituto de Investigaciones, CIB/Departamento de Química, LIQA/UVG. *Cromatografía de gases*. http://www.uvg.edu.gt/investigacion/cib/index.html. Consulta: 17 de mayo de 2018.

Anexo 8. **Cromatografía de gases con acoplamiento a espectrometría de masas GC-MS para extracto de frutos de Santa María Cahabón**

```
File        :C:\msdchem\1\DATA\Cursos\Ai2017\171027-10.D
Operator    : AdeM
Acquired    : 28 Oct 2017  00:34     using AcqMethod ACEITES
ESENCIALES MCS DB-WAX SCAN 2.M Instrument :   GC-MSD
Sample Name: Muestra 5
Misc Info   : Cahabon                                          Vial
Number: 10
```



Continuación del anexo 8.

```
                                                LIQA Library Search Report

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\Cursos\Ai2017\
Data File : 171027-10.D
Title :
Acq On : 28 Oct 2017 00:34
Operator : AdeM
Sample : Muestra 5
Misc : Cahabon
ALS Vial : 10 Sample Multiplier: 1
Search Libraries: C:\Database\NIST05a.L Minimum Quality: 0

Unknown Spectrum: Apex
Integration Events: ChemStation Integrator - autointA.e
Pk#    RT   Area%          Library/ID               Ref#      CAS#    Qual
_____________________________________________________________________________
                 lpha.,3a.beta.,4.alpha.,8a.beta.)]

26  52.733  39.46 C:\Database\NIST05a.L
                 3-Allyl-6-methoxyphenol             31757 000501-19-9 98
                 Eugenol                             31716 000097-53-0 97
                 Phenol, 2-methoxy-4-(1-propenyl)-,  31885 005932-68-3 97
                 (E)-

27  52.861  0.51 C:\Database\NIST05a.L
                 Bicyclo[4.4.0]dec-1-ene, 2-isoprop  59918 150320-52-8 89
                 yl-5-methyl-9-methylene-
                 Phenol, 2-methoxy-3-(2-propenyl)-   31835 001941-12-4 74
                 3-Allyl-6-methoxyphenol             31757 000501-19-9 74

28  53.243  0.38 C:\Database\NIST05a.L
                 .alpha.-Cadinol                     72908 000481-34-5 96
                 Cyclohexane, 1-ethenyl-1-methyl-2-  59967 003242-08-8 53
                 (1-methylethenyl)-4-(1-methylethyl
                 idene)-
                 anti-10-Methyl-endo-tricyclo[5.2.1  23014 1000215-29-5 46
                 .0(2.6)]decane

29  54.625  0.65 C:\Database\NIST05a.L
                 .alpha.-Cadinol                     72908 000481-34-5 97
                 Cyclohexane, 1-ethenyl-1-methyl-2-  59967 003242-08-8 55
                 (1-methylethenyl)-4-(1-methylethyl
                 idene)-
                 1H-Cycloprop[e]azulen-4-ol, decahy  73029 000552-02-3 53
                 dro-1,1,4,7-tetramethyl-, [1ar-(1a
                 .alpha.,4.beta.,4a.beta.,7.alpha.,
                 7a.beta.,7b.alpha.)]-

30  55.340  0.45 C:\Database\NIST05a.L
                 Azulene, 1,2,3,3a,4,5,6,7-octahydr   60067 022567-17-5 91
                 o-1,4-dimethyl-7-(1-methylethenyl)
                 -, [1R-(1.alpha.,3a.beta.,4.alpha.
                 ,7.beta.)]-
                 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.)]-
                 2,2-Dimethyl-3-(3,7,16,20-tetramet   173959 1000194-78-6 49
                 Hyl-heneicosa-3,7,11,15,19-pentaen
                 yl)-oxirane

31  57.045  0.91 C:\Database\NIST05a.L
                 Phenol, 4-(2-propenyl)-             14802 000501-92-8 95
                 Phenol, 4-(2-propenyl)-             14803 000501-92-8 93
                 Benzaldehyde, 2-ethyl-              14796 022927-13-5 70

32  59.506  1.03 C:\Database\NIST05a.L
                 7'-Oxaspiro[cyclopropane-1,4'-tric  31947 109637-57-2 64
                 yclo[3.3.1.0(6,8)]nonan-2'-one]
                 Cyclohexane, 1,5-diethenyl-2,3-dim  32246 068779-14-6 58
                 ethyl-, (1.alpha.,2.alpha.,3.alpha
```

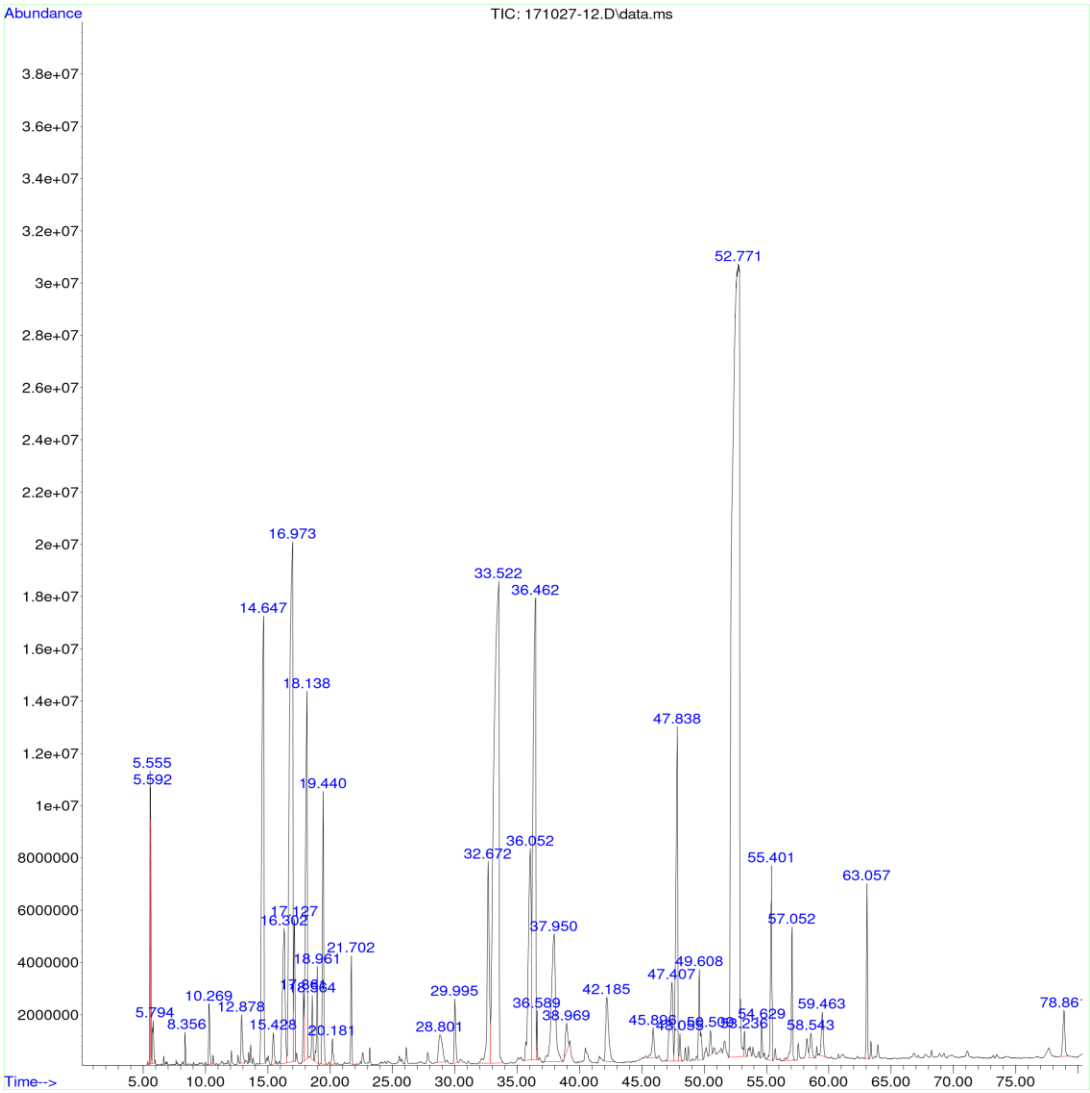
Continuación del anexo 8.

```
.,5.beta.)-
Caryophyllene oxide                71352 001139-30-6 55
    ACEITES ESE...X B SCAN 2.M Mon Oct 30 12:41:53 2017 Page: 4
```

Fuente: Instituto de Investigaciones, CIB/Departamento de Química, LIQA/UVG. *Cromatografía de gases*. http://www.uvg.edu.gt/investigacion/cib/index.html. Consulta: 17 de mayo de 2018.

Anexo 9. **Cromatografía de gases con acoplamiento a espectrometría de masas GC-MS para extracto de frutos de San Pedro Carchá**

```
File        :C:\msdchem\1\DATA\Cursos\Ai2017\171027-12.D
Operator    : AdeM
Acquired    : 28 Oct 2017   3:28     using AcqMethod ACEITES
ESENCIALES MCS DB-WAX SCAN 2.M
Instrument :   GC-MSD
Sample Name: Muestra 7
Misc Info  : San Pedro Carcha
Vial Number: 12
```



Continuación del anexo 9.

```
                                    LIQA Library Search Report

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\Cursos\Ai2017\
Data File : 171027-12.D
Title :
Acq On : 28 Oct 2017 3:28
Operator : AdeM
Sample : Muestra 7
Misc : San Pedro Carcha
ALS Vial : 12 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
_____________________________________________________________________________
28  42.185  1.00 C:\Database\NIST05a.L
                 2,6-Octadien-1-ol, 3,7-dimethyl-    25634 000624-15-7 90
                 2,6-Octadien-1-ol, 3,7-dimethyl-,   25693 000106-24-1 86
                 (E)-
                 2,6-Octadien-1-ol, 3,7-dimethyl-,   25689 000106-24-1 86
                 (E)-

29  45.897  0.35 C:\Database\NIST05a.L
                 Cyclohexene, 1-methoxy-             6329 000931-57-7 46
                 1-Hexene-3,5-dione                  6189 052204-69-0 43
                 1,5-Dimethyl-6-oxa-bicyclo[3.1.0]h  6432 082461-31-2 43
                 Exane

30  47.407  1.25 C:\Database\NIST05a.L
                 Benzene, 1,2-dimethoxy-4-(2-propen  41488 000093-15-2 98
                 yl)-
                 Benzene, 1,2-dimethoxy-4-(2-propen  41492 000093-15-2 97
                 yl)-
                 Benzene, 1,2-dimethoxy-4-(2-propen  41487 000093-15-2 96
                 yl)-

31  47.839  3.13 C:\Database\NIST05a.L
                 Caryophyllene oxide                 71353 001139-30-6 94
                 Caryophyllene oxide                 71350 001139-30-6 81
                 Bicyclo[3.1.1]heptane, 6,6-dimethy   15363 016022-04-1 55
                 l-3-methylene-

32  48.057  0.16 C:\Database\NIST05a.L
                 1,Z-5,E-7-Dodecatriene              32175 083085-83-0 91
                 Bicyclo[2.2.2]oct-2-ene, 1,2,3,6-t   32219 062376-14-1 86
                 etramethyl-
                 Caryophyllene oxide                 71353 001139-30-6 78

33  49.608  0.84 C:\Database\NIST05a.L
                 12-Oxabicyclo[9.1.0]dodeca-3,7-die   71453 019888-34-7 87
                 ne, 1,5,5,8-tetramethyl-, [1R-(1R*
                 ,3E,7E,11R*)]-
                 3,5-Dimethylcyclohex-1-ene-4-carbo   17040 006975-94-6 62
                 xaldehyde
                 o-Menth-8-ene                       16285 015193-25-6 55

34  50.509  0.20 C:\Database\NIST05a.L
                 Globulol                            72897 051371-47-2 94
                 Ledol                               72883 000577-27-5 92
                 1H-Cycloprop[e]azulen-4-ol, decahy   73028 000552-02-3 74
                 dro-1,1,4,7-tetramethyl-, [1ar-(1a
                 .alpha.,4.beta.,4a.beta.,7.alpha.,
                 7a.beta.,7b.alpha.)]-

35  52.770  30.71 C:\Database\NIST05a.L
                 3-Allyl-6-methoxyphenol             31757 000501-19-9 98
                 Eugenol                             31716 000097-53-0 97
                 Phenol, 2-methoxy-3-(2-propenyl)-    31835 001941-12-4 97

36  53.234  0.16 C:\Database\NIST05a.L
```

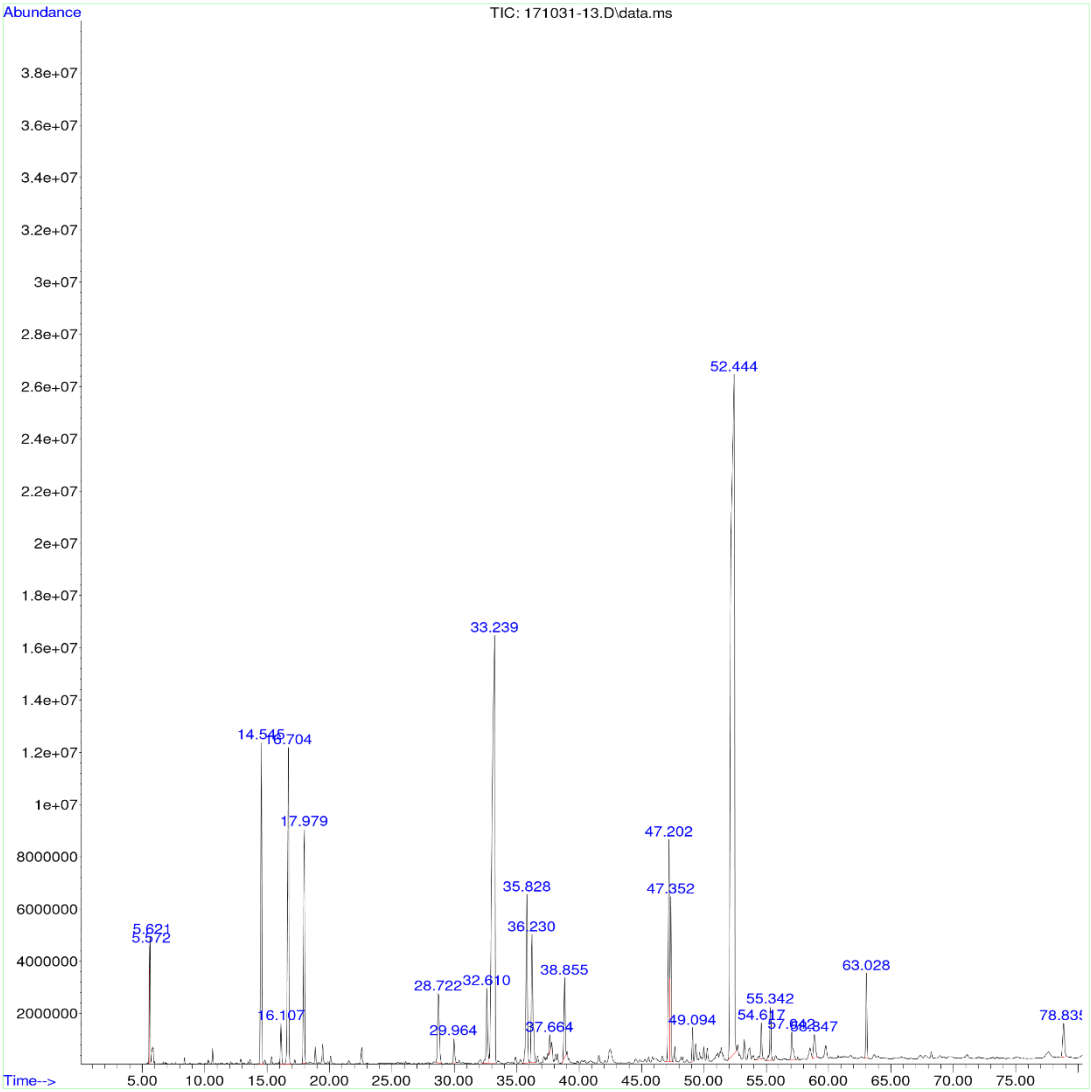
Continuación del anexo 9.

```
.alpha.-Cadinol                        72908 000481-34-5 55
1,5,6,7-Tetramethylbicyclo[3.2.0]h   32115 120345-87-1 42
     ACEITES ESE...X B SCAN 2.M Thu Nov 02 10:19:35 2017 Page: 4
```

Fuente: Instituto de Investigaciones, CIB/Departamento de Química, LIQA/UVG. *Cromatografía de gases*. http://www.uvg.edu.gt/investigacion/cib/index.html. Consulta: 17 de mayo de 2018.

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

```
File        :C:\msdchem\1\DATA\ALIMcursos\171031-13.D
Operator    : AdeM
Acquired    :  1 Nov 2017   5:55     using AcqMethod ACEITES
ESENCIALES MCS DB-WAX SCAN 2.M
Instrument :   GC-MSD
Sample Name: Muestra 26
Misc Info  : Hoja San Pedro Carcha
Vial Number: 12
```



Continuation del anexo 10.

```
                                    LIQA Library Search Report

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\ALIMcursos\
Data File : 171031-13.D
Title :
Acq On : 1 Nov 2017 5:55
Operator : AdeM
Sample : Muestra 26
Misc : Hoja San Pedro Carcha
ALS Vial : 12 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#   g Qual
_____________________________________________________________________________
11  35.831  3.63 C:\Database\NIST05a.L
                 1,4,7,-Cycloundecatriene, 1,5,9,9- 59900 1000062-61-9 98
                 tetramethyl-, Z,Z,Z-
                 .alpha.-Caryophyllene              59849 006753-98-6 98
                 .alpha.-Caryophyllene              59848 006753-98-6 97

12  36.231  3.27 C:\Database\NIST05a.L
                 p-menth-1-en-8-ol                  25545 1000157-89-9 90
                 3-Cyclohexene-1-methanol, .alpha.,  25797 000098-55-5 87
                 .alpha.4-trimethyl-
                 3-Cyclohexene-1-methanol, .alpha.,  25843 010482-56-1 86
                 .alpha.,4-trimethyl-, (S)-

13 37.664  0.27  C:\Database\NIST05a.L
                 10s,11s-Himachala-3(12),4-diene    59868 060909-28-6 97
                 Eudesma-4(14),11-diene             59851 1000152-04-3 94
                 Naphthalene, 1,2,4a,5,6,8a-hexahyd  60010 031983-22-9 92
                 ro-4,7-dimethyl-1-(1-methylethyl)-
                 , (1.alpha.,4a.alpha.,8a.alpha.)-

14  38.855  1.54 C:\Database\NIST05a.L
                 Naphthalene, 1,2,3,5,6,8a-hexahydr  59980 000483-76-1 96
                 o-4,7-dimethyl-1-(1-methylethyl)-,
                 (1S-cis)-
                 Naphthalene, 1,2,3,5,6,8a-hexahydr  59979 000483-76-1 94
                 o-4,7-dimethyl-1-(1-methylethyl)-,
                 (1S-cis)-
                 Naphthalene, 1,2,4a,5,8,8a-hexahyd  60036 000523-47-7 93
                 ro-4,7-dimethyl-1-(1-methylethyl)-
                 , [1S-(1.alpha.,4a.beta.,8a.alpha.
                 )]-

15  47.202  4.18 C:\Database\NIST05a.L
                 Benzene, 1,2-dimethoxy-4-(2-propen  41492 000093-15-2 98
                 yl)-
                 Benzene, 1,2-dimethoxy-4-(2-propen  41488 000093-15-2 96
                 yl)-
                 Benzene, 1,2-dimethoxy-4-(2-propen  41487 000093-15-2 96
                 yl)-

16  47.352  2.69 C:\Database\NIST05a.L
                 Caryophyllene oxide                 71353 001139-30-6 94
                 Caryophyllene oxide                 71350 001139-30-6 81
                 Cyclohexene, 3-methyl-6-(1-methyle   15383 005113-87-1 50
                 thenyl)-, (3R-trans)-

17  49.094  0.48 C:\Database\NIST05a.L
                 3-Cyclohexen-1-carboxaldehyde, 3,4   17043 1000131-99-4 78
                 -dimethyl-
                 12-Oxabicyclo[9.1.0]dodeca-3,7-die   71453 019888-34-7 74
                 ne, 1,5,5,8-tetramethyl-, [1R-(1R*
                 ,3E,7E,11R*)]-
                 o-Menth-8-ene                       16285 015193-25-6 60

18  52.442  37.99 C:\Database\NIST05a.L
```

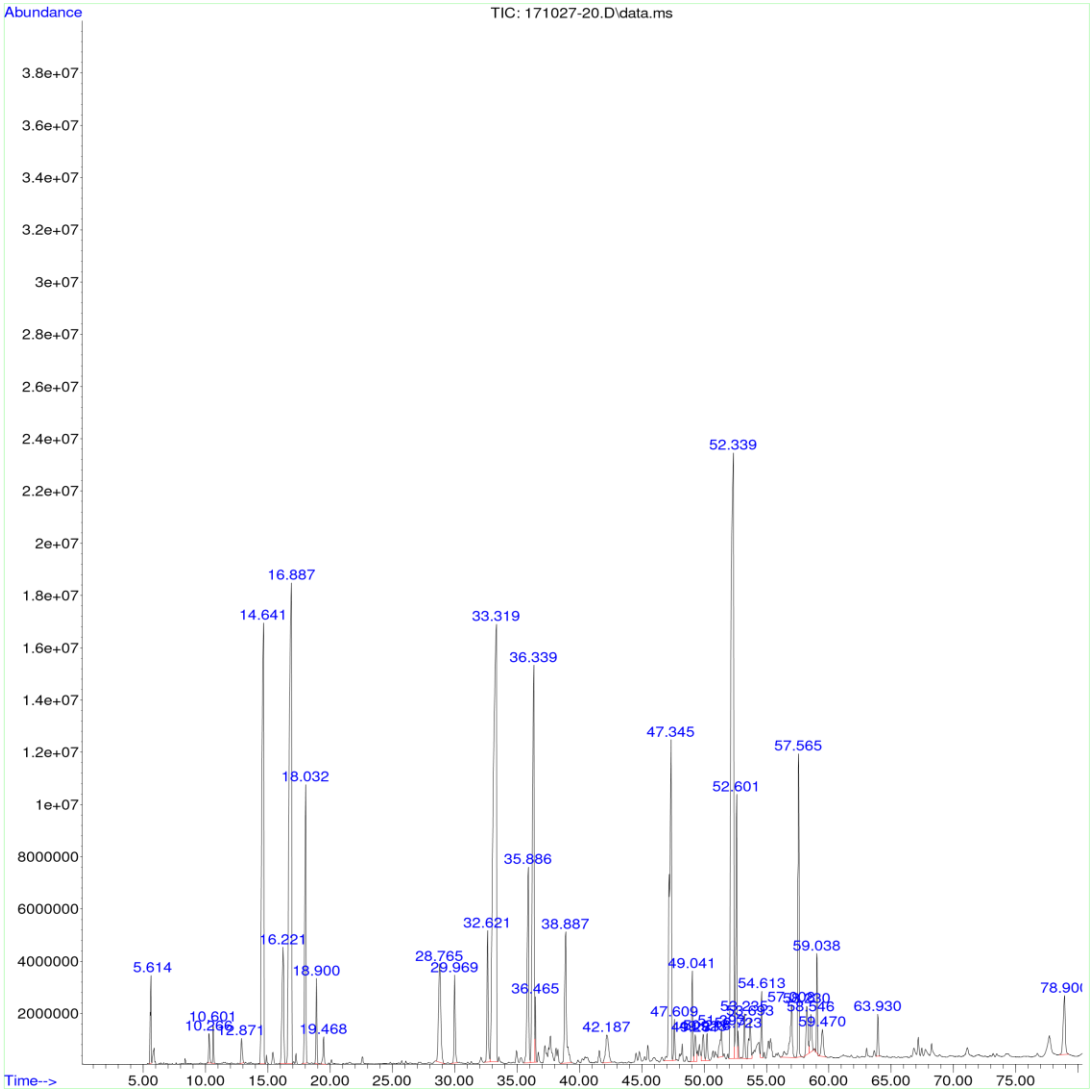
Continuation del anexo 10.

```
Eugenol                          31715 000097-53-0 97

   ACEITES ESE...X B SCAN 2.M Thu Nov 02 12:46:08 2017 Page: 2
```

Fuente: Instituto de Investigaciones, CIB/Departamento de Química, LIQA/UVG. *Cromatografía de gases*. http://www.uvg.edu.gt/investigacion/cib/index.html. Consulta: 17 de mayo de 2018.

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

```
File        :C:\msdchem\1\DATA\Cursos\Ai2017\171027-20.D
Operator    : AdeM
Acquired    : 28 Oct 2017  15:03     using AcqMethod ACEITES
ESENCIALES MCS DB-WAX SCAN 2.M
Instrument :   GC-MSD
Sample Name: Muestra 15
Misc Info  : Hoja Campur
Vial Number: 20
```



LIQA Library Search Report

Continuación del anexo 11.

```
Data Path : C:\msdchem\1\DATA\Cursos\Ai2017\
Data File : 171027-20.D
Title :
Acq On : 28 Oct 2017 15:03
Operator : AdeM
Sample : Muestra 15
Misc : Hoja Campur
ALS Vial : 20 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
_____________________________________________________________________________
                 -methylene-7-(1-methylethylidene)-
                 , (4aR-trans)-

26  51.391  0.58  C:\Database\NIST05a.L
                 1H-Cycloprop[e]azulen-7-ol, decahy  71464 006750-60-3 91
                 dro-1,1,7-trimethyl-4-methylene-,
                 [1ar-(1a.alpha.,4a.alpha.,7.beta.,
                 7a.beta.,7b.alpha.)]-
                 1H-Cycloprop[e]azulen-7-ol, decahy  71465 006750-60-3 90
                 dro-1,1,7-trimethyl-4-methylene-,
                 [1ar-(1a.alpha.,4a.alpha.,7.beta.,
                 7a.beta.,7b.alpha.)]-
                 Ledene oxide-(II)                  71337 1000159-36-7 52

27  52.337  16.05 C:\Database\NIST05a.L
                 3-Allyl-6-methoxyphenol            31757 000501-19-9 98
                 Eugenol                            31715 000097-53-0 97
                 Eugenol                            31716 000097-53-0 97

28  52.601  2.79 C:\Database\NIST05a.L
                 Benzene, 1,2-dimethoxy-4-(1-propen  41491 000093-16-3 96
                 yl)-
                 Benzene, 1,2-dimethoxy-4-(1-propen  41489  000093-16-3 96
                 yl)-
                 Benzene, 1,2-dimethoxy-4-(1-propen  41490 000093-16-3 94
                 yl)-

29  52.724  0.21 C:\Database\NIST05a.L
                 Bicyclo[4.4.0]dec-1-ene, 2-isoprop  59918 150320-52-8 95
                 yl-5-methyl-9-methylene-
                 (+)-Epi-bicyclosesquiphellandrene   59869 054324-03-7 94
                 Naphthalene, 1,2,3,4,4a,5,6,8a-oct  60070 030021-74-0 93
                 ahydro-7-methyl-4-methylene-1-(1-m
                 ethylethyl)-, (1.alpha.,4a.alpha.,
                 8a.alpha.)-

30  53.233  0.51 C:\Database\NIST05a.L
                 .alpha.-Cadinol                      72908 000481-34-5 91
                 .tau.-Muurolol                       72907 019912-62-0 55
                 1,4-Methano-1H-indene, octahydro-1    60055 087064-18-4 49
                 ,7a-dimethyl-4-(1-methylethenyl)-,
                 [1S-(1.alpha.,3a.beta.,4.alpha.,7
                 a.beta.)]-

31  53.693  0.74 C:\Database\NIST05a.L
                 3-Cyclohexene-1-methanol, .alpha.,    72995 023178-88-3 62
                 4-dimethyl-.alpha.-(4-methyl-3-pen
                 tenyl)-, [R-(R*,R*)]-
                 1H-Cycloprop[e]azulene, decahydro-    59928 072747-25-2 56
                 1,1,7-trimethyl-4-methylene-
                 1H-Cycloprop[e]azulene, decahydro-    60079 000489-39-4 55
                 1,1,7-trimethyl-4-methylene-, [1aR
                 -(1a.alpha.,4a.alpha.,7.alpha.,7a.
                 beta.,7b.alpha.)]-

32  54.612  0.68 C:\Database\NIST05a.L
                 .alpha.-Cadinol                      72908 000481-34-5 98
```

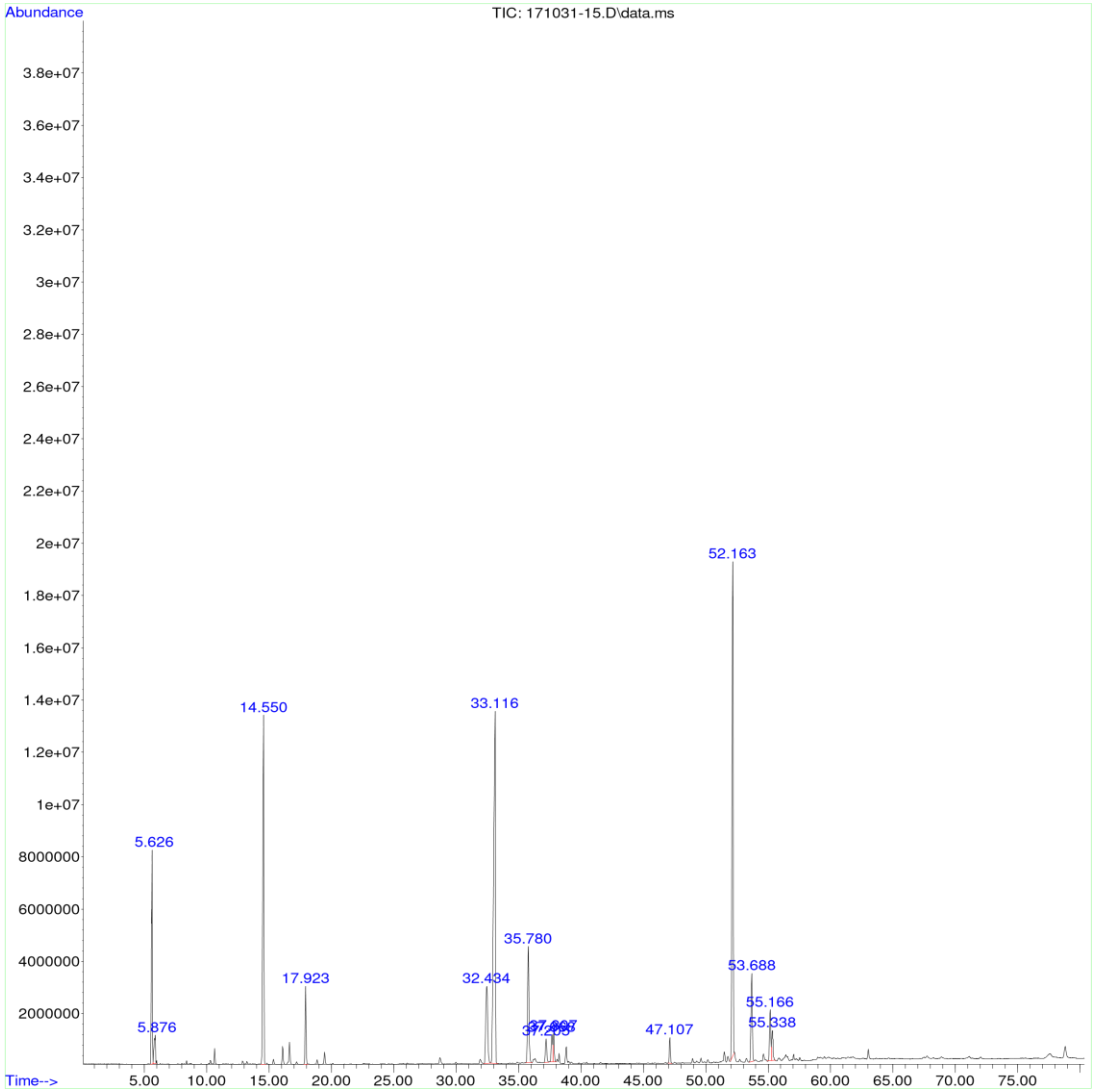
Continuación del anexo 11.

ACEITES ESE...X B SCAN 2.M Thu Nov 02 10:58:47 2017 Page: 4

Fuente: Instituto de Investigaciones, CIB/Departamento de Química, LIQA/UVG. *Cromatografía de gases*. http://www.uvg.edu.gt/investigacion/cib/index.html. Consulta: 17 de mayo de 2018.

Anexo 12. **Cromatografía de gases con acoplamiento a espectrometría de masas GC-MS para extracto de frutos de Campur**

```
File        :C:\msdchem\1\DATA\ALIMcursos\171031-15.D
Operator    : AdeM
Acquired    :  1 Nov 2017   8:48     using AcqMethod ACEITES
ESENCIALES MCS DB-WAX SCAN 2.M
Instrument :   GC-MSD
Sample Name: Muestra 28
Misc Info  : Fruto Campur
Vial Number: 14
```



LIQA Library Search Report

Continuación del anexo 12.

```
Data Path : C:\msdchem\1\DATA\ALIMcursos\
Data File : 171031-15.D
Title :
Acq On : 1 Nov 2017 8:48
Operator : AdeM
Sample : Muestra 28
Misc : Fruto Campur
ALS Vial : 14 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
_____________________________________________________________________________
                 aS*)]-

9 37.668  1.27   C:\Database\NIST05a.L
                 Naphthalene, decahydro-4a-methyl-1 60025 017066-67-0 99
                 -methylene-7-(1-methylethenyl)-, [
                 4aR-(4a.alpha.,7.alpha.,8a.beta.)]
                 Naphthalene, 1,2,3,4,4a,5,6,8a-oct 60054 000473-13-2 99
                 ahydro-4a,8-dimethyl-2-(1-methylet
                 henyl)-, [2R-(2.alpha.,4a.alpha.,8
                 a.beta.)]-
                 Eudesma-4(14),11-diene             59851 1000152-04-3 99

10  37.809  1.33 C:\Database\NIST05a.L
                 Naphthalene, 1,2,3,4,4a,5,6,8a-oct 60063 000473-13-2 98
                 ahydro-4a,8-dimethyl-2-(1-methylet
                 henyl)-, [2R-(2.alpha.,4a.alpha.,8
                 a.beta.)]-
                 Naphthalene, decahydro-4a-methyl-1 59990 000515-17-3 93
                 -methylene-7-(1-methylethylidene)-
                 , (4aR-trans)-
                 2-Isopropenyl-4a,8-dimethyl-1,2,3, 59939 1000192-43-5 93
                 4,4a,5,6,7-octahydronaphthalene

11  47.107  1.02 C:\Database\NIST05a.L
                 Caryophyllene oxide                71350 001139-30-6 70
                 Caryophyllene oxide                71353 001139-30-6 64
                 Bicyclo[3.1.1]heptane, 6,6-dimethy  15363 016022-04-1 47
                 l-3-methylene-

12  52.165  21.93 C:\Database\NIST05a.L
                 3-Allyl-6-methoxyphenol             31757 000501-19-9 98
                 Eugenol                             31716 000097-53-0 98
                 Phenol, 2-methoxy-3-(2-propenyl)-   31835 001941-12-4 97

13  53.688  4.31 C:\Database\NIST05a.L
                 2,6,11,15-Tetramethyl-hexadeca-2,6  107082 038259-79-9 56
                 ,8,10,14-pentaene
                 5,9-Undecadien-1-yne, 6,10-dimethy  40375 100451-98-7 46
                 l-
                 2-Propenamide, N-(3,4-dichlorophen  77748 002164-09-2 43
                 yl)-2-methyl-

14  55.167  2.44 C:\Database\NIST05a.L
                 1,6,10-Dodecatriene, 7,11-dimethyl  59896 028973-97-9 70
                 -3-methylene-, (Z)-
                 (E,E)-7,11,15-Trimethyl-3-methylen  107090 070901-63-2 59
                 e-hexadeca-1,6,10,14-tetraene
                 1,6,10-Dodecatriene, 7,11-dimethyl  59887 077129-48-7 58
                 -3-methylene-

15  55.340  1.40 C:\Database\NIST05a.L
                 1H-3a,7-Methanoazulene, 2,3,6,7,8,  60042 000560-32-7 83
                 8a-hexahydro-1,4,9,9-tetramethyl-,
                 (1.alpha.,3a.alpha.,7.alpha.,8a.b
                 eta.)-
                 Eudesma-4(14),11-diene              59851 1000152-04-3 49
                 1H-3a,7-Methanoazulene, 2,3,6,7,8,  60044 000560-32-7 46
```

ACEITES ESE...X B SCAN 2.M Fri Nov 03 11:42:42 2017 Page: 2

Fuente: Instituto de Investigaciones, CIB/Departamento de Química, LIQA/UVG. *Cromatografía de gases*. http://www.uvg.edu.gt/investigacion/cib/index.html. Consulta: 17 de mayo de 2018.