



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

**OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LA OLEORRESINA DE LA  
PIMIENTA GORDA (*Pimenta dioica* (L.) Merrill), CULTIVADA EN LA REGIÓN NORTE DE  
GUATEMALA, UTILIZANDO COMO SOLVENTE EXTRACTIVO ETANOL, A ESCALA  
PLANTA PILOTO**

**José Carlos Enrique García Zuñiga**

Asesorado por la Inga. Telma Maricela Cano Morales

Ing. Mario José Mérida Meré

Guatemala, octubre de 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LA OLEORRESINA DE LA  
PIMIENTA GORDA (*Pimenta dioica* (L.) Merrill.), CULTIVADA EN LA REGIÓN NORTE DE  
GUATEMALA, UTILIZANDO COMO SOLVENTE EXTRACTIVO ETANOL, A ESCALA  
PLANTA PILOTO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**JOSÉ CARLOS ENRIQUE GARCÍA ZUÑIGA**

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

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO QUÍMICO**

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

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

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. César Alfonso García Guerra
EXAMINADOR	Ing. Jaime Domingo Carranza González
EXAMINADOR	Ing. Gerardo Ordóñez
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:

**OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LA OLEORRESINA DE LA PIMIENTA GORDA (*Pimenta dioica* (L.) Merrill.), CULTIVADA EN LA REGIÓN NORTE DE GUATEMALA, UTILIZANDO COMO SOLVENTE EXTRACTIVO ETANOL, A ESCALA PLANTA PILOTO**

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

**José Carlos Enrique García Zuñiga**



Guatemala, 10 de septiembre de 2018

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

Estimado Ingeniero Wong:

Por medio de la presente HACEMOS CONSTAR que hemos revisado y dado nuestra aprobación al Informe Final del trabajo de graduación titulado **“OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN FISCOQUÍMICA DE LA OLEORRESINA DE LA PIMIENTA GORDA (*Pimenta dioica* (L.) Merrill), CULTIVADA EN LA REGIÓN NORTE DE GUATEMALA, UTILIZANDO COMO SOLVENTE EXTRACTIVO ETANOL, A ESCALA PLANTA PILOTO”**, del estudiante de Ingeniería Química José Carlos Enrique García Zuñiga quien se identifica con CUI No. 2046350120101 y registro académico número 2009-24541.

Sin otro particular me suscribo de usted.

Atentamente,

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



INGENIERO QUÍMICO  
Mario José Mérida Meré  
Colegiado 1411

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

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





Guatemala, 30 de julio de 2018.  
Ref. EIQ.TG-IF.025.2018.

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 **089-2015** 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: **José Carlos Enrique García Zuñiga**.  
Identificado con número de carné: **2046 35012 0101**.  
Identificado con registro académico: **2009-24541**.  
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:

**OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LA OLEORRESINA DE LA PIMIENTA GORDA (*Pimenta dioica* (L) Merrill), CULTIVADA EN LA REGIÓN NORTE DE GUATEMALA, UTILIZANDO COMO SOLVENTE EXTRATIVO ETANOL, A ESCALA PLANTA PILOTO**

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

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

"ID Y ENSEÑAR A TODOS"  
  
Inga. Mercedes Esther Roquel Chávez  
COORDINADORA DE TERNA  
Tribunal de Revisión  
Trabajo de Graduación



C.c.: archivo





Ref.EIQ.TG.030.2018

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Trabajo de Graduación del (la) estudiante, **JOSÉ CARLOS ENRIQUE GARCÍA ZUÑIGA** titulado: **“OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN FISCOQUÍMICA DE LA OLEORRESINA DE LA PIMIENTA GORDA (*Pimenta dioica* (L.) Merrill), CULTIVADA EN LA REGIÓN NORTE DE GUATEMALA, UTILIZANDO COMO SOLVENTE EXTRACTIVO ETANOL, A ESCALA PLANTA PILOTO”**. Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.

*“Id y Enseñad a Todos”*

Ing. Carlos Salvador Wong Davi  
Director  
Escuela de Ingeniería Química

Guatemala, septiembre de 2018

FACULTAD DE INGENIERIA USAC  
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA  
DIRECTOR

Cc: Archivo  
CSWD/ale



Agencia Centroamericana de Acreditación  
Programas de Ingeniería y de Ciencias Exactas

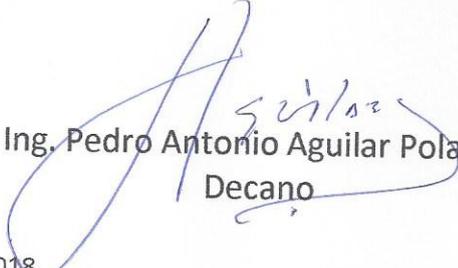




DTG. 373.2018

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al Trabajo de Graduación titulado: **OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA DE LA OLEORRESINA DE LA PIMIENTA GORDA (*Pimenta dioica* (L) Merrill), CULTIVADA EN LA REGIÓN NORTE DE GUATEMALA, UTILIZANDO COMO SOLVENTE EXTRACTIVO ETANOL, A ESCALA PLANTA PILOTO,** presentado el estudiante universitario: **José Carlos Enrique García Zúñiga,** y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

  
Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Decano

Guatemala, octubre de 2018

/gdech



## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Por ser la luz que guía mi camino y la fuerza que sostiene toda mi existencia.
<b>Mi madre</b>	Verónica Zuñiga, por todo tu inmenso amor, tus consejos, tu apoyo, tu motivación y por nunca dejarme solo.
<b>Mi padre</b>	Conrado García, por tu amor, tu ayuda, tu motivación, por formar en mí el hombre que soy hoy en día.
<b>Mis hermanos</b>	Claudia García, Victoria García y Pablo García, por su amor incondicional, apoyo y por toda su ayuda a lo largo de mi vida.
<b>Mi novia</b>	Ana Isabel, por todo el apoyo, la motivación y el amor incondicional que me has demostrado en toda mi formación universitaria.
<b>Mi tía</b>	Lucrecia Zuñiga, por el apoyo en todo momento de mi vida y recibirme en su hogar como a otro hijo más.
<b>Mi abuela</b>	Griselda Vela, por ser un ejemplo de trabajo duro, perseverancia y honradez.

**Mi prima**

Dina Zuñiga, por ser una amiga y apoyarme en todo momento de mi carrera.

**Mi sobrina**

Verónica Camila, por ser esa pequeña luz de alegría, amor y cariño que das a mi vida.

**Mis amigos**

Gerson Cuzco, Kevin Villela, Edy Payes, Luis Ríos, Marco Toribio, Danilo Ajcip, Gerson Cuzco, María Ponce, Jeaffry cheesman, Eduardo Búcaro, Miguel Martínez, Josué Garcia y Edgar Garcia, por su amistad y por los momentos de alegría y tristeza durante toda la carrera.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

**Universidad de San  
Carlos de Guatemala**

Por ser mi alma mater, que me dio la oportunidad de formarme como profesional.

**Facultad de Ingeniería**

Por brindarme la oportunidad de formarme como profesional.

**LIEXVE**

Por darme la oportunidad de elaborar mi estudio de investigación para realizarme como profesional.

**Grupo Lavet**

Por darme la oportunidad de empezar a realizar mi vida profesional.

**Mi madre**

Por brindarme todo el apoyo incondicional y la motivación para creer en mí, durante todos estos años de mi carrera universitaria.

**Mi padre**

Por brindarme todo su apoyo moral, económico y motivarme, día a día, a ser una mejor persona.

**Mis hermanos**

Por la motivación positiva, el buen ejemplo y el apoyo en todo momento.

**Mi tía**

Por darme todo su apoyo a lo largo de mi vida y mi formación profesional, por sus consejos y abrirme las puertas de su hogar en todo momento.

**Mi novia**

Por el apoyo y la motivación en todo momento de mi carrera universitaria y por ser un ejemplo de perseverancia y de lucha para alcanzar mis objetivos.

**Mis amigos**

Kevin Villela, Gerson Cuzco, Edy Payes, Luis Ríos, Marco Toribio, Danilo Ajcip, Gerson Cuzco, María Ponce, Jeaffry cheesman, Eduardo Búcaro, Miguel Martínez, Josué Garcia y Edgar Garcia, por su amistad y por los momentos de alegría y tristeza durante toda la carrera.

**Mis asesores**

Inga. Telma Cano e Ing. Mario Mérida, por compartir su conocimiento en la elaboración de este estudio de investigación.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS .....	XV
GLOSARIO .....	XVII
RESUMEN.....	XXI
OBJETIVOS.....	XXIII
Hipótesis .....	XXIV
INTRODUCCIÓN .....	XXVII
1. ANTECEDENTES .....	1
2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Pimenta dioica .....	5
2.2. Clasificación y descripción botánica .....	5
2.2.1. Clasificación botánica de la pimienta gorda.....	5
2.3. Descripción de pimienta gorda .....	6
2.3.1. Forma .....	6
2.3.2. Ramas .....	6
2.3.3. Copa y Hojas .....	7
2.3.4. Flores.....	7
2.3.5. Frutos .....	8
2.3.6. Distribución .....	9
2.3.7. Ecología.....	10
2.3.8. Usos .....	10
2.3.9. Producción mundial y nacional .....	11
2.4. Oleoresina .....	12

2.4.1.	Usos de la oleoresina.....	14
2.4.2.	Extracción de oleoresinas .....	15
2.5.	Preparación de material .....	15
2.5.1.	Proceso de molienda.....	15
2.6.	Cromatografía .....	16
2.6.1.	Cromatografía gaseosa con espectrofotometría de masas o HPLC (cromatografía líquida de alta resolución).....	16
2.6.2.	Cromatografía de capa fina.....	17
2.6.3.	Adsorbentes y eluyentes .....	18
2.6.4.	Cromatografía de gases acoplado a espectrofotometría de masa.....	19
2.7.	Índice de refracción .....	20
2.8.	Espectrofotometría UV .....	20
2.9.	Espectrofotometría infrarroja.....	20
2.10.	Elaboración de oleoresinas mediante extracción con solventes volátiles .....	21
2.11.	Solventes .....	22
2.12.	Especificaciones de la oleoresina .....	23
2.13.	Ventajas e inconvenientes de la oleoresina .....	24
2.13.1.	Inconvenientes .....	24
2.13.2.	Ventajas .....	24
2.13.3.	Constituyentes principales.....	25
2.14.	Modelos ANDEVA.....	25
2.15.	Modelos ANDEVA .....	26
2.16.	Suposiciones del análisis de varianza.....	26
2.16.1.	Normalidad de los errores .....	27
2.16.2.	Homogeneidad de varianzas de los diferentes tratamientos.....	27

2.16.3.	Independencia de promedios y varianzas .....	28
2.16.4.	Aditividad del modelo.....	29
2.16.5.	¿Qué hacer cuando el modelo no funciona? .....	29
3.	DISEÑO METODOLÓGICO .....	31
3.1.	Localización.....	31
3.2.	Variables.....	31
3.2.1.	Variables independientes .....	32
3.2.2.	Variables dependientes .....	32
3.2.3.	Variable respuesta.....	33
3.3.	Delimitación del campo de estudio .....	33
3.3.1.	Obtención de la materia prima.....	33
3.3.2.	Extracción de oleorresina .....	34
3.3.3.	Análisis fisicoquímico de la oleorresina .....	34
3.4.	Recursos humanos.....	34
3.5.	Recursos materiales disponibles .....	35
3.6.	Técnica cuantitativa .....	36
3.6.1.	Extracción de oleorresina de pimienta gorda ( <i>Pimenta dioica</i> (L.) Merrill), con el método de maceración dinámica utilizando como solvente extractivo etanol.....	37
3.6.2.	Cálculo del rendimiento de oleorresina.....	39
3.6.3.	Cálculo de la densidad de oleorresina.....	39
3.6.4.	Medición del índice de refracción de oleorresina....	40
3.6.5.	Cromatografía gaseosa con acoplamiento de espectrometría de masas .....	41
3.7.	Recolección y ordenamiento de la información .....	41
3.7.1.	Diseño de tratamientos.....	42
3.7.2.	Factor núm. 1: parte de la planta .....	42

3.7.3.	Factor núm. 2: departamento de procedencia.....	42
3.7.4.	Factor núm. 3: nivel altitudinal de plantación.....	42
3.7.5.	Repeticiones.....	43
3.7.6.	Número de combinaciones para la simulación del experimento.....	43
3.8.	Composición química, recopilación y ordenamiento de datos obtenidos.....	48
3.9.	Análisis estadístico.....	57
3.9.1.	Supuestos del ANDEVA.....	57
3.9.2.	Proceso de análisis de varianza.....	58
3.9.3.	Modelo estadístico.....	59
3.9.4.	Media aritmética.....	59
3.9.5.	Desviación.....	59
4.	RESULTADOS.....	83
4.1.	Determinación del rendimiento extractivo de oleorresina de pimienta gorda a partir de las hojas y sus frutos.....	83
4.2.	Evaluar el rendimiento extractivo de la oleorresina de pimienta gorda a partir de tres niveles altitudinales.....	84
4.3.	Evaluar el rendimiento extractivo de la oleorresina de la pimienta gorda a partir del área de procedencia, Petén y Alta Verapaz.....	85
4.4.	Determinación de la densidad de oleorresina de pimienta gorda a partir de su sección vegetal.....	87
4.5.	Evaluar la densidad de la oleorresina de pimienta gorda a partir de tres niveles altitudinales.....	88
4.6.	Evaluar la densidad de la oleorresina de la pimienta gorda a partir del área de procedencia, Petén y Alta Verapaz.....	89

4.7.	Determinación del Índice de refracción de oleorresina de pimienta gorda a partir de la sección vegetal .....	90
4.8.	Índice de refracción de la oleorresina de pimienta gorda a partir de tres niveles altitudinales .....	91
4.9.	Índice de refracción de la oleorresina de la pimienta gorda a partir del área de procedencia, Petén y Alta Verapaz .....	92
4.10.	Contenido de eugenol de la oleorresina de la pimienta gorda a partir del área de procedencia, Petén y Alta Verapaz .....	93
4.11.	Contenido de eugenol de la oleorresina de la pimienta gorda a partir del nivel altitudinal .....	94
4.12.	Contenido de eugenol de la oleorresina de la pimienta gorda a partir de la sección vegetal.....	95
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	97
	CONCLUSIONES .....	103
	RECOMENDACIONES .....	105
	BIBLIOGRAFÍA.....	107
	APÉNDICES .....	111
	ANEXOS .....	119



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Forma del árbol de pimienta gorda .....	6
2.	Hojas de arbol de pimienta gorda .....	7
3.	Flores .....	8
4.	Frutos de la pimienta gorda.....	9
5.	Media y 95 % de Fisher LSD para el rendimiento extractivo de la oleorresina de pimienta gorda, analizado mediante su nivel altitudinal.....	63
6.	Media y 95 % de Fisher LSD para el rendimiento extractivo de la oleorresina de pimienta gorda, en función de la sección vegetal .....	64
7.	Media y 95 % de Fisher LSD para el rendimiento extractivo de la oleorresina de pimienta gorda, en función de procedencia .....	66
8.	Media y 95 % de Fisher LSD para la densidad de la oleorresina de pimienta gorda, en función del nivel altitudinal.....	68
9.	Media y 95 % de Fisher LSD para la densidad de la oleorresina de pimienta gorda, en función de la sección vegetal.....	69
10.	Media y 95 % de Fisher LSD para la densidad la oleorresina de pimienta gorda, en función de procedencia.....	71
11.	Media y 95 % de Fisher LSD para la composición química de la oleorresina de pimienta gorda, en función del nivel altitudinal .....	73
12.	Media y 95 % de Fisher LSD para la composición química de la oleorresina de pimienta gorda, en función de la sección vegetal .....	74
13.	Media y 95 % de Fisher LSD para la composición química de la oleorresina de pimienta gorda, en función de procedencia .....	76

14.	Media y 95 % de Fisher LSD para el índice de refracción de la oleorresina de pimienta gorda, en función del nivel altitudinal.....	78
15.	Media y 95 % de Fisher LSD para el índice de refracción de la oleorresina de pimienta gorda, en función de la sección vegetal.....	79
16.	Media y 95 % de Fisher LSD para el índice de refracción de la oleorresina de pimienta gorda, en función de procedencia.....	81
17.	Rendimiento extractivo de la oleorresina de la pimienta gorda ( <i>Pimenta dioica</i> (L.) Merrill), en función de la sección vegetal .....	84
18.	Rendimiento extractivo de la oleorresina de pimienta gorda, en función de su nivel altitudinal .....	85
19.	Rendimiento extractivo de la oleorresina de pimienta gorda, en función de procedencia.....	86
20.	Densidad de la oleorresina de pimienta gorda en función de la sección vegetal .....	87
21.	Densidad de la oleorresina de pimienta gorda, en función del nivel altitudinal.....	88
22.	Densidad de la oleorresina de pimienta gorda, en función de procedencia .....	89
23.	Índice de refracción de la oleorresina de la pimienta gorda ( <i>Pimenta dioica</i> (L.) Merrill), en función de la sección vegetal .....	90
24.	Índice de refracción de la oleorresina de pimienta gorda, en función del nivel altitudinal .....	91
25.	Índice de refracción de la oleorresina de pimienta gorda, en función de procedencia .....	92
26.	Contenido de eugenol en las hojas y frutos de la pimienta gorda ( <i>Pimenta dioica</i> (L.) Merrill), en función de procedencia .....	93
27.	Contenido de eugenol en las hojas y frutos de la pimienta gorda ( <i>Pimenta dioica</i> (L.) Merrill), en función del nivel altitudinal .....	94

28.	Contenido de eugenol de la oleorresina de pimienta gorda, en función de la sección vegetal .....	95
-----	--	----

## TABLAS

I.	Especificaciones de oleorresina.....	24
II.	Variables independientes para el proceso de extracción por maceración dinámica .....	32
III.	Variables dependientes para el proceso de extracción por maceración dinámica .....	32
IV.	Materia prima y reactivos .....	35
V.	Cristalería, equipo y otros .....	36
VI.	Factores del diseño experimental .....	44
VII.	Tratamientos para el diseño experimental .....	44
VIII.	Diseño experimental completamente al azar .....	45
IX.	Rendimiento extractivo de oleorresina obtenida de las hojas y frutos de la pimienta gorda ( <i>Pimenta dioica</i> (L.) Merrill).....	45
X.	Densidad de oleorresina obtenida de las hojas y frutos de la pimienta gorda ( <i>Pimenta dioica</i> (L.) Merrill), cultivada en la región norte de Guatemala a escala planta piloto .....	46
XI.	Índice de refracción de oleorresina obtenida de las hojas y frutos de la pimienta gorda ( <i>Pimenta dioica</i> (L.) Merrill), cultivada en la región norte de Guatemala, a escala planta piloto .....	47
XII.	Rendimiento extractivo de oleorresina obtenida de las hojas y frutos de la pimienta gorda ( <i>Pimenta dioica</i> (L.) Merrill), cultivada en la región norte de Guatemala a escala planta piloto .....	49
XIII.	Densidad de oleorresina obtenida de las hojas y frutos de la pimienta gorda ( <i>Pimenta dioica</i> (L.) Merrill), cultivada en la región norte de Guatemala escala planta piloto .....	50

XIV.	Índice de refracción de oleorresina obtenida de las hojas y frutos de la pimienta gorda ( <i>Pimenta dioica</i> (L.) Merrill), cultivada en la región norte de Guatemala, a escala planta piloto.....	51
XV.	Composición química de la oleorresina obtenida a escala planta piloto de hojas de pimienta gorda procedentes de Melchor de Mencos, Petén, por cromatografía GC-MS.....	51
XVI.	Composición química de la oleorresina obtenida a escala planta piloto de hojas de pimienta gorda procedentes de Dolores, Petén, por cromatografía GC-MS.....	52
XVII.	Composición química de la oleorresina obtenida a escala planta piloto de hojas de pimienta gorda procedentes de San Luis, Petén, por cromatografía GC-MS.....	52
XVIII.	Composición química de la oleorresina obtenida a escala planta piloto de frutos de pimienta gorda procedentes de Melchor de Mencos, Petén, por cromatografía GC-MS.....	53
XIX.	Composición química de la oleorresina obtenida a escala planta piloto de frutos de pimienta gorda procedentes de Dolores, Petén, por cromatografía GC-MS.....	53
XX.	Composición química de la oleorresina obtenida a escala planta piloto de frutos de pimienta gorda procedentes de San Luis, Petén, por cromatografía GC-MS.....	54
XXI.	Composición química de la oleorresina obtenida a escala planta piloto de hojas de pimienta gorda procedentes de Santa María Cahabón, Alta Verapaz, por cromatografía GC-MS.....	54
XXII.	Composición química de la oleorresina obtenida a escala planta piloto de hojas de pimienta gorda procedentes de San Pedro Carcha, Alta Verapaz, por cromatografía GC-MS.....	55

XXIII.	Composición química de la oleorresina obtenida a escala planta piloto de hojas de pimienta gorda procedentes de Campur, Alta Verapaz, por cromatografía GC-MS.....	55
XXIV.	Composición química de la oleorresina obtenida a escala planta piloto de frutos de pimienta gorda procedentes de Santa María Cahabón, Alta Verapaz, por cromatografía GC-MS .....	56
XXV.	Composición química de la oleorresina obtenida a escala planta piloto de frutos de pimienta gorda procedentes de San Pedro Carcha, Alta Verapaz, por cromatografía GC-MS .....	56
XXVI.	Composición química de la oleorresina obtenida a escala planta piloto del fruto de pimienta gorda procedentes de Campur, Alta Verapaz, por cromatografía GC-MS.....	57
XXVII.	Datos ANDEVA .....	60
XXVIII.	Resumen estadístico para el rendimiento extractivo de la oleorresina de pimienta gorda, en función del nivel altitudinal .....	61
XXIX.	ANOVA para el rendimiento extractivo de la oleorresina de pimienta gorda, en función del nivel altitudinal .....	61
XXX.	Comparación entre niveles para el rendimiento extractivo de la oleorresina de pimienta gorda, en función del nivel altitudinal .....	62
XXXI.	Resumen estadístico para el rendimiento extractivo de la oleorresina de pimienta gorda, en función de la sección vegetal .....	63
XXXII.	ANOVA para el rendimiento extractivo de la oleorresina de pimienta gorda, en función de la sección vegetal .....	64
XXXIII.	Comparación entre niveles para el rendimiento extractivo de la oleorresina de pimienta gorda, en función de la sección vegetal .....	64
XXXIV.	Resumen estadístico para el rendimiento extractivo de la oleorresina de pimienta gorda, en función de procedencia .....	65
XXXV.	ANOVA para el rendimiento extractivo de la oleorresina de pimienta gorda, en función de procedencia .....	65

XXXVI.	Comparación entre niveles para el rendimiento extractivo de la oleorresina de pimienta gorda, en función de procedencia.....	65
XXXVII.	Resumen estadístico de la densidad de la oleorresina de pimienta gorda, en función de nivel altitudinal.....	66
XXXVIII.	ANOVA para la densidad de la oleorresina de pimienta gorda, en función de altitudinal .....	67
XXXIX.	Comparación entre niveles para la densidad de la oleorresina de pimienta gorda, en función del nivel altitudinal .....	67
XL.	Resumen estadístico de la densidad de la oleorresina de pimienta gorda, en función de la sección vegetal.....	68
XLI.	ANOVA para la densidad de la oleorresina de pimienta gorda, en función de la sección vegetal.....	69
XLII.	Comparación entre niveles para la densidad de la oleorresina de pimienta gorda, en función de la sección vegetal .....	69
XLIII.	Resumen estadístico de la densidad de la oleorresina de pimienta gorda, en función de procedencia.....	70
XLIV.	ANOVA para la densidad de la oleorresina de pimienta gorda, en función de procedencia.....	70
XLV.	Comparación entre niveles para la densidad de la oleorresina de pimienta gorda, en función de procedencia .....	70
XLVI.	Resumen estadístico de la composición química de la oleorresina de pimienta gorda, en función del nivel altitudinal.....	71
XLVII.	ANOVA para la composición química de la oleorresina de pimienta gorda, en función del nivel altitudinal.....	72
XLVIII.	Comparación entre niveles para la composición química de la oleorresina de pimienta gorda, en función del nivel altitudinal.....	72
XLIX.	Resumen estadístico de la composición química de la oleorresina de pimienta gorda, en función de la sección vegetal .....	73

L.	ANOVA para la composición química de la oleorresina de pimienta gorda, en función de la sección vegetal .....	74
LI.	Comparación entre niveles para la composición química de la oleorresina de pimienta gorda, en función de la sección vegetal .....	74
LII.	Resumen estadístico de la composición química de la oleorresina de pimienta gorda, en función de procedencia.....	75
LIII.	ANOVA para la composición química de la oleorresina de pimienta gorda, en función de procedencia .....	75
LIV.	Comparación entre niveles para la composición química de la oleorresina de pimienta gorda, en función de procedencia .....	75
LV.	Resumen estadístico del índice de refracción de la oleorresina de pimienta gorda, en función del nivel altitudinal.....	76
LVI.	ANOVA para el índice de refracción de la oleorresina de pimienta gorda, en función del nivel altitudinal .....	77
LVII.	Comparación del índice de refracción de la oleorresina de pimienta gorda, en función del nivel altitudinal .....	77
LVIII.	Resumen estadístico del índice de refracción de la oleorresina de pimienta gorda, en función de la sección vegetal.....	78
LIX.	ANOVA para el índice de refracción de la oleorresina de pimienta gorda, en función de la sección vegetal .....	79
LX.	Comparación entre niveles para el índice de refracción de la oleorresina de pimienta gorda, en función de la sección vegetal .....	79
LXI.	Resumen estadístico del índice de refracción de la oleorresina de pimienta gorda, en función de procedencia.....	80
LXII.	ANOVA para el índice de refracción de la oleorresina de pimienta gorda, en función de procedencia .....	80
LXIII.	Comparación entre niveles para el índice de refracción de la oleorresina de pimienta gorda, en función de la sección vegetal .....	80

LXIV.	Rendimiento extractivo de la oleorresina de la pimienta gorda ( <i>Pimenta dioica</i> (L.) Merrill), en función de la sección vegetal .....	83
LXV.	Rendimiento extractivo de la oleorresina en función del nivel altitudinal.....	85
LXVI.	Rendimiento extractivo de la oleorresina en función de procedencia ...	86
LXVII.	Densidad de la oleorresina de pimienta gorda, en función de la sección vegetal .....	87
LXVIII.	Densidad de la oleorresina en función del nivel altitudinal.....	88
LXIX.	Densidad de la oleorresina en función de procedencia .....	89
LXX.	Índice de refracción de la oleorresina de la pimienta gorda ( <i>Pimenta dioica</i> (L.) Merrill), en función de la sección vegetal .....	90
LXXI.	Índice de refracción de la oleorresina de pimienta gorda en función del nivel altitudinal.....	91
LXXII.	Índice de refracción e la oleorresina de pimienta gorda, en función de procedencia .....	92
LXXIII.	Contenido de eugenol en las hojas y frutos de la pimienta gorda ( <i>Pimenta dioica</i> (L.) Merrill), en función de procedencia .....	93
LXXIV.	Contenido de eugenol en las hojas y frutos de la pimienta gorda ( <i>Pimenta dioica</i> (L.) Merrill), en función del nivel altitudinal .....	94
LXXV.	Contenido de eugenol de la oleorresina de pimienta gorda, en función de la sección vegetal.....	95

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>CG</b>	Cromatografía de gases
$\rho$	Densidad
<b>°C</b>	Grado centígrado
<b>GL</b>	Grados de libertad
<b>g</b>	Gramos
<b>Kg</b>	Kilogramo
<b>m<sup>3</sup></b>	Metro cúbico
<b>msnm</b>	Metros sobre el nivel del mar
<b>mL</b>	Mililitros
<b>min</b>	Minutos
<b>%</b>	Porcentaje
<b>Fo</b>	Valor de Fisher calculado
<b>Fc</b>	Valor de Fisher crítico



## GLOSARIO

<b>ANDEVA</b>	Análisis estadístico de varianza.
<b>Cromatografía</b>	Método físico que permite la separación de mezclas de sustancias en sus componentes individuales. Esta técnica permite, igualmente, obtener información cualitativa y cuantitativa sobre las sustancias presentes en la mezcla.
<b>Deshidratación</b>	Pérdida parcial o total del contenido de agua que forma parte de la especie vegetal.
<b>Dioica</b>	Una especie dioica es aquella en la que hay individuos machos e individuos hembras. El término se usa especialmente en las plantas.
<b>Eugenol</b>	Es guayacol con una cadena alil sustituda. i.e. 2 metoxi-4-(2-propenilfenol). El eugenol es un miembro de los compuestos de la clase alilbencenos. Es un líquido oleoso de color amarillo pálido extraído de ciertos aceites esenciales, especialmente, el clavo de olor, la nuez moscada y la canela. Es difícilmente soluble en agua y soluble en solventes orgánicos. Tiene un agradable olor a clavo.

<b>Maceración</b>	Proceso de extracción sólido-líquido en el que se pone en contacto íntimo la materia prima (sólido), la cual posee ciertos compuestos solubles en el líquido extractante, que son los que se desean extraer.
<b>Oleorresina</b>	Extracto líquido de especies vegetales, el cual se caracteriza por el olor, sabor y color de las especies naturales de las cuales provienen; se obtiene de la evaporación del disolvente de extracción; deja una mezcla del aceite volátil y el material resinoso de la especie.
<b>Rotaevaporador</b>	Es un aparato de destilación rotatorio asociado a un baño María, usado principalmente en laboratorios de síntesis químicas, investigaciones en bioquímica y análisis químico cualitativo y cuantitativo de extractos de naturaleza orgánica e inorgánica. Se utiliza, principalmente, para separar por medio de evaporación a presión reducida y suave, el solvente que acompaña al soluto de interés, o bien, para realizar destilaciones fraccionadas.
<b>Solubilidad</b>	Máxima cantidad de soluto que se puede disolver en determinada cantidad de disolvente a una temperatura específica.
<b>Solvente</b>	Sustancia que permite la dispersión de otra en su seno. También, se puede definir como la sustancia

que se encuentra en mayor proporción en una solución.

**Vacío**

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



## RESUMEN

El objetivo del presente trabajo de investigación fue obtener y evaluar el porcentaje de rendimiento extractivo y caracterizar fisicoquímicamente las hojas y frutos de la oleorresina de la pimienta gorda (*Pimenta dioica* (L.) Merrill.) a escala planta piloto, obtenida con el método de lixiviación por maceración dinámica a temperatura ambiente con solvente extractivo etanol, filtración y evaporación en marmita de concentración.

El diseño experimental se realizó de forma aleatoria; se tomaron en cuenta dos diferentes áreas de cultivo (Alta Verapaz y Petén), tres diferentes niveles altitudinales, dos secciones vegetales del árbol de pimienta gorda (frutos y hojas), y tres repeticiones por dato; resultó un total de 36 tratamientos de análisis. Se estableció para cada tratamiento una relación de 1:15, entre materia prima y solvente, con un tiempo de lixiviación por maceración dinámica de 4 horas en marmita de agitación, filtrado por bomba de vacío y separado el solvente por evaporación en marmita de concentración, a escala planta piloto.

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



## OBJETIVOS

### General

Obtener y caracterizar fisicoquímicamente la oleorresina de la pimienta gorda (*pimenta dioica* (L.) Merrill) obtenida por el método de maceración dinámica, utilizando como solvente extractivo etanol a una relación de peso volumen de 1:15, a escala planta piloto.

### Específicos

1. Determinar el rendimiento extractivo de la oleorresina de la pimienta gorda a partir de las hojas y sus frutos provenientes de la región norte del país de Guatemala (Petén y Alta Verapaz), a escala planta piloto.
2. Evaluar el rendimiento extractivo de la oleorresina de las hojas y frutos de la pimienta gorda en función de tres diferentes niveles altitudinales de cosecha en la región norte de Guatemala, a escala planta piloto.
3. Realizar la caracterización fisicoquímica de la oleorresina de la pimienta gorda obtenida por maceración dinámica, utilizando cromatografía de gases con acoplamiento a espectrometría de masas GC-MS.
4. Comparar el rendimiento extractivo de la oleorresina de pimienta gorda entre hojas y frutos.

## **Hipótesis**

Es posible extraer la oleorresina de las hojas y frutos, de la pimienta gorda (*Pimenta dioica* L. MERRIL) por medio del método de lixiviación de maceración dinámica, con etanol como solvente, para evaluar el rendimiento de extracción y caracterizarlo fisicoquímicamente.

### **Hipótesis nula**

Ho<sub>1</sub>: no existe diferencia significativa en la evaluación del porcentaje de rendimiento de la extracción a escala planta piloto de la oleorresina de la pimienta gorda por medio de lixiviación con etanol de solvente, en función del nivel altitudinal de la región proveniente de la materia prima.

Ho<sub>2</sub>: no existe diferencia significativa en la evaluación del porcentaje de rendimiento de la extracción a escala planta piloto de la oleorresina de la pimienta gorda por medio de lixiviación con etanol como solvente en función de la región proveniente de la materia prima (Alta Verapaz y Petén).

Ho<sub>3</sub>: no existe diferencia significativa en las propiedades fisicoquímicas de la oleorresina de la pimienta gorda en función del nivel altitudinal de la región proveniente de la materia prima.

Ho<sub>4</sub>: no existe diferencia significativa en las propiedades fisicoquímicas de la oleorresina de la pimienta gorda en función de la región proveniente de la materia prima (Alta Verapaz y Petén).

Ho<sub>5</sub>: no existe diferencia significativa en las propiedades fisicoquímicas de la oleorresina de la pimienta gorda en función de la parte extractiva de la planta (hojas y frutos).

Ho<sub>6</sub>: no existe diferencia significativa en la evaluación del porcentaje de rendimiento de la extracción a escala planta piloto de la oleorresina de la pimienta gorda por medio de lixiviación con etanol de solvente, en función de la parte extractiva de la planta (hojas y frutos).

### **Hipótesis alternativa**

Hi<sub>1</sub>: existe diferencia significativa en la evaluación del porcentaje de rendimiento de la extracción a escala planta piloto de la oleorresina de la pimienta gorda por medio de lixiviación con etanol de solvente, en función del nivel altitudinal de la región proveniente de la materia prima.

Hi<sub>2</sub>: existe diferencia significativa en la evaluación del porcentaje de rendimiento de la extracción a escala planta piloto de la oleorresina de la pimienta gorda por medio de lixiviación con etanol como solvente en función de la región proveniente de la materia prima (Alta Verapaz y Petén).

Hi<sub>3</sub>: existe diferencia significativa en las propiedades fisicoquímicas de la oleorresina de la pimienta gorda en función del nivel altitudinal de la región proveniente de la materia prima.

Hi<sub>4</sub>: existe diferencia significativa en las propiedades fisicoquímicas de la oleorresina de la pimienta gorda en función de la región proveniente de la materia prima (Alta Verapaz y Petén).

Hi<sub>5</sub>: existe diferencia significativa en las propiedades fisicoquímicas de la oleorresina de la pimienta gorda en función de la parte extractiva de la planta (hojas y frutos).

Hi<sub>6</sub>: existe diferencia significativa en la evaluación del porcentaje de rendimiento de la extracción a escala planta piloto de la oleorresina de la pimienta gorda por medio de lixiviación con etanol de solvente, en función de la parte extractiva de la planta (hojas y frutos).

## INTRODUCCIÓN

La pimienta gorda (*Pimenta dioica* (L.) Merrill) es una especie perteneciente a la familia Myrtaceae, originaria del hemisferio occidental en el continente americano. La pimienta gorda es conocida también como pimienta de Jamaica, pimienta guayabita, pimienta dulce, pimienta inglesa, pimienta de chapa, esta es procedente del árbol llamada *pimenta dioica*. Su fruta seca ha sido utilizada desde hace mucho tiempo por distintas comunidades indígenas. El árbol llega a medir hasta 25 metros de altura y tiene un diámetro de 40 centímetros; la corteza es lisa y muy olorosa, y se desprende en placas muy delgadas y alargadas de color café verdoso o amarillento.

La pimienta dioica es una especie de gran aroma y sabor suave, la semilla es de color café rojizo oscuro y tiene un alto contenido de aceite. Su intenso olor se asemeja a una mezcla de clavos de olor, nuez moscada y canela. Se usa como condimentos, medicina, saborizante, insecticidas, fungicidas, elaboración de perfumes y jabones, aditivos de alimentos y antioxidantes.

La oleoresina se obtuvo mediante la técnica de maceración dinámica, utilizando etanol como solvente extractivo, esto en una marmita de agitación, posterior a esto se filtró y se evaporó el solvente en una marmita con torre de destilado, todo esto a escala planta piloto; esta técnica se utilizó para las dos regiones de procedencia (Petén y Alta Verapaz), las dos partes extractivas (hojas y frutos), tres niveles altitudinales y sus tres repeticiones, los datos obtenidos se compararon con un análisis estadístico de varianza ANOVA, para determinar si existe diferencia estadísticamente significativa.

Este proyecto de investigación tuvo como enfoque obtener datos experimentales, con los cuales se determinan las mejores condiciones para extraer la mayor cantidad de oleorresina dependiendo de su origen de procedencia y parte extractiva, a escala planta piloto; este con el fin de obtener un rendimiento óptimo para una proyección industrial.

Esta investigación de estudio se rige con directrices del proyecto de investigación CONCYT 037- 2015, como aporte a este proyecto de investigación propuesto por el Laboratorio de Investigaciones de Extractos Vegetales de la Facultad de Ingeniería, LIEXVE.

## 1. ANTECEDENTES

En temas como extracción de oleorresina, existen varias aplicaciones en varios campos industriales como conservantes de alimentos, salsas, bebidas alcohólicas y no alcohólicas, desinfectantes, industria farmacéutica, industria cosmética, entre otros; para la obtención de oleorresina existen diversas materias primas naturales. Aunque se sabe de muchas aplicaciones de la oleorresina, son pocos los estudios.

En el año 1998, Maricela Cano Telma, Blanca Chávez, Ingrid Benítez y Byron Aguilar ejecutaron el proyecto 28-97 CONCYT denominado: *Obtención y caracterización de capsaicina, ingrediente activo de productos fitofarmacéuticos y agroindustriales de tres especies de Capsicum (Capsicum chinense, Capsicum annuum L. V. y Capsicum anuum)*. Para dicho proyecto se realizó un experimento bifactorial en el que se utilizaron dos concentraciones de alcohol etílico al 70 % y al 95 % y dos niveles de deshidratación, en fresco y en seco, utilizando tres clases o especies de capsicum; se determinó que de las tres especies de *Capsicum* estudiadas: chile habanero (*Capsicum chinense*), chile jalapeño (*Capsicum anuum*) y chile verde o chocolate (*Capsicum anuum L. V.*) de manera que se obtuvo el mayor porcentaje de capsaicina en la oleorresina fue con el *Capsicum Chinense*, cuyo valor fue de 10,28 %, que está dentro del rango del valor teórico esperado que es entre 10 % - 12 %.

El porcentaje con mayor rendimiento de oleorresina fue de 14,62 %, el cual corresponde a la especie de chile habanero seco y utilizando alcohol etílico al 70 %. El porcentaje más alto de rendimiento de capsaicina, en función del solvente utilizado fue de 0,002 % para la especie chile habanero seco, el

solvente fue alcohol etílico al 95 %. El nivel de deshidratación del *Capsicum* (fresco y seco con humedad al 10 %), así mismo, determinando que la concentración del solvente no influye en el porcentaje de rendimiento de la oleorresina. Se demuestra que una de las variables que más rendimiento de capsaicina produce, es el grado de deshidratación, especie y, por último, la concentración del solvente.

En el 2004, el investigador Julio Gabriel López Mazín realizó la tesis de grado con el tema *Evaluación del rendimiento de oleorresina de las hojas de laurel (Litsea guatemalensis) de Tecpán, Chimaltenango en función del tamaño de partícula, utilizando dos solventes distintos a nivel planta piloto* el cual fue asesorado por la Inga. Telma Maricela Cano Morales.

En esta investigación se evaluó el rendimiento porcentual de la oleorresina de las hojas secas de laurel (*Litsea guatemalensis*) a nivel planta piloto; se utilizó como método de extracción la maceración de la hoja molida, filtración y posterior concentración del extracto obtenido; se manejó como variables controlables, los tamaños de partícula de las hojas utilizadas, siendo estos los comprendidos entre los tamices No. 5 y No. 7 y los comprendidos entre los tamices No.7 y No. 20; y dos solventes distintos, el etanol grado industrial al 66,64 % p/v y el hexano grado industrial 84,6 % p/v.

El mayor rendimiento de oleorresina de laurel (*Litsea guatemalensis*) fue de 7,5 % y se obtuvo de la extracción con etanol para la partícula de hoja comprendida entre el tamiz No.7 y el No.20. El rendimiento de oleorresina de laurel (*Litsea guatemalensis*) de la extracción por maceración y concentración depende del solvente que se utilice.

Los rangos de tamaño de partícula utilizados para los tamices No. 5 y No. 7 y los tamices No. 7 y No. 20, no afectan significativamente el rendimiento de la oleorresina. La interacción del solvente utilizado y el tamaño de partícula utilizado sí afecta significativamente el rendimiento de la oleorresina. Los tres componentes mayoritarios del aceite esencial extraído con etanol y hexano son: cineol, linalol y terpinol.

Otro estudio relacionado con el tema de oleorresina, es el estudio realizado por el investigador Adrián Soberanis (ciudad de Guatemala, Guatemala 2009), realizado en la Universidad San Carlos de Guatemala, para la obtención del título de ingeniero químico, dicho estudio fue la *Evaluación de propiedades fisicoquímicas de la oleorresina de cardamomo (Ellettaria cardamomum, L. matton) obtenida a nivel laboratorio utilizando dos métodos de lixiviación a tres diferentes temperaturas*. Este estudio envuelve en el tema de extracción de oleorresina, su forma de caracterizarla fisicoquímicamente, las variables que afectan a la extracción como los cambios de temperatura; se utiliza dos métodos de lixiviación que fueron la maceración dinámica y maceración estática, en el estudio recalca la conclusión de que la maceración dinámica es más eficiente que la estática a temperatura ambiente; es decir, por la agitación favorece al proceso extractivo de la oleorresina.



## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Pimenta dioica

La pimienta gorda es conocida con su nombre científico denominado *pimenta dioica*. También, tiene otros nombres comerciales como, pimienta de Jamaica, pimienta dulce, pimienta chapada, entre otros.

### 2.2. Clasificación y descripción botánica

#### 2.2.1. Clasificación botánica de la pimienta gorda

- Reino: Plantae
- Subreino: Embryobionta
- División: Magnoliophyta
- Clase: Magnoliopsida
- Subclase: Rosidae
- Orden: Myrtales
- Familia: Myrtaceae
- Género: *Pimenta*
- Especie: *Dioica*

## **2.3. Descripción de pimienta gorda**

### **2.3.1. Forma**

Árbol de tamaño medio que alcanza una altura máxima de 20 a 25 m y de 30 a 50 cm de diámetro, medido a 1,30 m del suelo. De tronco recto, con corteza café pálido a grisácea, lisa que se separa en delgadas capas. Forma parte del estrato medio e inferior de selvas altas y medianas perennifolias y subperennifolias.

Figura 1. **Forma del árbol de pimienta gorda**



Fuente: ORELLANA, Edwin. *Situación actual del cultivo de pimienta gorda (pimienta officinallis) en el departamento de Alta Verapaz.* p. 93.

### **2.3.2. Ramas**

Muy ramificado, de consistencia dura. Las ramas son ascendentes, dando origen a otras ramas y ramísculos cada vez más delgadas.

### 2.3.3. Copa y Hojas

Copa redondeada o irregular, densa. Sus hojas son abundantes, simples, opuestas, decusadas; lámina de 4 cm a 16 cm de largo por 2 cm a 6 cm de ancho, elíptica, margen entero; haz oscuro, brillante, glabro, envés pálido, con numerosos puntos glandulosos. El lado superior de la lámina es liso y verde oscuro brillante; el inferior es más claro y con puntos amarillentos. Las hojas despiden un fuerte olor fragante que perdura aun después de que se secan, contienen menos aceite esencial que los frutos; sin embargo, esta cantidad es suficiente para realizar una destilación provechosa.

Figura 2. **Hojas de arbol de pimienta gorda**



Fuente: ORELLANA, Edwin. *Situación actual del cultivo de pimienta gorda (pimienta officinallis) en el departamento de Alta Verapaz.* p. 93.

### 2.3.4. Flores

Agrupadas en panículas axilares de 6 a 12 cm de largo, flores actinomorfas, fragantes, de 6 mm de diámetro; cáliz verde, corola formada por cuatro pétalos blancos, de 2 a 2,5 mm de largo, insertos en el cuello del tubo

del cáliz por debajo de los pétalos, glabros; ovario ínfero, bilocular, lóculos 1 a 2 óvulos; estilo grueso, de 4 mm de largo, glabro; estigma grande y capitado, Esta especie florece de marzo a mayo, aunque algunas veces se alarga hasta junio.

Las flores son bisexuales, pero hay árboles que no producen flores fértiles y son llamadas machos, porque casi no producen frutos en comparación con los árboles denominados hembra; este comportamiento motivó a denominarla dioica. Los árboles machos no son deseables para la producción de frutos. McVaugh citado por López, reporta para Guatemala que la proporción natural de los dos tipos de árboles mencionados es de 1:1, igualmente Rosengarte Jr., reporta para Jamaica la misma proporción.

Figura 3. Flores



Fuente: ORELLANA, Edwin. *Situación actual del cultivo de pimienta gorda (pimienta officinallis) en el departamento de Alta Verapaz.* p. 94.

### 2.3.5. Frutos

Son bayas de 10 mm por 5 mm, redondas, aplanadas en el ápice, verrugosas, con el cáliz persistente, con glándulas convexas aceitosas,

comúnmente dos semillas comprimidas lateralmente, el embrión en forma de una doble espiral. Los frutos tienen un fuerte olor fragante, ya que contienen de 2 % a 5 % de aceite esencial, cuyo contenido principal es eugenol (65 % - 85 %). Los frutos se cosechan del árbol semiverdes y son secadas a los rayos del sol. Los frutos maduran en los meses de junio a octubre, algunas veces hasta diciembre.

Figura 4. **Frutos de la pimienta gorda**



Fuente: ORELLANA, Edwin. *Situación actual del cultivo de pimienta gorda (pimienta officinallis) en el departamento de Alta Verapaz.* p. 93.

### **2.3.6. Distribución**

León, citado por Reining, dice que la pimienta gorda es una especie nativa de las Américas que se encuentra preferentemente desde el sureste de México hasta Panamá y a través de las Islas del Caribe. Su amplitud altitudinal va desde el nivel del mar hasta los 350 m o 450 m. La pimienta de mejor calidad crece por debajo de los 300 msnm.

### **2.3.7. Ecología**

Se desarrolla en climas de tipo cálido húmedo y subhúmedo con lluvias todo el año. Prospera sobre suelos arcillosos derivados de margas calcáreas. Los árboles de pimienta gorda se desarrollan bien en suelos pobres y con pendiente. En Guatemala la pimienta gorda se encuentra en altitudes de 350 o menos), después de los 460 msnm los árboles son afectados por hongos. En la RBM, es comúnmente encontrada en suelos bien drenados, poco profundos y pedregosos. Las poblaciones de la

Pimienta gorda 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 del bosque.

### **2.3.8. Usos**

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

### **2.3.9. Producción mundial y nacional**

Jamaica es el máximo productor de pimienta gorda del mundo, su producción representa en la actualidad alrededor del 70 % de la producción mundial. Una característica peculiar de este producto, es que su importación y su consumo a gran escala, se limita casi exclusivamente a los países industrializados como Estados Unidos, Alemania, Rusia, etc. A nivel internacional, el restante 30 % de la producción mundial de pimienta gorda viene de otros productores como: México que ocupa el segundo lugar en producción mundial, Guatemala y en menor cantidad Belice, Honduras, y Brasil.

La cantidad total de pimienta gorda que exporta Guatemala ha aumentado en los últimos años. Esta se produce en varios departamentos como: Alta Verapaz, Santa Rosa, Suchitepequez, Quetzaltenango, San Marcos y Petén. La mayor parte de la producción de pimienta del país, aproximadamente un 70 % proviene del bosque natural del norte de Petén.

Según datos del CONAP-Región Petén la pimienta gorda en los últimos años aparece en el tercer orden de ingresos totales de los productos no maderables del bosque, atrás del xate y el chicozapote. Sin embargo, su importancia no radica en los beneficios económicos sino en el papel clave que desempeña en las diversas estrategias de obtención de ingresos a las familias, proporcionando trabajo en la temporada del año en que el empleo es escaso. Según lo anterior, se demuestra que la pimienta gorda está perfilada como un recurso natural de importancia en la economía de la región.

## 2.4. Oleorresina

La oleorresina se obtiene de especias por medio de una extracción con disolventes orgánicos que después se eliminan por destilación, el producto resultante es un líquido que contiene una mezcla de los compuestos volátiles y no volátiles de la materia prima, aun cuando no se extraigan todos los responsables del aroma. Las oleorresinas son muy viscosas y coloreadas y se usan en concentraciones muy bajas, normalmente de 5 % a 10 % respecto de la especie de donde se extraen.

En su obtención se pueden acarrear algunas sustancias indeseables que dependen de la polaridad del disolvente y del contenido de humedad de la materia prima; las contaminaciones más importantes se deben a la presencia de taninos, azúcares, almidones, resinas y pigmentos, que se eliminan por medio de algunos tratamientos de solubilización, filtración o centrifugación; el paso que requiere de más precaución es la concentración, ya que sus constituyentes son muy sensibles a las altas temperaturas y se destruyen con facilidad.

Pueden dividirse en dos grandes grupos: las que se preparan con especias y hierbas por extracción con disolventes volátiles, utilizados exclusivamente en la industria de sustancias soporíferas y las que se preparan de las partes odoríferas de la planta, exceptuadas las flores, cuyo empleo principal es la industria de perfumes. Las oleorresinas de especias corresponden enteramente a la primera categoría de oleorresinas ya mencionadas, hay que distinguirlas de las llamadas acuarresinas, que típicamente se preparan por extracción con alcohol acuoso y no con disolventes.

Aunque hay cierta superposición en las aplicaciones de ambos tipos de productos. Puesto que disolventes distintos pueden dar como resultado productos de diferentes características de olor a partir de la misma sustancia, la elección de los disolventes es una de las funciones más importantes en la fabricación de oleorresinas. Después de la separación de las materias sobrantes, se libera el extracto de su disolvente volátil mediante la destilación al vacío, lo que deja como residuo la oleorresina deseada. Las oleorresinas de especias que constituyen la forma líquida más concentrada, reproducen el carácter de la especia con mucha mayor plenitud que los aceites esenciales. Se utilizan como agentes soporíferos en la industria de elaboración de alimentos.

Como su elevada concentración hace difícil que las oleorresinas como tales se incorporen en las mezclas de productos alimentarios, se dispersan en una base seca, harina y dextrosa. Las oleorresinas son de empleo más económico, de más fácil control de calidad y más limpias que las especias molidas equivalentes; su ventaja sobre los aceites esenciales equivalentes, es que son más estables cuando se calientan.

Con referencia a los extractos obtenidos de plantas aromáticas, pueden ser: aceites esenciales, resinoides, concretos, absolutos, extractos crudos o purificados, oleorresinas, exudados naturales (bálsamos y resinas), etc. Se denomina concreto a un extracto de una planta aromática obtenido por medio de un disolvente no polar (dentro de los más usados están: hexano, éter de petróleo, acetona, acetato de etilo, n-butanol, etc.) o etanol y posterior eliminación de este por evaporación a baja temperatura y con ayuda de vacío.

El residuo resultante suele ser un producto semisólido, pastoso, conteniendo no solamente la porción aromática de la planta sino también productos oleosos, cerosos, clorofila, pigmentos, resinas, etc. En la jerga

comercial, estos tipos de extractos suelen llamarse oleorresinas por el hecho de contener todos los componentes oleosos o liposolubles de la planta de origen. Muchas de estas oleorresinas tienen un vasto uso en la industria alimenticia y farmacéutica, como reemplazantes de las respectivas partes de la planta.

Las ventajas que tienen son la facilidad de dosificación, la posibilidad de homogeneizar la calidad, la carencia de problemas por contaminación y por ende una mayor estabilidad. Respecto de los aceites esenciales, algunas veces suelen preferirse por contener no solamente los componentes volátiles de la planta, sino también los otros compuestos que hacen el sabor, textura, pungencia, solubilidad, acorde de sus características organolépticas. Una vez obtenido el concreto, se lo puede redissolver en etanol a temperatura ambiente. Quedará una parte insoluble en el etanol, que se denomina resinoide, y una parte soluble que se separa por filtración, la que después de eliminarle el etanol (a baja temperatura y con ayuda de vacío) se denomina absoluto. La cantidad de aceite graso presente depende de la materia prima, así como del tipo de solvente utilizado. Las semillas de especies producen más aceites grasos que las demás partes de la planta.

#### **2.4.1. Usos de la oleorresina**

Las oleorresinas tienen uso en la industria de alimentos y de medicamentos sustituyendo las plantas secas o las tinturas. Se emplean en la coloración de productos lácteos, principalmente en mantequillas, margarinas, quesos, en productos de panadería y mezclado con el colorante bixina para la coloración de confituras, helados y pudines. También, se utiliza industrialmente como saporífero de salsas curry, en curtidos, salsas y condimentos, en sopas y purés instantáneos, en la coloración de la mostaza, en helados de vainilla,

utilizando como saborizante artificial la oleorresina del clavo, en yogures y en productos de harina.

#### **2.4.2. Extracción de oleorresinas**

En la extracción de las oleorresinas, los solventes empleados son eliminados casi completamente por procesos de destilación al vacío, azeotrópica o ambas.

### **2.5. Preparación de material**

La elaboración de un producto de oleorresina a base de materia prima vegetal comprende las operaciones de molienda, extracción, concentración y purificación. Se utiliza como materia prima el material vegetal seco previamente seleccionado para eliminar las impurezas. En esta operación se separan manualmente los materiales extraños como pedazos de madera, de metal o materiales de otra naturaleza. La tierra, la arena y el polvo muy fino son separados por medio de tamices.

#### **2.5.1. Proceso de molienda**

Una de las operaciones más importantes de extracción de oleorresinas es la molienda de la parte vegetal a utilizar. Teniendo como objetivo la disminución del tamaño de las partículas de la especia para adecuarla a la etapa siguiente del proceso de extracción. En la molienda se rompen las paredes o membranas celulares para que en el proceso de maceración se facilite la disolución de todas las propiedades de la especia en el líquido externo. El tamaño de partícula se establece experimentalmente para cada especia procesada, teniendo en cuenta la naturaleza del solvente y el equipo empleado para la

extracción. La molienda da como resultado cierta cantidad de partículas muy finas, las cuales se separan utilizando tamices.

## **2.6. Cromatografía**

Estas técnicas se utilizan para separar los componentes de forma individual de una mezcla; en su mayoría de casos, para identificar un compuesto en específico, comparándolo con sustancias conocidas o mejor llamadas patrones primarios.

La técnica cromatográfica está basada por la interacción de un soluto con dos fases, una sólida y las otras líquidas, llamada fase estacionaria. Por medio de adsorción se solubiliza cada fase por la fase móvil.

Cuando se está en equilibrio, la relación de las concentraciones se le denomina coeficiente de reparto, el cual si difiere entre cada componente se separa eficientemente cada componente y esta característica depende de la naturaleza de cada componente.

### **2.6.1. Cromatografía gaseosa con espectrofotometría de masas o HPLC (cromatografía líquida de alta resolución)**

La cromatografía es un método físico de separación en el cual los componentes a ser separados son distribuidos entre dos fases, una de las cuales es estacionaria mientras la otra se mueve en una dirección definida.

Los componentes son separados por sus diferentes tasas de migración (IUPAC). La cromatografía puede ser clasificada por su utilidad y con base al

material que se utilice como eluyente para separar los solutos. De acuerdo a su utilidad, la cromatografía se clasifica en: analítica, utilizada para determinar los químicos presentes en una mezcla y en que concentración; y preparativa, utilizada para purificar grandes cantidades de químicos.

### **2.6.2. Cromatografía de capa fina**

La cromatografía en capa fina (en inglés, *thin layer chromatography* o TLC) es una técnica analítica rápida y sencilla, muy utilizada en un Laboratorio de Química Orgánica. Entre otras cosas permite:

- Determinar el grado de pureza de un compuesto: se puede determinar así, por ejemplo, la efectividad de una etapa de purificación.
- Comparar muestras: si dos muestras corren igual en placa podrían ser idénticas. Si, por el contrario, corren distinto; entonces, no son la misma sustancia.
- Realizar el seguimiento de una reacción: es posible estudiar cómo desaparecen los reactivos y cómo aparecen los productos finales o, lo que es lo mismo, saber cuándo la reacción ha acabado.

La muestra a analizar se deposita cerca de un extremo de una lámina de plástico o aluminio que previamente ha sido recubierta de una fina capa de adsorbente (fase estacionaria).

Entonces, la lámina se coloca en una cubeta cerrada que contiene uno o varios disolventes mezclados (eluyente o fase móvil). A medida que la mezcla de disolventes asciende por capilaridad a través del adsorbente, se produce un

reparto diferencial de los productos presentes en la muestra entre el disolvente y el adsorbente.

### **2.6.3. Adsorbentes y eluyentes**

Los dos adsorbentes (fase estacionaria) más ampliamente utilizados son: el gel de sílice ( $\text{SiO}_2$ ) y la alúmina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), ambas de carácter polar. La alúmina anhidra es el más activo de los dos, es decir, es el que retiene con más fuerza a los compuestos; por ello se utiliza para separar compuestos relativamente apolares (hidrocarburos, haluros de alquilo, éteres, aldehídos y cetonas).

El gel de sílice, por el contrario, se utiliza para separar sustancias más polares (alcoholes, aminas, ácidos carboxílicos). El proceso de adsorción se debe a interacciones intermoleculares de tipo dipolo-dipolo o enlaces de hidrógeno entre el soluto y el adsorbente.

El adsorbente debe ser inerte con las sustancias a analizar y no actuar como catalizador en reacciones de descomposición. El adsorbente interacciona con las sustancias mediante interacción dipolo-dipolo o mediante enlace de hidrógeno si lo presentan.

El orden de elución de un compuesto se incrementa al aumentar la polaridad de la fase móvil o eluyente. Este puede ser un disolvente único o dos miscibles de distinta polaridad.

En el siguiente se recoge por orden creciente de fuerza eluyente los disolventes más comúnmente empleados.

Hexano < tetraclorometano < cloroformo < diclorometano < acetato de etilo < acetona < 2-propanol < metanol < agua

En general, estos disolventes se caracterizan por tener bajos puntos de ebullición y viscosidad, lo que les permite moverse con rapidez. Raramente se emplea un disolvente más polar que el metanol. Usualmente se emplea una mezcla de dos disolventes en proporción variable; la polaridad de la mezcla será el valor promediado en función de la cantidad de cada disolvente empleada. El eluyente idóneo para cada caso ha de encontrarse por el método del ensayo y del error.

#### **2.6.4. Cromatografía de gases acoplado a espectrofotometría de masa**

Se constituye en un procedimiento de separación para los compuestos volátiles, los cuales fluyen en una corriente gaseosa sobre o a través de una fase estacionaria fijada en el interior de un tubo largo y fino, la cual puede ser un sólido adsorbente de empaquetamiento, o un líquido viscoso no volátil que recorre las paredes internas de la columna.

El gas portador es un gas inerte (nitrógeno, helio, hidrógeno, argón) y transporta una muestra respectiva de la sustancia inyectada. Los diversos componentes son retenidos o retrasados por la fase estacionaria con mayor o menor fuerza, y alcanzan correspondientemente el final de la columna donde se encuentra el detector. Los tiempos de flujo del gas portador son relativamente largos.

La GC permite realizar tantos análisis cualitativos, como cuantitativos de sustancias que se volatilizan a temperaturas elevadas sin degradarse, o de los

cuales se obtienen derivados volátiles reproducibles. La elección del modo de inyección de la muestra, la temperatura de la columna y el tipo de detector, determinan los resultados del procedimiento

## **2.7. Índice de refracción**

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

## **2.8. Espectrofotometría UV**

Este es un método cuantitativo muy común tanto para sustancias orgánicas como inorgánicas; con la cual se puede medir la transparencia relativa de una disolución.

Este método es adecuado para el análisis de compuestos orgánicos, ya que varían tanto sus grupos funcionales que absorben la radiación de infrarrojos en diferentes frecuencias, esta absorción se refleja en graficas con picos.

## **2.9. Espectrofotometría infrarroja**

Cuando se utilizan soporte para pastillas o films, se utilizan dos pastillas de KBr de aproximadamente 13 milímetros de diámetro colocadas en un soporte simple para estudios. En el caso que se tomen micromuestras, existen microceldas para gases y líquidos y también micropastillas para utilizar en el equipo.

## **2.10. Elaboración de oleorresinas mediante extracción con solventes volátiles**

De acuerdo con Guenther, 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. Puede definirse como la separación de un componente de una mezcla por medio de un disolvente.

La extracción sólido líquido se puede llevar a cabo con: a) maceración; c) circulación; d) agitación; d) vibración; e) ultrasonido.

El rendimiento del producto a cualquier tiempo de extracción aumenta en el orden que se menciona estos métodos. En la práctica es muy utilizada para separar compuestos orgánicos de las soluciones o suspensiones acuosas en las que se encuentran.

El procedimiento consiste en agitarlas con un disolvente orgánico inmisible con el agua y dejar separar ambas capas. Los distintos solutos presentes se distribuyen entre las fases orgánica y acuosa, de acuerdo con las solubilidades relativas.

Ciertos compuestos orgánicos, como los alcoholes, aldehídos, cetonas, ácidos, ésteres, aminas, etc., capaces de asociarse con el agua a través de puentes de hidrógeno, son parcialmente solubles en éste disolvente y en los orgánicos; en estos casos pueden ser necesarias varias extracciones. De acuerdo con Kirk y Othmer, el solvente es seleccionado de acuerdo a la planta a ser tratada.

Las hojas, frutas, raíces, resinas y bálsamos son extraídos con benceno, con o sin la adición de acetona o éter de petróleo en frío o en el punto de ebullición. Ciertas resinas son extraídas con alcohol, a veces mezclado con benceno en el punto de ebullición. El solvente entra a las células vegetales y no sólo disuelve el aceite esencial, también, los colores, ceras, etc. Después de la extracción, el solvente es removido por destilación, dejando el concreto semisólido.

Los solventes utilizados más comunes son: acetona; 1,2 dicloroetano (dicloruro de etileno), diclorometano, etanol, metanol, hexano, heptano, alcohol isopropílico (2 propanol); 1,2,2 tricloroetileno.

## **2.11. 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), utilizando 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 es removido de la mezcla solvente-aceite fijo usualmente en dos etapas. En la primera etapa se remueve el 95 % del solvente con un evaporador tipo película descendente, película ascendente o calandria. En la segunda etapa se utiliza un tratamiento especial al vacío donde se remueve las trazas finales de solvente hasta los límites aceptados por la legislación. El solvente residual que queda en la masa vegetal, se recupera al darle un baño de vapor vivo a la masa en el extractor, calentando el material en tanques enchaquetados.

## **2.12. Especificaciones de la oleoresina**

De acuerdo a Heath, la oleoresina de pimienta es un fluido oleoso de color café-verdoso a verde oscuro. Hay dos calidades disponibles:

Tabla I. **Especificaciones de oleorresina**

<b>Contenido volátil (ml por 100 g)</b>	<b>Taza de utilización sugerida (%)</b>
40-50	4-6
60-66	3

Fuente: elaboración propia.

### **2.13. Ventajas e inconvenientes de la oleorresina**

#### **2.13.1. Inconvenientes**

- Buen sabor, pero tan variable como el de la materia prima.
- Muy concentradas, por lo tanto, difíciles de manipular y de pesar con precisión.
- Su densidad varía de líquida a sólida viscosa por lo cual resulta difícil incorporarlas de manera uniforme en las mezclas de productos alimenticios.
- Contienen tanino, excepto cuando se las somete a un tratamiento especial.
- La calidad del sabor depende del disolvente que se emplee.

#### **2.13.2. Ventajas**

- Higiénicas, exentas de bacterias, etc.
- Puede normalizarse su sabor
- Contienen antioxidantes naturales
- Exentas de enzimas
- Se pueden almacenar durante mucho tiempo en condiciones óptimas

### **2.13.3. Constituyentes principales**

De acuerdo a Snell y Ettore, 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 - a -phellandrene. 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- a, 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.

### **2.14. 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 deben 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.

### **2.15. Modelos ANDEVA**

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

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.

### **2.16. Suposiciones del análisis de varianza**

En cada ocasión que se realice un análisis de varianza (ANDEVA), rutinariamente, deben examinarse los datos para determinar si estos indican alguna desviación de los supuestos que rigen dicho análisis. Por lo tanto, es recomendable realizar un análisis de las suposiciones en las que se basa el ANDEVA junto con el análisis mismo. Solo después de hacer este análisis de suposiciones y que estas se cumplan razonablemente, se puede expresar con cierta confianza la validez de los resultados estadísticos.

Las suposiciones en las que se basa el ANDEVA son las siguientes:

- Los errores de los datos son normales
- Varianzas son homogéneas
- Independencia de medias y varianzas
- Aditividad del modelo

### **2.16.1. Normalidad de los errores**

Es relativamente fácil hacer pruebas de normalidad de los errores con programas estadísticos computacionales, ya sea con un gráfico QQ plot o la prueba de normalidad de Shapiro Wilks. En la primera prueba el valor  $r$  de correlación debe ser mayor a 0,95 y en la segunda prueba el valor  $p$  de la prueba de hipótesis debe ser mayor a 0,05, estar en  $H_0$ . El programa INFOSTAT puede calcular los errores de cada dato y hace ambas pruebas.

Sin embargo, este requisito no es tan importante como la independencia de las observaciones, pues en general el ANDEVA es una prueba robusta. Esto quiere decir que, aunque los errores de las observaciones no sean normales, las medias de los tratamientos son aproximadamente normales debido al teorema central del límite. Sin embargo, si los errores de los datos son extremadamente no-normales, es posible transformar los datos para cubrir este requisito, o bien emplear métodos no paramétricos.

### **2.16.2. Homogeneidad de varianzas de los diferentes tratamientos**

Es muy importante para el modelo verificar si hay homogeneidad de las varianzas de los diferentes tratamientos, pues si esto no se cumple se pueden

invalidar los resultados de una  $H_A$ . Una población heterogénea en varianzas no permite detectar si las diferencias observadas se deben a diferencias de promedios o de las varianzas.

Para corroborar o refutar las afirmaciones hechas respecto de la hipótesis de la homogeneidad de las varianzas de los grupos o tratamientos respecto a la variable dependiente, se dispone de la prueba de Levene de homogeneidad de varianzas. Esta prueba funciona como un estadístico F de la distribución F de Fisher, donde la  $H_0$  consiste en suponer que las varianzas de los errores absolutos de los distintos grupos son iguales. Se rechazará esta  $H_0$  en el caso de que la significación del estadístico sea menor que 0,05. El estadístico de Levene se hace realizando una ANDEVA una vía con los errores en valor absoluto, INFOSTAT calcula este tipo de error.

### **2.16.3. Independencia de promedios y varianzas**

Que un promedio mayor no tenga independencia entre medias y varianzas es un caso especial de falta de homogeneidad de varianzas. En algunos datos existe una relación definida entre las medias y sus varianzas, por ejemplo, el número de hojas de plantas de tomate de un mes y de tres meses, en ambos casos no solo hay diferencias de promedios sino también de varianzas, a más edad mayor promedio y varianza. Este problema se puede manejar con un buen diseño del experimento. Sin embargo, esta relación suele ser la causa más común de heterogeneidad de varianza. Una correlación positiva entre medias y varianzas es una forma de detectar el problema, o cuando se observa un amplio rango entre las medias. El estadístico de Levene también detecta este problema.

#### 2.16.4. Aditividad del modelo

Una prueba ANDEVA supone que los datos siguen un modelo lineal aditivo. Para cada diseño experimental se construye un modelo matemático lineal aditivo, para el caso de un diseño completamente aleatorio, DCA, es  $x_{ij} = \bar{x} \pm \alpha_i \pm \varepsilon_{ij}$ . La ecuación expresa que el valor de cualquier unidad experimental está compuesta por la media general, más o menos el efecto de tratamiento  $\alpha_i$  y más o menos un término de error característico de cada dato  $\varepsilon_{ij}$ .

En este modelo los términos se suman, si esto no ocurre así, el ANDEVA puede llevar a conclusiones incorrectas. La falta de aditividad puede ocurrir por un mal diseño del experimento; por ejemplo, si se prueban diferentes dosis de fertilizante, pero cada dosis se prueba en una especie de planta diferente puede resultar una interacción entre dosis de fertilizante y especie de planta que rompa el modelo aditivo.

#### 2.16.5. ¿Qué hacer cuando el modelo no funciona?

La violación o falta de apego a cualquiera de estas suposiciones indica que los resultados podrían no tener validez. Dependiendo del tipo de problema, puede haber solución o no al objetivo buscado en el experimento. El dilema más fuerte con el que ha de luchar el experimentador es el de la falta de homogeneidad de varianzas, ya que, si esto ocurre, no se puede saber si las diferencias entre los tratamientos se deben a promedios diferentes o varianzas diferentes.

La falta de normalidad no es tan importante, pues la prueba ANDEVA es robusta a este problema y, en casos extremos, se puede optar por el uso de

transformaciones. En general, para los casos en que los supuestos de normalidad, homogeneidad, independencia de medias-varianzas o aditividad no se cumplen, puedo usar transformaciones de datos, las más usadas son:

- Logaritmo  $\text{Log}(x)$ : útil cuando los datos crecen en sentido exponencial o cuando las desviaciones estándares de las muestras sean aproximadamente proporcionales a los promedios o hay evidencia de efectos principales multiplicativos de los tratamientos en vez de aditividad.
- La transformación  $\sqrt{x + 0,5}$ : útil cuando los números observados son pequeños 0-10, por ejemplo son acontecimientos pocos comunes, tienen una posibilidad muy baja de ocurrir en cualquier individuo. Estos datos tienden a seguir una distribución de Poisson.
- La transformación:  $\text{Arcoseno } \sqrt{x/100}$ : cuando los datos son expresados en por ciento o son proporciones de la muestra total. Por lo general, estos datos tienen una distribución binomial y no de una distribución normal como se espera.

### **3. DISEÑO METODOLÓGICO**

#### **3.1. Localización**

La realización experimental de este estudio, se llevó a cabo en los siguientes laboratorios:

- 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.

La caracterización fisicoquímica de la oleorresina se llevó a cabo en:

- 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**

Las variables representan características, propiedades o atributos que son susceptibles al cambio de diferentes valores, para este estudio se tiene lo siguiente.

### 3.2.1. Variables independientes

- Parte vegetal o segmento del árbol utilizado para la extracción de oleorresina (hojas y frutos).

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

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

Fuente: elaboración propia.

### 3.2.2. Variables dependientes

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

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

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

Fuente: elaboración propia.

### **3.2.3. Variable respuesta**

La variable de respuesta para cada tratamiento fue la obtención del rendimiento extractivo y su caracterización fisicoquímica de la oleoresina de pimienta gorda en función a la sección vegetal, nivel altitudinal y procedencia.

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

El trabajo de investigación se enfoca a la metodología experimental y cuantitativa, donde se evalúa la especie vegetal, pimienta gorda (*Pimenta dioica* (L.) Merril), 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 oleoresina con un contenido alto en eugenol; esto por medio de maceración dinámica utilizando como solvente etanol, filtración y evaporación de solvente, a escala planta piloto.

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

La materia vegetal para la extracción de oleoresina se obtuvo de la región norte del país, Alta Verapaz y Petén, para cada departamento tuvo precedencia de tres municipios, estos con diferente nivel altitudinal; para el departamento de Alta Verapaz, fueron los municipios de 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 estos fueron transportados en un vehículo agrícola, resguardados en costales de yute, esto con el fin de preservar la calidad del producto y evitar que por el calor almacenado este se arruinara; esta materia prima se trasladó a la

Universidad de San Carlos de Guatemala, para darle continuidad a la operación de secado de la materia prima, esta operación se realizó en el secador solar CEDA de la Facultad de Agronomía.

### **3.3.2. Extracción de oleorresina**

Para la extracción de oleorresina se utilizarán hojas y frutos del árbol de pimienta gorda con el método de maceración dinámica con solvente extractivo etanol; 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 de la oleorresina**

La caracterización fisicoquímica, densidad e índice de refracción de la oleorresina 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 química de cromatografía de gases con acoplamiento de espectrofotometría de masas GC-MC, 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. José Carlos Enrique García Zuñiga

- Asesores: Inga. Qca. Telma Maricela Cano Morales, Ing. Qco. Mario José Mérida Meré.

### 3.5. Recursos materiales disponibles

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

Tabla IV. **Materia prima y reactivos**

<b>Materia prima por región</b>	<b>Descripción</b>
Campur, Alta Verapaz	Hojas y frutos de pimienta gorda ( <i>pimenta dioica</i> (L.) Merrill.),
Cahabón, Alta Verapaz	Hojas y frutos de pimienta gorda ( <i>pimenta dioica</i> (L.) Merrill.),
San Pedro Carcha, Alta Verapaz	Hojas y frutos de pimienta gorda ( <i>pimenta dioica</i> (L.) Merrill. L.),
San Luis, Petén	Hojas y frutos de pimienta gorda ( <i>pimenta dioica</i> (L.) Merrill.),
Dolores, Petén	Hojas y frutos de pimienta gorda ( <i>pimenta dioica</i> (L.) Merrill.),
Melchor de Mencos, Petén	Hojas y frutos de pimienta gorda ( <i>pimenta dioica</i> (L.) Merrill.),
Reactivos	Etanol al 95 %
	Propilenglicol

Fuente: elaboración propia.

Tabla V. **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 120v
	Cromatógrafo de gases
Equipo de planta piloto	Secador solar ceda
	Caldera piro tubular
	Molino de martillo
	Licuada 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 de oleorresina de la pimienta gorda (*Pimenta dioica* (L.) Merrill), a partir de dos secciones de la planta, hojas y frutos, las cuales se detallan a continuación.

**3.6.1. Extracción de oleoresina de pimienta gorda (*Pimenta dioica* (L.) Merrill), con el método de maceración dinámica utilizando como solvente extractivo etanol**

- 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).
- Medir la cantidad de etanol al 96% en relación 1:15 (materia prima/ Solvente).
- Limpiar marmita de acero inoxidable de 60 litros con agitador.
- Agregar a la marmita con agitación, la materia prima y la cantidad de etanol correspondiente a la relación de 1:15.
- Poner en marcha la agitación, durante 4 horas.
- Apagar marmita.
- Filtrar el extracto obtenido con mesh No.30 para retirar partículas de tamaño considerable.

- Filtrar extracto obtenido por medio de bomba de vacío de planta piloto del Laboratorio de Investigaciones de Ingeniería de Extractos Vegetales, LIEXVE.
- Encender caldera y esperar a que la presión de vapor este en 60 PSI.
- Colocar el extracto filtrado en marmita de concentración de la planta piloto del Laboratorio de Investigaciones de Ingeniería de Extractos Vegetales, LIEXVE.
- Aplicar vapor a la chaqueta de marmita de concentración.
- Concentrar hasta que ya no condense etanol en el visor de tanque de etanol recuperado.
- Apagar caldera.
- Apagar bomba de vacío.
- Cerrar válvulas de vapor
- Abrir válvula de vacío.
- Ingresar agua fría a la chaqueta de marmita de concentración.
- Descargar oleoresina y almacenarla en recipiente de vidrio (*beacker*).
- Rotaevaporar muestra.

### 3.6.2. Cálculo del rendimiento de oleorresina

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

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

Donde:

- % rendimiento: porcentaje de rendimiento de oleorresina a escala planta piloto.
- Wf: peso final del *beacker* con oleorresina (g).
- Wo: tara del beacker vacío (g).
- Wmp: peso de la materia prima (g).

### 3.6.3. Cálculo de la densidad de oleorresina

- Limpiar con etanol el picnómetro y secar.
- Tarar el picnómetro de 5 mL.
- Utilizar una espátula para verter la muestra de oleorresina en el picnómetro.
- Pesar el picnómetro con la muestra.
- Utilizar la siguiente ecuación.

Los datos se tomaron a temperatura de 20 °C.

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

Donde:

- $\rho$ : densidad (g/mL)
- $W_{fp}$ : peso final del picnómetro con la muestra de la oleorresina (g)
- $W_{op}$ : peso inicial del picnómetro (g)
- $V_p$ : volumen del picnómetro (mL)

#### **3.6.4. Medición del índice de refracción de oleorresina**

- Limpiar el lente del prisma con agua desmineralizada.
- Agregar una o dos gotas de oleorresina al prisma.
- Encender la lámpara con el interruptor en el lado izquierdo y ajustar para asegurar el brillo adecuado en la medición.
- Girar la perilla de compensación de color hasta que aparezca una línea clara y definida en el campo de visión.
- Girar la perilla de medición alineando la línea delimitadora con las líneas de intersección.
- 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 a caracterizar 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, GC-MS.

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

La realización del presente estudio de investigación tiene como objetivo la obtención y caracterización fisicoquímica de la oleorresina de pimienta gorda (*Pimenta dioica* (L.) Merrill); 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 (*Pimenta dioica* (L.) Merrill) de diferente procedencia de la región norte del país, diferente nivel altitudinal y diferente parte vegetal; esta obtención de oleorresina se realizó con la metodología de maceración dinámica a escala planta piloto, con una relación de materia prima-solvente de 1:15, 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 diseñó de forma completamente al azar 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 obtención y rendimiento de la oleorresina.

### **3.7.2. Factor núm. 1: parte de la planta**

- Niveles del factor No. 1: se tomaron dos partes de la planta para la extracción.
  - $p_1$  (hojas de árboles hembra)
  - $p_2$  (frutos)

### **3.7.3. Factor núm. 2: departamento de procedencia**

- Niveles del factor No. 2: se tomaron dos departamentos de procedencia de la especie.
  - $r_1$  (Alta Verapaz)
  - $r_2$  (Petén)

### **3.7.4. Factor núm. 3: nivel altitudinal de plantación**

- Niveles del factor No. 3: se tomaron tres valores altitudinales.
  - $n_1$  (75 & 238 msnm)
  - $n_2$  (400 & 1 300 msnm)

- $n_3$  (575 & 1 475 msnm)

### **3.7.5. Repeticiones**

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

### **3.7.6. Número de combinaciones para la simulación del experimento**

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

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 VI. **Factores del diseño experimental**

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

Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. **Tratamientos para el diseño experimental**

<b>Núm.</b>	<b>Combinación</b>	<b>Núm.</b>	<b>Combinación</b>	<b>Núm.</b>	<b>Combinación</b>
1	p1.r1.n1.C1	13	p1.r2.n2.C1	25	p2.r1.n3.C1
2	p1.r1.n1.C2	14	p1.r2.n2.C2	26	p2.r1.n3.C2
3	p1.r1.n1.C3	15	p1.r2.n2.C3	27	p2.d1.n3.C3
4	p1.r1.n2.C1	16	p1.r2.n3.C1	28	p2.r2.n1.C1
5	p1.r1.n2.C2	17	p1.r2.n3.C2	29	p2.r2.n1.C2
6	p1.r1.n2.C3	18	p1.r2.n3.C3	30	p2.r2.n1.C3
7	p1.r1.n3.C1	19	p2.r1.n1.C1	31	p2.r2.n2.C1
8	p1.r1.n3.C2	20	p2.r1.n1.C2	32	p2.r2.n2.C2
9	p1.r1.n3.C3	21	p2.r1.n1.C3	33	p2.r2.n2.C3
10	p1.r2.n1.C1	22	p2.r1.n2.C1	34	p2.r2.n3.C1
11	p1.r2.n1.C2	23	p2.r1.n2.C2	35	p2.r2.n3.C2
12	p1.r2.n1.C3	24	p2.r1.n2.C3	36	p2.r2.n3.C3

Fuente: elaboración propia.

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

No.	Combinación	No.	Combinación	No.	Combinación
30	p2.r2.n1.C3	31	p2.r2.n2.C1	2	p1.r1.n1.C2
14	p1.r2.n2.C2	25	p2.r1.n3.C1	26	p2.r1.n3.C2
29	p2.r2.n1.C2	8	p1.r1.n3.C2	17	p1.r2.n3.C2
4	p1.r1.n2.C1	16	p1.r2.n3.C1	28	p2.r2.n1.C1
23	p2.r1.n2.C2	27	p2.d1.n3.C3	3	p1.r1.n1.C3
34	p2.r2.n3.C1	12	p1.r2.n1.C3	1	p1.r1.n1.C1
20	p2.r1.n1.C2	36	p2.r2.n3.C3	10	p1.r2.n1.C1
15	p1.r2.n2.C3	7	p1.r1.n3.C1	21	p2.r1.n1.C3
24	p2.r1.n2.C3	32	p2.r2.n2.C2	19	p2.r1.n1.C1
13	p1.r2.n2.C1	22	p2.r1.n2.C1	6	p1.r1.n2.C3
35	p2.r2.n3.C2	5	p1.r1.n2.C2	11	p1.r2.n1.C2
18	p1.r2.n3.C3	9	p1.r1.n3.C3	33	p2.r2.n2.C3

Fuente: elaboración propia.

Tabla IX. **Rendimiento extractivo de oleorresina obtenida de las hojas y frutos de la pimienta gorda (*Pimenta dioica* (L.) Merrill)**

Núm.	Tratamiento	Aleatorizado	Peso materia prima (kg)	Relación con solvente	Rendimiento (%)
1	30	p2.r2.n1.C3	1,34	1:15	17,9115
2	14	p1.r2.n2.C2	1,34	1:15	22,388
3	29	p2.r2.n1.C2	1,34	1:15	9,82
4	4	p1.r1.n2.C1	1,34	1:15	12,77
5	23	p2.r1.n2.C2	1,34	1:15	19,4031
6	34	p2.r2.n3.C1	1,34	1:15	34,3284
7	20	p2.r1.n1.C2	1,34	1:15	19,403
8	15	p1.r2.n2.C3	1,34	1:15	20,8955
9	24	p2.r1.n2.C3	1,34	1:15	23,8805
10	13	p1.r2.n2.C1	1,34	1:15	20,8955
11	35	p2.r2.n3.C2	1,34	1:15	12,775
12	18	p1.r2.n3.C3	1,34	1:15	8,7404
13	31	p2.r2.n2.C1	1,34	1:15	2,0578
14	25	p2.r1.n3.C1	1,34	1:15	20,8955
15	8	p1.r1.n3.C2	1,34	1:15	12,02
16	16	p1.r2.n3.C1	1,34	1:15	3,8043
17	27	p2.r1.n3.C3	1,34	1:15	26,8656

Continuación de la tabla IX.

18	12	p1.r2.n1.C3	1,34	1:15	25,3731
19	36	p2.r2.n3.C3	1,34	1:15	11,26
20	7	p1.r1.n3.C1	1,34	1:15	9,8201
21	32	p2.r2.n2.C2	1,34	1:15	12,8358
22	22	p2.r1.n2.C1	1,34	1:15	21,6417
23	5	p1.r1.n2.C2	1,34	1:15	12,7676
24	9	p1.r1.n3.C3	1,34	1:15	15,78
25	2	p1.r1.n1.C2	1,34	1:15	24,6269
26	26	p2.r1.n3.C2	1,34	1:15	25,3012
27	17	p1.r2.n3.C2	1,34	1:15	8,9552
28	28	p2.r2.n1.C1	1,34	1:15	26,8656
29	3	p1.r1.n1.C3	1,34	1:15	11,0595
30	1	p1.r1.n1.C1	1,34	1:15	17,28
31	10	p1.r2.n1.C1	1,34	1:15	12,76
32	21	p2.r1.n1.C3	1,34	1:15	18,6567
33	19	p2.r1.n1.C1	1,34	1:15	17,9104
34	6	p1.r1.n2.C3	1,34	1:15	7,4626
35	11	p1.r2.n1.C2	1,34	1:15	23,8805
36	33	p2.r2.n2.C3	1,34	1:15	12,775

Fuente: elaboración propia.

Tabla X. **Densidad de oleoresina obtenida de las hojas y frutos de la pimienta gorda (*Pimenta dioica* (L.) Merrill), cultivada en la región norte de Guatemala a escala planta piloto**

Núm.	Tratamiento	Aleatorizado	Peso materia prima (g)	Relación con solvente	Densidad (g/mL)
1	30	p2.r2.n1.C3	1,34	1:15	1,1571
2	14	p1.r2.n2.C2	1,34	1:15	1,0553
3	29	p2.r2.n1.C2	1,34	1:15	1,1073
4	4	p1.r1.n2.C1	1,34	1:15	1,1893
5	23	p2.r1.n2.C2	1,34	1:15	1,4549
6	34	p2.r2.n3.C1	1,34	1:15	1,1706
7	20	p2.r1.n1.C2	1,34	1:15	1,1224
8	15	p1.r2.n2.C3	1,34	1:15	1,1541
9	24	p2.r1.n2.C3	1,34	1:15	1,4036
10	13	p1.r2.n2.C1	1,34	1:15	1,0903
11	35	p2.r2.n3.C2	1,34	1:15	1,1716
12	18	p1.r2.n3.C3	1,34	1:15	1,1751

Continuación de la tabla X.

13	31	p2.r2.n2.C1	1,34	1:15	1,1393
14	25	p2.r1.n3.C1	1,34	1:15	1,1184
15	8	p1.r1.n3.C2	1,34	1:15	1,2221
16	16	p1.r2.n3.C1	1,34	1:15	1,1646
17	27	p2.r1.n3.C3	1,34	1:15	1,1790
18	12	p1.r2.n1.C3	1,34	1:15	1,0858
19	36	p2.r2.n3.C3	1,34	1:15	1,1631
20	7	p1.r1.n3.C1	1,34	1:15	1,1989
21	32	p2.r2.n2.C2	1,34	1:15	1,1425
22	22	p2.r1.n2.C1	1,34	1:15	1,1980
23	5	p1.r1.n2.C2	1,34	1:15	1,1862
24	9	p1.r1.n3.C3	1,34	1:15	1,2868
25	2	p1.r1.n1.C2	1,34	1:15	1,1835
26	26	p2.r1.n3.C2	1,34	1:15	1,1877
27	17	p1.r2.n3.C2	1,34	1:15	1,1802
28	28	p2.r2.n1.C1	1,34	1:15	1,1561
29	3	p1.r1.n1.C3	1,34	1:15	1,1653
30	1	p1.r1.n1.C1	1,34	1:15	1,1958
31	10	p1.r2.n1.C1	1,34	1:15	1,1751
32	21	p2.r1.n1.C3	1,34	1:15	1,1926
33	19	p2.r1.n1.C1	1,34	1:15	1,1714
34	6	p1.r1.n2.C3	1,34	1:15	1,3430
35	11	p1.r2.n1.C2	1,34	1:15	1,3107
36	33	p2.r2.n2.C3	1,34	1:15	1,1387

Fuente: elaboración propia.

**Tabla XI. Índice de refracción de oleorresina obtenida de las hojas y frutos de la pimienta gorda (Pimenta dioica (L.) Merrill), cultivada en la región norte de Guatemala, a escala planta piloto**

Procedencia	Sección vegetal	Locación	Índice de refracción
Alta Verapaz	Frutos	Campur	1,4460
Alta Verapaz		San Pedro Carchá	1,4492
Alta Verapaz		Santa María Cahabón	1,4409
Alta Verapaz	Hojas	Campur	1,4452
Alta Verapaz		San Pedro Carchá	1,4462
Alta Verapaz		Santa María Cahabón	1,4553

Continuación de la tabla XI.

Petén	Frutos	San Luis	1,4743
Petén		Dolores	1,4569
Petén		Melchor de Mencos	1,4636
Petén	Hojas	San Luis	1,4516
Petén		Dolores	1,4191
Petén		Melchor de Mencos	1,4542

Fuente: elaboración propia.

### **3.8. Composición química, recopilación y ordenamiento de datos obtenidos**

Al concluir, la parte experimental de 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 masas, densidad por picnómetro de 5 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 XII. **Rendimiento extractivo de oleoresina obtenida de las hojas y frutos de la pimienta gorda (*Pimenta dioica* (L.) Merrill), cultivada en la región norte de Guatemala a escala planta piloto**

Tratamiento	Combinación	Peso materia prima (Kg)	Rendimiento (%)
1	p1.r1.n1.C1	1,34	17,28
2	p1.r1.n1.C2	1,34	24,6269
3	p1.r1.n1.C3	1,34	11,0595
4	p1.r1.n2.C1	1,34	12,77
5	p1.r1.n2.C2	1,34	12,7676
6	p1.r1.n2.C3	1,34	7,4626
7	p1.r1.n3.C1	1,34	9,8201
8	p1.r1.n3.C2	1,34	12,02
9	p1.r1.n3.C3	1,34	15,78
10	p1.r2.n1.C1	1,34	12,76
11	p1.r2.n1.C2	1,34	23,8805
12	p1.r2.n1.C3	1,34	25,3731
13	p1.r2.n2.C1	1,34	20,8955
14	p1.r2.n2.C2	1,34	22,3880
15	p1.r2.n2.C3	1,34	20,8955
16	p1.r2.n3.C1	1,34	3,8043
17	p1.r2.n3.C2	1,34	8,9552
18	p1.r2.n3.C3	1,34	8,7404
19	p2.r1.n1.C1	1,34	17,9104
20	p2.r1.n1.C2	1,34	19,4030
21	p2.r1.n1.C3	1,34	18,6567
22	p2.r1.n2.C1	1,34	21,6417
23	p2.r1.n2.C2	1,34	19,4031
24	p2.r1.n2.C3	1,34	23,8805
25	p2.r1.n3.C1	1,34	20,8955
26	p2.r1.n3.C2	1,34	25,3012
27	p2.r1.n3.C3	1,34	26,8656
28	p2.r2.n1.C1	1,34	26,8656
29	p2.r2.n1.C2	1,34	9,82
30	p2.r2.n1.C3	1,34	17,9115
31	p2.r2.n2.C1	1,34	2,0578
32	p2.r2.n2.C2	1,34	12,8358
33	p2.r2.n2.C3	1,34	12,775
34	p2.r2.n3.C1	1,34	34,3284
35	p2.r2.n3.C2	1,34	12,775
36	p2.r2.n3.C3	1,34	11,26

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIII. **Densidad de oleoresina obtenida de las hojas y frutos de la pimienta gorda (*Pimenta dioica* (L.) Merrill), cultivada en la región norte de Guatemala escala planta piloto**

Tratamiento	Combinación	Volumen de picnómetro (ml)	Densidad (g/mL)
1	p1.r1.n1.C1	5	1,1958
2	p1.r1.n1.C2	5	1,1835
3	p1.r1.n1.C3	5	1,1,1653
4	p1.r1.n2.C1	5	1,1893
5	p1.r1.n2.C2	5	1,1862
6	p1.r1.n2.C3	5	1,3429
7	p1.r1.n3.C1	5	1,1989
8	p1.r1.n3.C2	5	1,2221
9	p1.r1.n3.C3	5	1,2868
10	p1.r2.n1.C1	5	1,1751
11	p1.r2.n1.C2	5	1,1752
12	p1.r2.n1.C3	5	1,3107
13	p1.r2.n2.C1	5	1,0903
14	p1.r2.n2.C2	5	1,0553
15	p1.r2.n2.C3	5	1,1542
16	p1.r2.n3.C1	5	1,1646
17	p1.r2.n3.C2	5	1,1802
18	p1.r2.n3.C3	5	1,1751
19	p2.r1.n1.C1	5	1,1715
20	p2.r1.n1.C2	5	1,1524
21	p2.r1.n1.C3	5	1,1926
22	p2.r1.n2.C1	5	1,1980
23	p2.r1.n2.C2	5	1,4549
24	p2.r1.n2.C3	5	1,1403
25	p2.r1.n3.C1	5	1,1184
26	p2.r1.n3.C2	5	1,1877
27	p2.r1.n3.C3	5	1,1790
28	p2.r2.n1.C1	5	1,1561
29	p2.r2.n1.C2	5	1,1073
30	p2.r2.n1.C3	5	1,1571
31	p2.r2.n2.C1	5	1,1393
32	p2.r2.n2.C2	5	1,1425
33	p2.r2.n2.C3	5	1,1387
34	p2.r2.n3.C1	5	1,1706
35	p2.r2.n3.C2	5	1,1716
36	p2.r2.n3.C3	5	1,1631

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIV. **Índice de refracción de oleorresina obtenida de las hojas y frutos de la pimienta gorda (*Pimenta dioica* (L.) Merrill), cultivada en la región norte de Guatemala, a escala planta piloto**

Región de procedencia	Sección vegetal	Locación	Índice de refracción
Alta Verapaz	Frutos	Campur	1,4460
Alta Verapaz		San Pedro Carchá	1,4492
Alta Verapaz		Santa María Cahabón	1,4409
Alta Verapaz	Hojas	Campur	1,4452
Alta Verapaz		San Pedro Carchá	1,4462
Alta Verapaz		Santa María Cahabón	1,4553
Petén	Frutos	San Luis	1,4743
Petén		Dolores	1,4569
Petén		Melchor de Mencos	1,4636
Petén	Hojas	San Luis	1,4516
Petén		Dolores	1,4191
Petén		Melchor de Mencos	1.4542

Fuente: elaboración propia.

Tabla XV. **Composición química de la oleorresina obtenida a escala planta piloto de hojas de pimienta gorda procedentes de Melchor de Mencos, Petén, por cromatografía GC-MS**

Núm.	Tiempo de retención (min)	% área	Componente químico	Número CAS
1	5,323	0,20	2-Butamina	000513-49-5
2	8,038	9,01	Alcohol etílico	000064-17-5
3	11,718	1,77	Amoniaco	007664-41-7
4	40,693	84,73	Propilenglicol	000057-55-6
5	46,902	0,25	2-butanol, 3-metil-	000598-75-4
6	51,905	3,84	Eugenol	000097-53-0
7	55,108	0,04	5-dihidroxi-6-metil	028564-83-2
8	56,836	0,07	Fenol, 4- (2-propenil)	000501-92-8
9	61,794	0,08	1,4,7,10,13,16-Hexaoxaciclooctadecano	0117455-13-9

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVI. **Composición química de la oleorresina obtenida a escala planta piloto de hojas de pimienta gorda procedentes de Dolores, Petén, por cromatografía GC-MS**

Núm.	Tiempo de retención (min)	% área	Componente químico	Número CAS
1	5,364	0,20	2-Butamina	000513-49-5
2	8,238	0,80	Alcohol etílico	000064-17-5
3	11,718	9,73	Amoniaco	007664-41-7
4	41,830	83,95	Propilenglicol	000057-55-6
5	25,541	0,25	Ácido Acético	000064-19-7
6	51,923	1,40	Eugenol	000097-53-0
7	61,799	1,40	2-Furancarboxaldehído	000067-47-0
8	55,126	0,45	2,3-dimetil-	028564-83-2
9	56,909	0,11	Hidroquinona	000123-31-9
10	5,364	0,83	Dióxido de carbono	000124-38-9

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVII. **Composición química de la oleorresina obtenida a escala planta piloto de hojas de pimienta gorda procedentes de San Luis, Petén, por cromatografía GC-MS**

Núm.	Tiempo de retención (min)	% área	Componente químico	Número CAS
1	5,332	0,51	2-Butamina	000513-49-5
2	8,238	32,42	Alcohol etílico	000064-17-5
3	56,859	0,76	Fenol, 4- (2-propenil)	000501-92-8
4	46,920	0,37	Propilenglicol	000057-55-6
5	56,663	0,11	1,4,7,10,13,16-Hexaoxaciclooctadecano	017455-13-9
6	51,919	5,42	Eugenol	000097-53-0

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVIII. **Composición química de la oleorresina obtenida a escala planta piloto de frutos de pimienta gorda procedentes de Melchor de Mencos, Petén, por cromatografía GC-MS**

Núm.	Tiempo de retención (min)	% área	Componente químico	Número CAS
1	5,327	0,56	Ácido 12-metilaminolaúrico	007408-81-3
2	8,238	9,82	Alcohol etílico	000064-17-5
3	11,718	9,44	Amoniaco	007664-41-7
4	41,066	64,86	Propilenglicol	000057-55-6
5	46,911	0,23	Éter metílico 2-cloroetílico	000627-42-9
6	46,911	14,54	Eugenol	000097-53-0
7	55,121	0,12	2,3-dihidro-	028564-83-2
8	56,850	0,23	Fenol, 4- (2-propenil)	000501-92-8
9	62,776	0,07	1,4,7,10,13,16-Hexaoxaciclooctadecano	0117455-13-9

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIX. **Composición química de la oleorresina obtenida a escala planta piloto de frutos de pimienta gorda procedentes de Dolores, Petén, por cromatografía GC-MS**

Núm.	Tiempo de retención (min)	% área	Componente químico	Número CAS
1	5,327	0,39	2-Butamina	000513-49-5
2	8,238	15,34	Alcohol etílico	000064-17-5
3	25,528	0,07	Amoniaco	007664-41-7
4	41,366	59,29	Propilenglicol	000057-55-6
5	25,541	0,25	D-Limoneno	005989-27-5
6	51,919	20,48	Eugenol	000097-53-0
7	56,841	0,60	Fenol, 4- (2-propenil) -	000501-92-8
8	78,360	0,25	1,4,7,10,13,16-Hexaoxaciclooctadecano	028564-83-2
9	46,906	0,99	Benceno, 1,2-dimetoxi-4- (2-propenilo)	000093-15-2

Fuente: elaboración propia.

Tabla XX. **Composición química de la oleorresina obtenida a escala planta piloto de frutos de pimienta gorda procedentes de San Luis, Petén, por cromatografía GC-MS**

Núm.	Tiempo de retención (min)	% Área	Componente químico	Número CAS
1	5,323	0,21	Óxido Nitroso	010024-97-2
2	8,652	55,14	Alcohol etílico	000064-17-5
3	11,486	0,81	Amoniaco	007664-41-7
4	32,628	0,11	1,6,10-Dodecatrien-3-01	040716-66-3
5	41,580	28,40	Propilenglicol	000057-55-6
6	56,663	0,11	1,4,7,10,13,16-Hexaoxaciclooctadecano	017455-13-9
7	51,919	11,78	Eugenol	000097-53-0
8	56,841	0,66	Fenol, 4- (2-propenil) -	000093-15-2
9	78,351	0,22	Octaetilenglicol monododecil éter	003055-98-9

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXI. **Composición química de la oleorresina obtenida a escala planta piloto de hojas de pimienta gorda procedentes de Santa María Cahabón, Alta Verapaz, por cromatografía GC-MS**

Núm.	Tiempo de retención (min)	% área	Componente químico	Número CAS
1	51,946	31,83	Eugenol	000097-53-0
2	54,816	0,04	1,4,7,10,13,16-Hexaoxaciclooctadecano	017455-13-9
3	56,850	0,59	Fenol, 4- (2-propenil) -	000093-15-2
4	62,795	0,21	Fenol, 2,6-dimetoxi-4- (2-propenilo)	006627-88-9
5	55,103	0,04	H-Piran-4	028564-83-2
6	46,920	1,01	Benceno, 1,2-dimetoxi-4- (2-propenilo)	000093-15-2
7	46,365	0,01	Propilenglicol	000057-55-6
8	32,646	0,09	Cariofileno	000087-44-5
9	29,813	0,09	1,5-Dimetil-1-vinil-4-hexenil butirato	000078-36-4
10	25,5144	0,16	Ácido acético	000064-19-7

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXII. **Composición química de la oleorresina obtenida a escala planta piloto de hojas de pimienta gorda procedentes de San Pedro Carcha, Alta Verapaz, por cromatografía GC-MS**

Núm.	Tiempo de retención (min)	% área	Componente químico	Número CAS
1	44,186	0,53	1-metoxi-3- (2-hidroxietil) nonano formamida	070928-44-8
2	8,007	72,74	Alcohol etílico	000064-17-5
3	11,486	8,26	Amoniaco	007664-41-7
4	51,501	0,65	1-Propanol	000071-23-8
5	25,501	1,00	Ácido acético	000064-19-7
6	51,501	5,09	Eugenol	000097-53-0
7	61,198	3,23	2-Furancarboxaldehído	000067-47-0
8	78,329	2,05	1,4,7,10,13,16-Hexaoxaciclooctadecano	028564-83-2
9	55,085	1,76	Propanamida	000758-96-3
10	51,501	0,65	1-Propanol	000071-23-8

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIII. **Composición química de la oleorresina obtenida a escala planta piloto de hojas de pimienta gorda procedentes de Campur, Alta Verapaz, por cromatografía GC-MS**

Núm.	Tiempo de retención (min)	% área	Componente químico	Número CAS
1	5,341	2,22	Dióxido de carbono	000124-38-9
2	8,652	80,62	Alcohol etílico	000064-17-5
3	11,486	4,66	Amoniaco	007664-41-7
4	32,615	0,65	1,6,10-Dodecatrien-3-ol	007212-44-4
5	25,505	0,83	Ácido Acético	000064-19-7
6	51,892	5,78	Eugenol	000097-53-0
7	44,182	0,39	1-Pentanol	004799-62-6
8	62,481	0,35	1,4,7,10,13,16-Hexaoxaciclooctadecano	017455-13-9
9	61,730	0,93	Octaetilenglicol monododecil éter	003055-98-9
10	55,085	1,02	Hidroxi-6-metil	000924-93-9

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIV. **Composición química de la oleorresina obtenida a escala planta piloto de frutos de pimienta gorda procedentes de Santa María Cahabón, Alta Verapaz, por cromatografía GC-MS**

Núm.	Tiempo de retención (min)	% área	Componente químico	Número CAS
1	51,905	4,49	Eugenol	000097-53-0
2	62,786	0,11	1,4,7,10,13,16-Hexaoxaciclooctadecano	017455-13-9
3	5,332	0,42	sec-butilamina	013952-84-6
4	56,841	0,28	Fenol, 2,6-dimetoxi-4- (2-propenilo)	006627-88-9
5	43,099	66,06	Propilenglicol	000057-55-6
6	8,238	23,87	Alcohol etílico	000064-17-5
7	25,500	0,17	Ácido acético	000064-19-7

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXV. **Composición química de la oleorresina obtenida a escala planta piloto de frutos de pimienta gorda procedentes de San Pedro Carcha, Alta Verapaz, por cromatografía GC-MS**

Núm.	Tiempo de retención (min)	% área	Componente químico	Número CAS
1	5,327	0,60	2-butileno	013952-84-6
2	8,239	35,24	Alcohol etílico	000064-17-5
3	11,718	5,22	Amoniaco	007664-41-7
4	43,122	51,85	Propilenglicol	000071-23-8
5	25,505	0,18	Ácido Acético	000064-19-7
6	51,910	6,39	Eugenol	000097-53-0
7	56,854	0,30	Fenol, 4-(2-propileno)	000501-92-8

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVI. **Composición química de la oleorresina obtenida a escala planta piloto del fruto de pimienta gorda procedentes de Campur, Alta Verapaz, por cromatografía GC-MS**

Núm.	Tiempo de retención (min)	% área	Componente químico	Número CAS
1	5,327	0,50	2- butanol	000513-49-5
2	8,239	19,14	Alcohol etílico	000064-17-5
3	11,718	5,25	Amoniaco	007664-41-7
5	25,501	0,15	Ácido acético	000064-19-7
6	51,910	8,13	Eugenol	000097-53-0
7	42,276	65,70	Propilenglicol	004799-62-6
8	62,781	0,10	1,4,7,10,13,16-Hexaoxaciclooctadecano	017455-13-9
9	56,845	0,41	Fenol, 4-(2-propileno)	000501-92-8
10	46,907	0,54	Benceno, 1,2-dimetoxi-4- (2-propenilo)	000093-15-2

Fuente: elaboración propia.

### 3.9. Análisis estadístico

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

#### 3.9.1. Supuestos del ANDEVA

Condiciones para realizar el análisis de varianza.

- Los términos del error son 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.

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

### 3.9.2. Proceso de análisis de varianza

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

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

- Encontrar estadístico tabulado: en tabla de F tabulada utilizando límite de confianza y grados de libertad.

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

### 3.9.3. Modelo estadístico

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

### 3.9.4. Media aritmética

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i = \frac{a_1 + a_2 + \dots + a_n}{n} \quad [\text{Ec. 4}]$$

Donde:

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

### 3.9.5. Desviación

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n |X_i - \bar{X}|^2}{n-1}} \quad [\text{Ec.5}]$$

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.
- $X_i=$  valor de cada observación.

Tabla XXVII. **Datos ANDEVA**

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

Fuente: elaboración propia.

Según los resultados de la prueba ANDEVA, respecto a las hipótesis establecidas comparando el valor P de la prueba F, obtenido a partir de un nivel de confianza del 95 %, si el valor obtenido es menor a 0,05 existe una diferencia significativa; 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 XXVIII. **Resumen estadístico para el rendimiento extractivo de la oleorresina de pimienta gorda, en función del nivel altitudinal**

Nivel altitudinal	Recuento	Promedio	Desviación estándar	Coefficiente de variación	Mínimo	Máximo
Campur (1475 msnm)	6	18,4471	7,02411	38,0771 %	9,8201	26,8656
Dolores(400 msnm)	6	15,3079	7,75451	50,6568 %	2,0578	22,388
Melchor de Mencos (75 msnm)	6	19,4351	7,06487	36,3511 %	9,82	26,8656
San Luis (575 msnm)	6	13,3105	10,7375	80,6688 %	3,8043	34,3284
San Pedro Carchá (1300 msnm)	6	16,3209	6,30338	38,6215 %	7,4626	23,8805
Santa María Cahabón (238 msnm)	6	18,1561	4,35582	23,9909 %	11,0595	24,6269
Total	36	16,8296	7,21832	42,8906 %	2,0578	34,3284

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIX. **ANOVA para el rendimiento extractivo de la oleorresina de pimienta gorda, en función del nivel altitudinal**

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	156,735	5	31,3469	0,56	0,7266
Intra grupos	1 666,91	30	55,5636		
Total (Corr.)	1 823,64	35			

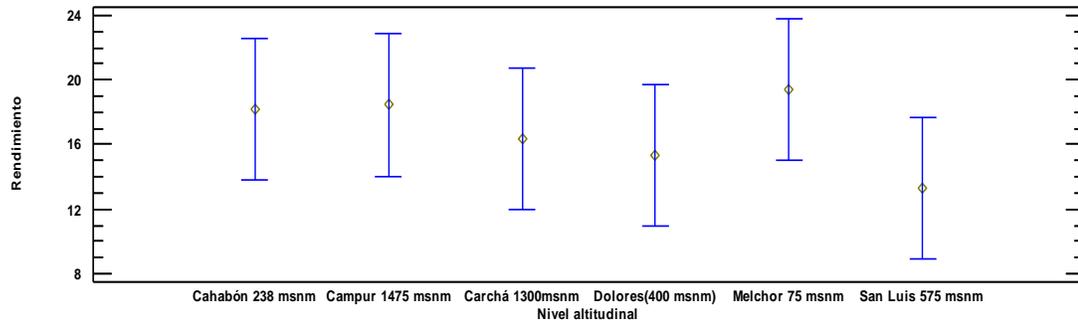
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXX. **Comparación entre niveles para el rendimiento extractivo de la oleoresina de pimienta gorda, en función del nivel altitudinal**

<b>Comparación</b>	<b>Sigma1</b>	<b>Sigma2</b>	<b>F-Ratio</b>	<b>P-Valor</b>
Campur (1475 msnm) / Dolores (400 msnm)	7,02411	7,75451	0,820491	0,8334
Campur (1475 msnm) / Melchor de Mencos (75msnm)	7,02411	7,06487	0,988494	0,9902
Campur (1475 msnm) / San Luis (575 msnm)	7,02411	10,7375	0,427936	0,3731
Campur (1475 msnm) / San Pedro Carchá (1300 msnm)	7,02411	6,30338	1,24176	0,8180
Campur (1475 msnm) / Santa María Cahabón (238 msnm)	7,02411	4,35582	2,60042	0,3177
Dolores (400 msnm) / Melchor de Mencos (75msnm)	7,75451	7,06487	1,20476	0,8430
Dolores (400 msnm) / San Luis (575 msnm)	7,75451	10,7375	0,521562	0,4922
Dolores (400 msnm) / San Pedro Carchá (1300 msnm)	7,75451	6,30338	1,51343	0,6604
Dolores (400 msnm) / Santa María Cahabón (238 msnm)	7,75451	4,35582	3,16935	0,2312
Melchor de Mencos (75msnm) / San Luis (575 msnm)	7,06487	10,7375	0,432918	0,3795
Melchor de Mencos (75msnm) / San Pedro Carchá (1300 msnm)	7,06487	6,30338	1,25621	0,8085
Melchor de Mencos (75msnm) / Santa María Cahabón (238 msnm)	7,06487	4,35582	2,63069	0,3120
San Luis (575 msnm) / San Pedro Carchá (1300 msnm)	10,7375	6,30338	2,90173	0,2672
San Luis (575 msnm) / Santa María Cahabón (238 msnm)	10,7375	4,35582	6,07665	0,0696
San Pedro Carchá (1300 msnm) / Santa María Cahabón (238 msnm)	6,30338	4,35582	2,09415	0,4365

Fuente: elaboración propia.

Figura 5. **Media y 95 % de Fisher LSD para el rendimiento extractivo de la oleorresina de pimienta gorda, analizado mediante su nivel altitudinal**



Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXI. **Resumen estadístico para el rendimiento extractivo de la oleorresina de pimienta gorda, en función de la sección vegetal**

Sección vegetal	Recuento	Promedio	Desviación estándar	Coficiente de variación	Mínimo	Máximo
Fruto	18	18,5882	7,58974	40,831 %	2,0578	34,3284
Hoja	18	15,0711	6,56661	43,5709 %	3,8043	25,3731
Total	36	16,8296	7,21832	42,8906 %	2,0578	34,3284

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXII. **ANOVA para el rendimiento extractivo de la oleorresina de pimienta gorda, en función de la sección vegetal**

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	111,329	1	111,329	2,21	0,1463
Intra grupos	1 712,31	34	50,3622		
Total (Corr.)	1 823,64	35			

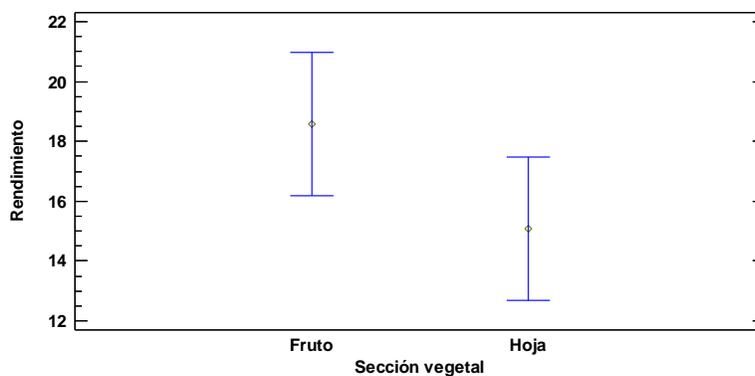
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXIII. **Comparación entre niveles para el rendimiento extractivo de la oleorresina de pimienta gorda, en función de la sección vegetal**

Comparación	Sigma1	Sigma2	F-Ratio	P-Valor
Fruto / Hoja	7,58974	6,56661	1,33589	0,5570

Fuente: elaboración propia.

Figura 6. **Media y 95 % de Fisher LSD para el rendimiento extractivo de la oleorresina de pimienta gorda, en función de la sección vegetal**



Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXIV. **Resumen estadístico para el rendimiento extractivo de la oleorresina de pimienta gorda, en función de procedencia**

Procedencia	Recuento	Promedio	Desviación estándar	Coefficiente de variación	Mínimo	Máximo
Alta Verapaz	18	17,6414	5,71976	32,4224 %	7,4626	26,8656
Petén	18	16,0179	8,55349	53,3997 %	2,0578	34,3284
Total	36	16,8296	7,21832	42,8906 %	2,0578	34,3284

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXV. **ANOVA para el rendimiento extractivo de la oleorresina de pimienta gorda, en función de procedencia**

Fuente	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	23,7215	1	23,7215	0,45	0,5078
Intra grupos	1799,92	34	52,9389		
Total (Corr.)	1823,64	35			

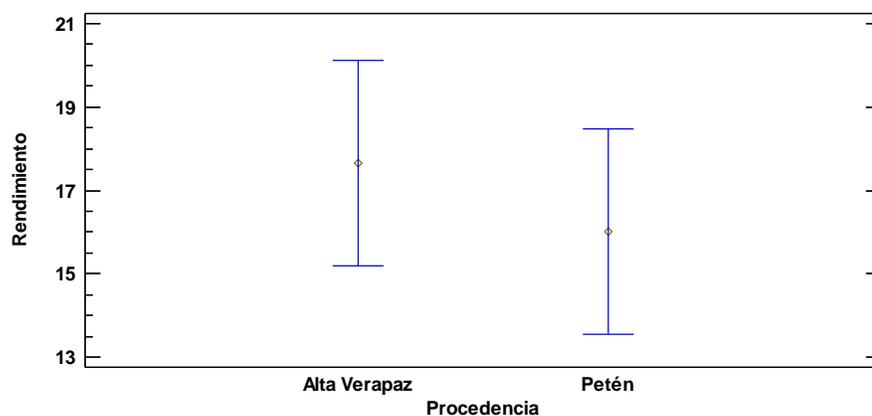
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVI. **Comparación entre niveles para el rendimiento extractivo de la oleorresina de pimienta gorda, en función de procedencia**

Comparación	Sigma1	Sigma2	F-Ratio	P-Valor
Alta Verapaz / Petén	5,71976	8,55349	0,447165	0,1065

Fuente: elaboración propia.

Figura 7. **Media y 95 % de Fisher LSD para el rendimiento extractivo de la oleorresina de pimienta gorda, en función de procedencia**



Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVII. **Resumen estadístico de la densidad de la oleorresina de pimienta gorda, en función de nivel altitudinal**

Nivel altitudinal	Recuento	Promedio	Desviación estándar	Coficiente de variación	Mínimo	Máximo
Cahabón 238 msnm	6	1,17185	0,0269417	2,29907 %	1,1224	1,1958
Campur 1475 msnm	6	1,19883	0,0552526	4,60889 %	1,1184	1,2868
Carchá 1300msnm	6	1,25194	0,120892	9,65639 %	1,14036	1,4549
Dolores(400 msnm)	6	1,12005	0,0386341	3,44931 %	1,0553	1,15418
Melchor 75 msnm	6	1,16538	0,0788376	6,76497 %	1,08587	1,31074
San Luis 575 msnm	6	1,17089	0,00642437	0,548675 %	1,1631	1,18027
Total	36	1,17982	0,0732182	6,20586 %	1,0553	1,4549

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVIII. **ANOVA para la densidad de la oleoresina de pimienta gorda, en función de altitudinal**

Fuente	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,0569177	5	0,0113835	2,61	0,0447
Intra grupos	0,130714	30	0,00435714		
Total (Corr.)	0,187632	35			

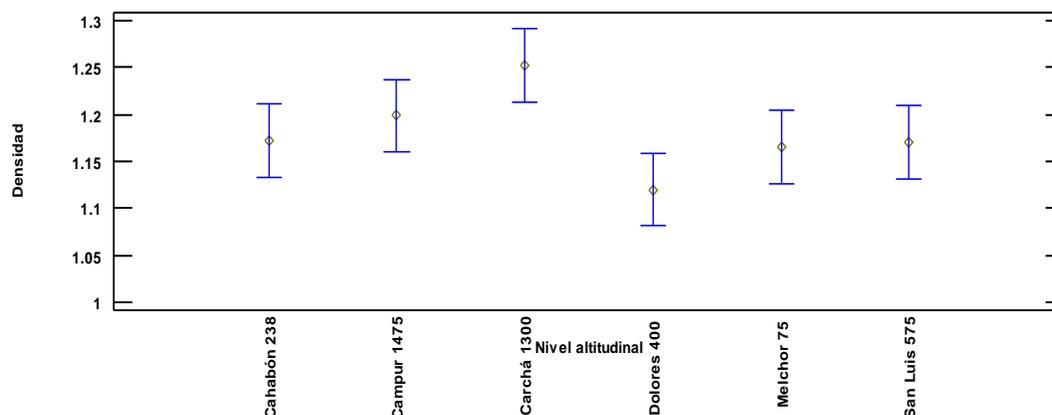
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXIX. **Comparación entre niveles para la densidad de la oleoresina de pimienta gorda, en función del nivel altitudinal**

Comparación	Sigma1	Sigma2	F-Ratio	P-Valor
Cahabón 238 msnm / Campur 1475 msnm	0,0269417	0,0552526	0,237763	0,1409
Cahabón 238 msnm / Carchá 1300msnm	0,0269417	0,120892	0,0496654	0,0050
Cahabón 238 msnm / Dolores(400 msnm)	0,0269417	0,0386341	0,486304	0,4477
Cahabón 238 msnm / Melchor 75 msnm	0,0269417	0,0788376	0,116784	0,0342
Cahabón 238 msnm / San Luis 575 msnm	0,0269417	0,00642437	17,5869	0,0069
Campur 1475 msnm / Carchá 1300msnm	0,0552526	0,120892	0,208886	0,1107
Campur 1475 msnm / Dolores(400 msnm)	0,0552526	0,0386341	2,04533	0,4510
Campur 1475 msnm / Melchor 75 msnm	0,0552526	0,0788376	0,491178	0,4539
Campur 1475 msnm / San Luis 575 msnm	0,0552526	0,00642437	73,9681	0,0002
Carchá 1300msnm / Dolores(400 msnm)	0,120892	0,0386341	9,7916	0,0256
Carchá 1300msnm / Melchor 75 msnm	0,120892	0,0788376	2,35142	0,3697
Carchá 1300msnm / San Luis 575 msnm	0,120892	0,00642437	354,107	0,0000
Dolores(400 msnm) / Melchor 75 msnm	0,0386341	0,0788376	0,240146	0,1435
Dolores(400 msnm) / San Luis 575 msnm	0,0386341	0,00642437	36,1644	0,0013
Melchor 75 msnm / San Luis 575 msnm	0,0788376	0,00642437	150,593	0,0000

Fuente: elaboración propia.

Figura 8. **Media y 95 % de Fisher LSD para la densidad de la oleorresina de pimienta gorda, en función del nivel altitudinal**



Fuente: elaboración propia.

Tabla XL. **Resumen estadístico de la densidad de la oleorresina de pimienta gorda, en función de la sección vegetal**

Sección vegetal	Recuento	Promedio	Desviación estándar	Coefficiente de variación	Mínimo	Máximo
Fruto	18	1,17285	0,0749671	6,3919 %	1,1073	1,4549
Hoja	18	1,1868	0,0728971	6,14231 %	1,0553	1,3429
Total	36	1,17982	0,0732182	6,20586 %	1,0553	1,4549

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLI. **ANOVA para la densidad de la oleorresina de pimienta gorda, en función de la sección vegetal**

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,00175298	1	0,00175298	0,32	0,5749
Intra grupos	0,185879	34	0,00546703		
Total (Corr.)	0,187632	35			

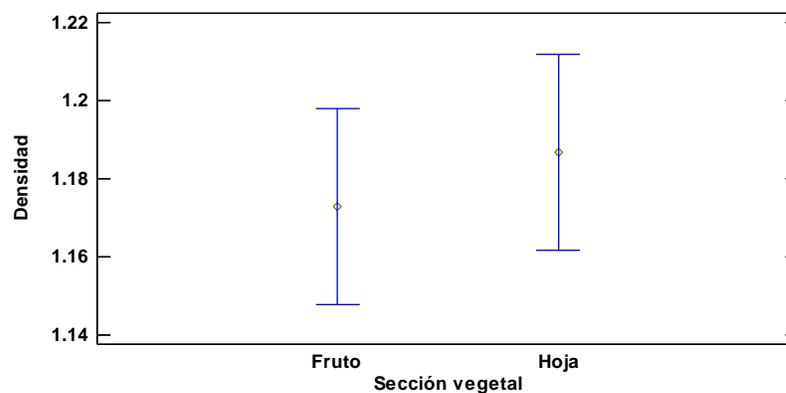
Fuente: elaboración propia.

Tabla XLII. **Comparación entre niveles para la densidad de la oleorresina de pimienta gorda, en función de la sección vegetal**

Comparación	Sigma1	Sigma2	F-Ratio	P-Valor
Fruto / Hoja	0,0749671	0,0728971	1,0576	0,9094

Fuente: elaboración propia.

Figura 9. **Media y 95 % de Fisher LSD para la densidad de la oleorresina de pimienta gorda, en función de la sección vegetal**



Fuente: elaboración propia.

Tabla XLIII. **Resumen estadístico de la densidad de la oleorresina de pimienta gorda, en función de procedencia**

Procedencia	Recuento	Promedio	Desviación estándar	Coefficiente de variación	Mínimo	Máximo
Alta Verapaz	18	1,20754	0,0811289	6,71853 %	1,1184	1,4549
Petén	18	1,15211	0,0531837	4,61621 %	1,0553	1,31074
Total	36	1,17982	0,0732182	6,20586 %	1,0553	1,4549

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLIV. **ANOVA para la densidad de la oleorresina de pimienta gorda, en función de procedencia**

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,0276551	1	0,0276551	5,88	0,0208
Intra grupos	0,159977	34	0,0047052		
Total (Corr.)	0,187632	35			

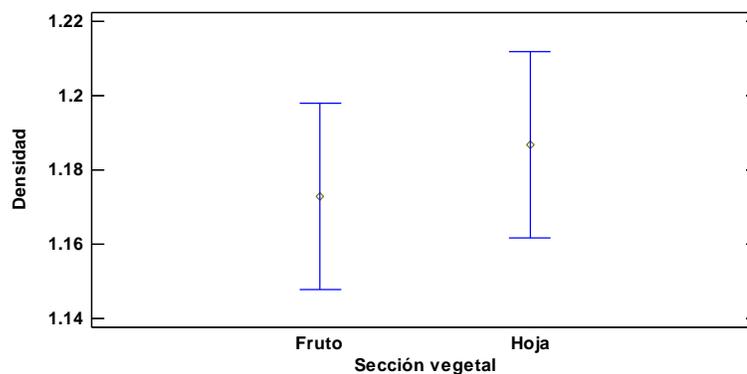
Fuente: elaboración propia.

Tabla XLV. **Comparación entre niveles para la densidad de la oleorresina de pimienta gorda, en función de procedencia**

Comparación	Sigma1	Sigma2	F-Ratio	P-Valor
Fruto / hoja	0,0749671	0,0728971	1,0576	0,9094

Fuente: elaboración propia.

Figura 10. **Media y 95 % de Fisher LSD para la densidad la oleorresina de pimienta gorda, en función de procedencia**



Fuente: elaboración propia.

Tabla XLVI. **Resumen estadístico de la composición química de la oleorresina de pimienta gorda, en función del nivel altitudinal**

Nivel altitudinal	Recuento	Promedio	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
Cahabón 238 msnm	6	5,545	8,10905	0,62	21,83
Campur 1475 msnm	6	3,80167	3,07737	0,34	8,13
Carchá 1300 msnm	6	3,70833	1,99834	1,27	6,39
Dolores(400 msnm)	6	9,73833	9,72284	0,47	20,48
Melchor 75 msnm	6	5,74833	5,84282	0,09	14,54
San Luis 575 msnm	6	6,36833	4,89648	0,56	11,78
Total	36	5,81833	6,10607	0,09	21,83

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLVII. **ANOVA para la composición química de la oleorresina de pimienta gorda, en función del nivel altitudinal**

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	145,605	5	29,1211	0,75	0,5901
Intra grupos	1159,34	30	38,6447		
Total (Corr.)	1304,95	35			

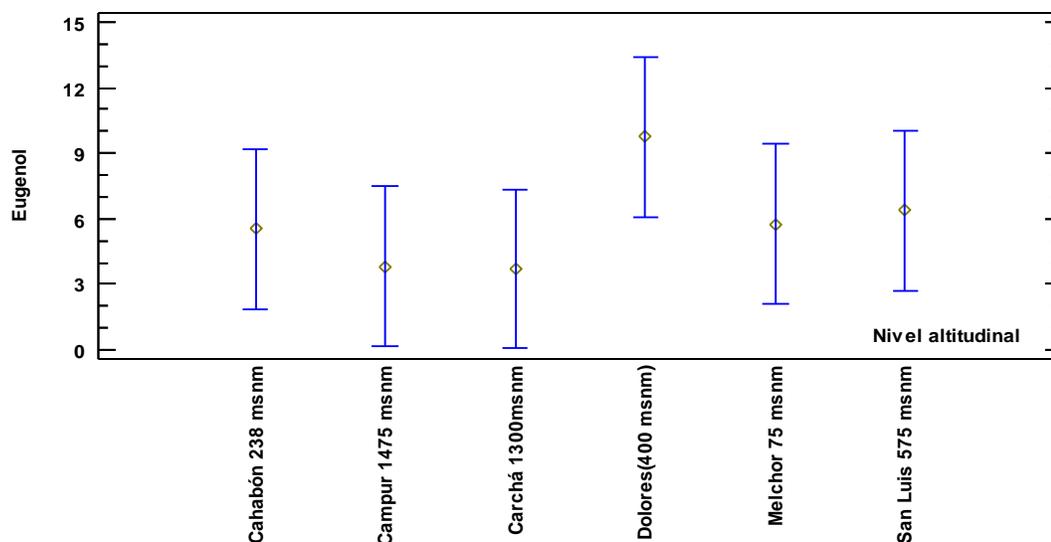
Fuente: elaboración propia.

Tabla XLVIII. **Comparación entre niveles para la composición química de la oleorresina de pimienta gorda, en función del nivel altitudinal**

Comparación	Sigma1	Sigma2	F-Ratio	P-Valor
Cahabón 238 msnm / Campur 1475 msnm	8,10905	3,07737	6,94352	0,0531
Cahabón 238 msnm / Carchá 1300msnm	8,10905	1,99834	16,4664	0,0080
Cahabón 238 msnm / Dolores (400 msnm)	8,10905	9,72284	0,69559	0,7001
Cahabón 238 msnm / Melchor 75 msnm	8,10905	5,84282	1,92617	0,4892
Cahabón 238 msnm / San Luis 575 msnm	8,10905	4,89648	2,74266	0,2924
Campur 1475 msnm / Carchá 1300msnm	3,07737	1,99834	2,37148	0,3651
Campur 1475 msnm / Dolores (400 msnm)	3,07737	9,72284	0,100178	0,0246
Campur 1475 msnm / Melchor 75 msnm	3,07737	5,84282	0,277405	0,1856
Campur 1475 msnm / San Luis 575 msnm	3,07737	4,89648	0,394996	0,3310
Carchá 1300msnm / Dolores (400 msnm)	1,99834	9,72284	0,0422429	0,0034
Carchá 1300msnm / Melchor 75 msnm	1,99834	5,84282	0,116976	0,0343
Carchá 1300msnm / San Luis 575 msnm	1,99834	4,89648	0,166561	0,0713
Dolores (400 msnm) / Melchor 75 msnm	9,72284	5,84282	2,76912	0,2880
Dolores (400 msnm) / San Luis 575 msnm	9,72284	4,89648	3,94293	0,1584
Melchor 75 msnm / San Luis 575 msnm	5,84282	4,89648	1,42389	0,7076

Fuente: elaboración propia.

Figura 11. **Media y 95 % de Fisher LSD para la composición química de la oleorresina de pimienta gorda, en función del nivel altitudinal**



Fuente: elaboración propia.

Tabla XLIX. **Resumen estadístico de la composición química de la oleorresina de pimienta gorda, en función de la sección vegetal**

Sección vegetal	Recuento	Promedio	Desviación estándar	Coefficiente de variación	Mínimo	Máximo
Fruto	18	8,36667	6,18209	73,8895 %	0,09	20,48
Hoja	18	3,27	4,97908	152,265 %	0,34	21,83
Total	36	5,81833	6,10607	104,945 %	0,09	21,83

Fuente: elaboración propia.

Tabla L. **ANOVA para la composición química de la oleorresina de pimienta gorda, en función de la sección vegetal**

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	233,784	1	233,784	7,42	0,0101
Intra grupos	1071,16	34	31,5047		
Total (Corr.)	1304,95	35			

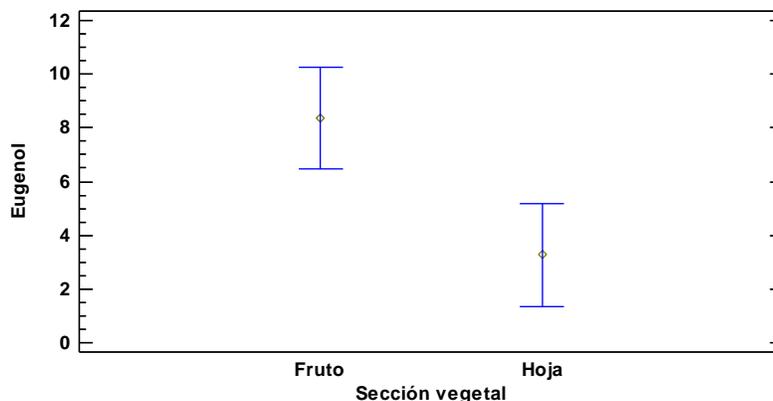
Fuente: elaboración propia.

Tabla LI. **Comparación entre niveles para la composición química de la oleorresina de pimienta gorda, en función de la sección vegetal**

Comparación	Sigma1	Sigma2	F-Ratio	P-Valor
Fruto / hoja	6,18209	4,97908	1,5416	0,3811

Fuente: elaboración propia.

Figura 12. **Media y 95 % de Fisher LSD para la composición química de la oleorresina de pimienta gorda, en función de la sección vegetal**



Fuente: elaboración propia.

Tabla LII. **Resumen estadístico de la composición química de la oleorresina de pimienta gorda, en función de procedencia**

Procedencia	Recuento	Promedio	Desviación estándar	Coefficiente de variación
Alta Verapaz	18	4,35167	4,90464	112,707 %
Petén	18	7,285	6,93907	95,2515 %
Total	36	5,81833	6,10607	104,945 %

Fuente: elaboración propia.

Tabla LIII. **ANOVA para la composición química de la oleorresina de pimienta gorda, en función de procedencia**

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	77,44	1	77,44	2,14	0,1522
Intra grupos	1227,51	34	36,1031		
Total (Corr.)	1304,95	35			

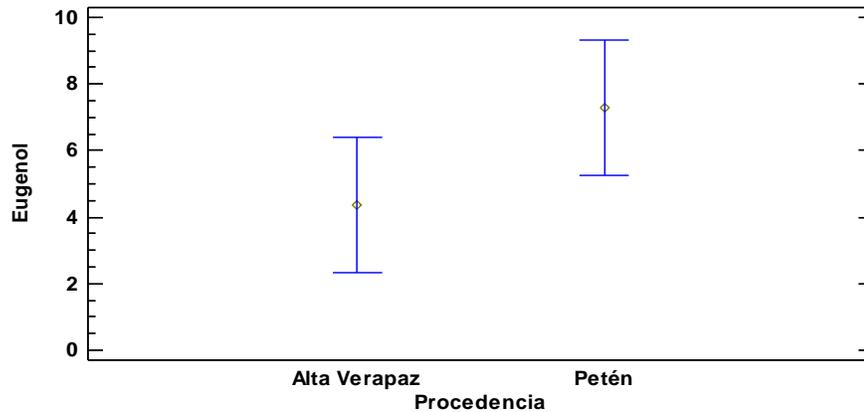
Fuente: elaboración propia.

Tabla LIV. **Comparación entre niveles para la composición química de la oleorresina de pimienta gorda, en función de procedencia**

Comparación	Sigma1	Sigma2	F-Ratio	P-Valor
Alta Verapaz / Petén	4,90464	6,93907	0,499588	0,1626

Fuente: elaboración propia.

Figura 13. **Media y 95 % de Fisher LSD para la composición química de la oleorresina de pimienta gorda, en función de procedencia**



Fuente: elaboración propia.

Tabla LV. **Resumen estadístico del índice de refracción la oleorresina de pimienta gorda, en función del nivel altitudinal**

Nivel altitudinal	Recuento	Promedio	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
Cahabón 238 msnm	6	1,44808	0,0236384	1,4054	1,4677
Campur 1475 msnm	6	1,4459	0,0381114	1,3833	1,4928
Carchá 1300msnm	6	1,44773	0,0371913	1,3853	1,4777
Dolores(400 msnm)	6	1,43803	0,0277222	1,3933	1,4687
Melchor 75 msnm	6	1,4586	0,00723878	1,4466	1,4636
San Luis 575 msnm	6	1,4628	0,0412556	1,3833	1,5048
Total	36	1,45019	0,0302492	1,3833	1,5048

Fuente: elaboración propia.

Tabla LVI. **ANOVA para el índice de refracción de la oleoresina de pimienta gorda, en función del nivel altitudinal**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,00243846	5	0,000487692	0,49	0,7777
Intra grupos	0,029587	30	0,000986233		
Total (Corr.)	0,0320254	35			

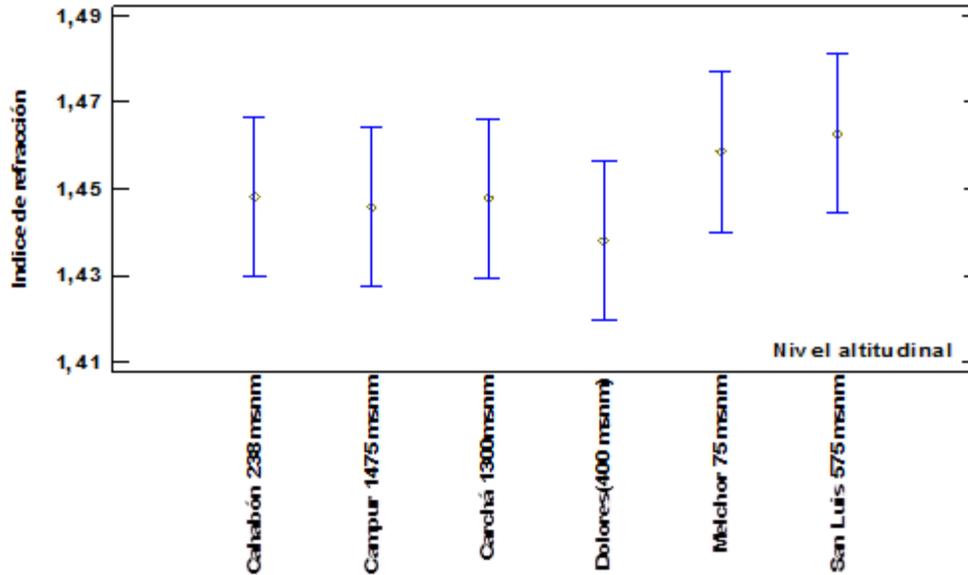
Fuente: elaboración propia.

Tabla LVII. **Comparación del índice de refracción de la oleoresina de pimienta gorda, en función del nivel altitudinal**

Comparación	Sigma1	Sigma2	F-Ratio	P-Valor
Cahabón 238 msnm / Campur 1475 msnm	0,0236384	0,0381114	0,384703	0,3179
Cahabón 238 msnm / Carchá 1300msnm	0,0236384	0,0371913	0,403973	0,3425
Cahabón 238 msnm / Dolores (400 msnm)	0,0236384	0,0277222	0,727075	0,7351
Cahabón 238 msnm / Melchor 75 msnm	0,0236384	0,00723878	10,6636	0,0213
Cahabón 238 msnm / San Luis 575 msnm	0,0236384	0,0412556	0,3283	0,2469
Campur 1475 msnm / Carchá 1300msnm	0,0381114	0,0371913	1,05009	0,9586
Campur 1475 msnm / Dolores (400 msnm)	0,0381114	0,0277222	1,88996	0,5017
Campur 1475 msnm / Melchor 75 msnm	0,0381114	0,00723878	27,7191	0,0024
Campur 1475 msnm / San Luis 575 msnm	0,0381114	0,0412556	0,853384	0,8661
Carchá 1300msnm / Dolores (400 msnm)	0,0371913	0,0277222	1,79981	0,5346
Carchá 1300msnm / Melchor 75 msnm	0,0371913	0,00723878	26,3969	0,0027
Carchá 1300msnm / San Luis 575 msnm	0,0371913	0,0412556	0,812677	0,8255
Dolores (400 msnm) / Melchor 75 msnm	0,0277222	0,00723878	14,6665	0,0104
Dolores (400 msnm) / San Luis 575 msnm	0,0277222	0,0412556	0,451535	0,4033
Melchor 75 msnm / San Luis 575 msnm	0,00723878	0,0412556	0,0307869	0,0016

Fuente: elaboración propia.

Figura 14. **Media y 95 % de Fisher LSD para el índice de refracción de la oleorresina de pimienta gorda, en función del nivel altitudinal**



Fuente: elaboración propia.

Tabla LVIII. **Resumen estadístico del índice de refracción la oleorresina de pimienta gorda, en función de la sección vegetal**

Sección vegetal	Recuento	Promedio	Desviación estándar	Coficiente de variación	Mínimo	Máximo
Fruto	18	1,45516	0,0200874	1,38042 %	1,4054	1,4777
Hoja	18	1,44522	0,0377896	2,6148 %	1,3833	1,5048
Total	36	1,45019	0,0302492	2,08587 %	1,3833	1,5048

Fuente: elaboración propia.

Tabla LIX. **ANOVA para el índice de refracción de la oleoresina de pimienta gorda, en función de la sección vegetal**

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,000888934	1	0,000888934	0,97	0,3315
Intra grupos	0,0311365	34	0,00091578		
Total (Corr.)	0,0320254	35			

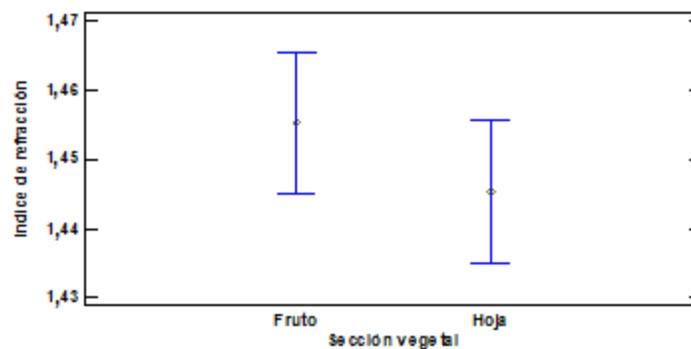
Fuente: elaboración propia.

Tabla LX. **Comparación entre niveles para el índice de refracción de la oleoresina de pimienta gorda, en función de la sección vegetal**

Comparación	Sigma1	Sigma2	F-Ratio	P-Valor
Fruto / Hoja	0,0200874	0,0377896	0,282554	0,0128

Fuente: elaboración propia.

Figura 15. **Media y 95 % de Fisher LSD para el índice de refracción de la oleoresina de pimienta gorda, en función de la sección vegetal**



Fuente: elaboración propia.

Tabla LXI. **Resumen estadístico del índice de refracción la oleorresina de pimienta gorda, en función de procedencia**

Procedencia	Recuento	Promedio	Desviación estándar	Coefficiente de variación	Mínimo	Máximo
Alta Verapaz	18	1,44724	0,0316123	2,18432 %	1,3833	1,4928
Petén	18	1,45314	0,0294286	2,02517 %	1,3833	1,5048
Total	36	1,45019	0,0302492	2,08587 %	1,3833	1,5048

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXII. **ANOVA para el índice de refracción de la oleorresina de pimienta gorda, en función de procedencia**

Fuente	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,000313939	1	0,000313939	0,34	0,5656
Intra grupos	0,0317115	34	0,000932691		
Total (Corr.)	0,0320254	35			

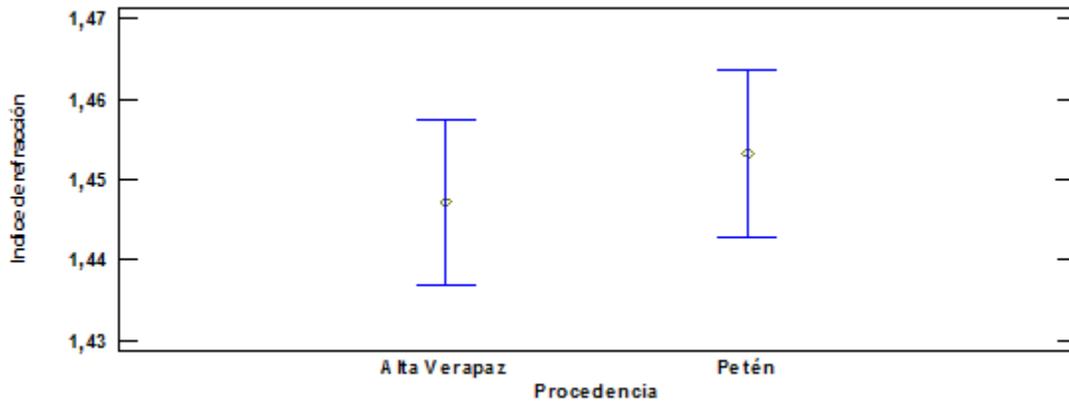
Fuente: elaboración propia.

Tabla LXIII. **Comparación entre niveles para el índice de refracción de la oleorresina de pimienta gorda, en función de la sección vegetal**

Comparación	Sigma1	Sigma2	F-Ratio	P-Valor
Alta Verapaz / Petén	0,0316123	0,0294286	1,15391	0,7713

Fuente: elaboración propia.

Figura 16. **Media y 95 % de Fisher LSD para el índice de refracción de la oleorresina de pimienta gorda, en función de procedencia**



Fuente: elaboración propia.



## 4. RESULTADOS

### 4.1. Determinación del rendimiento extractivo de oleorresina de pimienta gorda a partir de las hojas y sus frutos

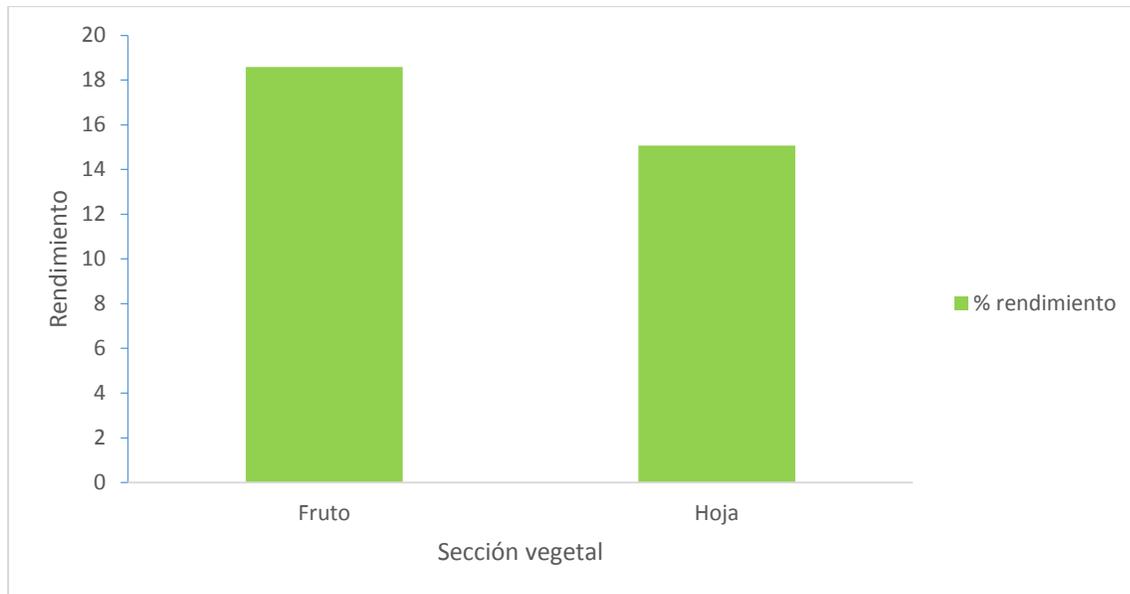
A continuación, se presenta el rendimiento extractivo de la pimienta gorda de acuerdo a su sección vegetal.

Tabla LXIV. **Rendimiento extractivo de la oleorresina de la pimienta gorda (*Pimenta dioica* (L.) Merrill), en función de la sección vegetal**

<b>Sección vegetal</b>	<b>Rendimiento (%)</b>
Fruto	18,5882 ± 7,58974
Hoja	15,0711 ± 6,56661

Fuente: elaboración propia.

Figura 17. **Rendimiento extractivo de la oleorresina de la pimienta gorda (*Pimenta dioica* (L.) Merrill), en función de la sección vegetal**



Fuente: elaboración propia.

#### **4.2. Evaluar el rendimiento extractivo de la oleorresina de pimienta gorda a partir de tres niveles altitudinales**

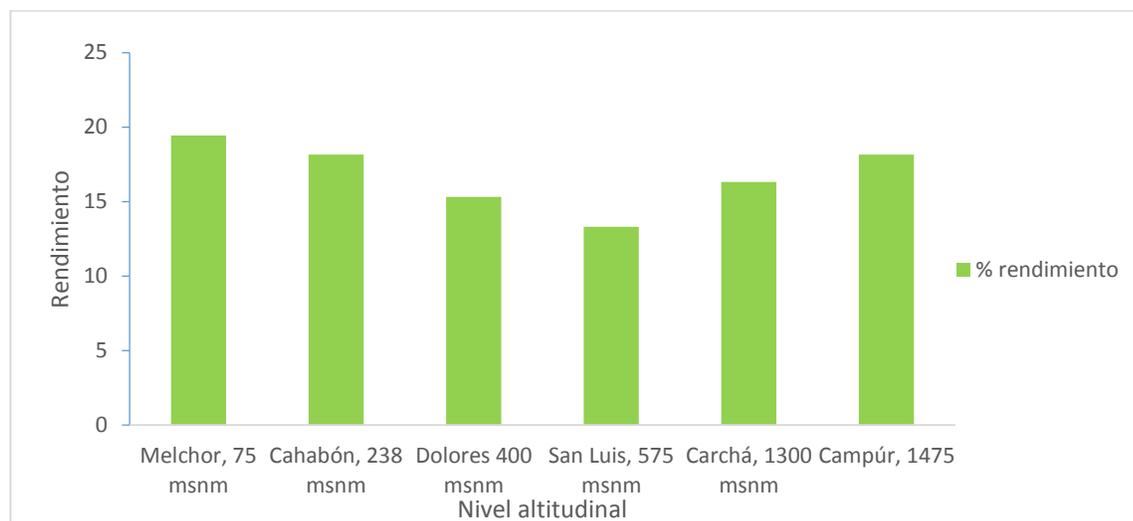
A continuación, se presenta el rendimiento extractivo de la pimienta gorda de acuerdo a su nivel altitudinal.

Tabla LXV. **Rendimiento extractivo de la oleorresina en función del nivel altitudinal**

Lugar de plantación	Msnm	Rendimiento (%)
Melchor de Mencos	75	19,4351 ± 7,04487
Santa María Cahabón	238	18,1561 ± 4,35582
Dolores	400	15,3079 ± 7,75451
San Luis	575	13,3105 ± 10,7375
San Pedro Carchá	1 300	16,3209 ± 6,30338
Campur	1 475	18,4471 ± 7,02411

Fuente: elaboración propia.

Figura 18. **Rendimiento extractivo de la oleorresina de pimienta gorda, en función de su nivel altitudinal**



Fuente: elaboración propia.

#### 4.3. **Evaluar el rendimiento extractivo de la oleorresina de la pimienta gorda a partir del área de procedencia, Petén y Alta Verapaz**

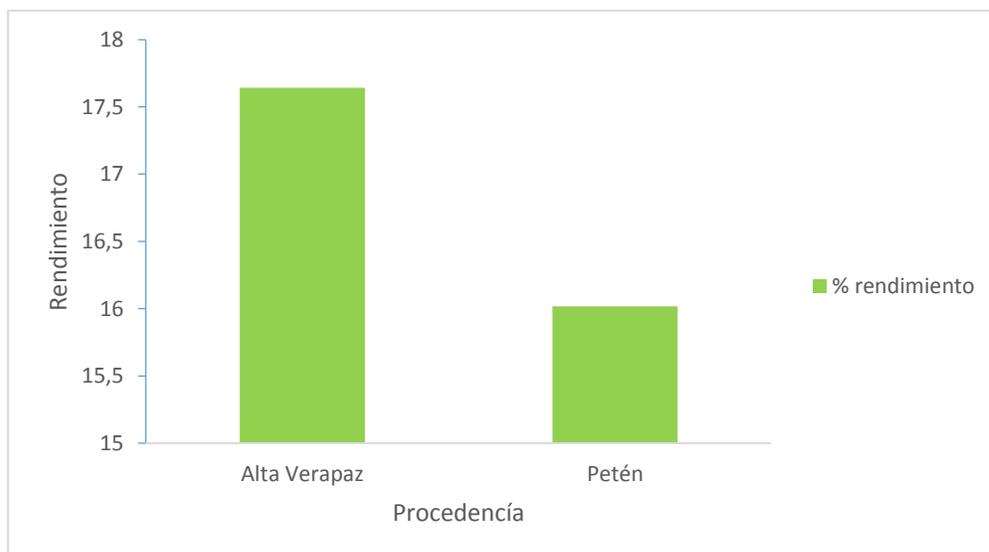
A continuación, se presenta el rendimiento extractivo de la pimienta gorda de acuerdo a su área de cultivación (departamental).

Tabla LXVI. **Rendimiento extractivo de la oleorresina en función de procedencia**

Procedencia	Rendimiento (%)
Alta Verapaz	17,6414 ± 5,71976
Petén	16,0179 ± 8,55349

Fuente: elaboración propia.

Figura 19. **Rendimiento extractivo de la oleorresina de pimienta gorda, en función de procedencia**



Fuente: elaboración propia.

#### 4.4. Determinación de la densidad de oleorresina de pimienta gorda a partir de su sección vegetal

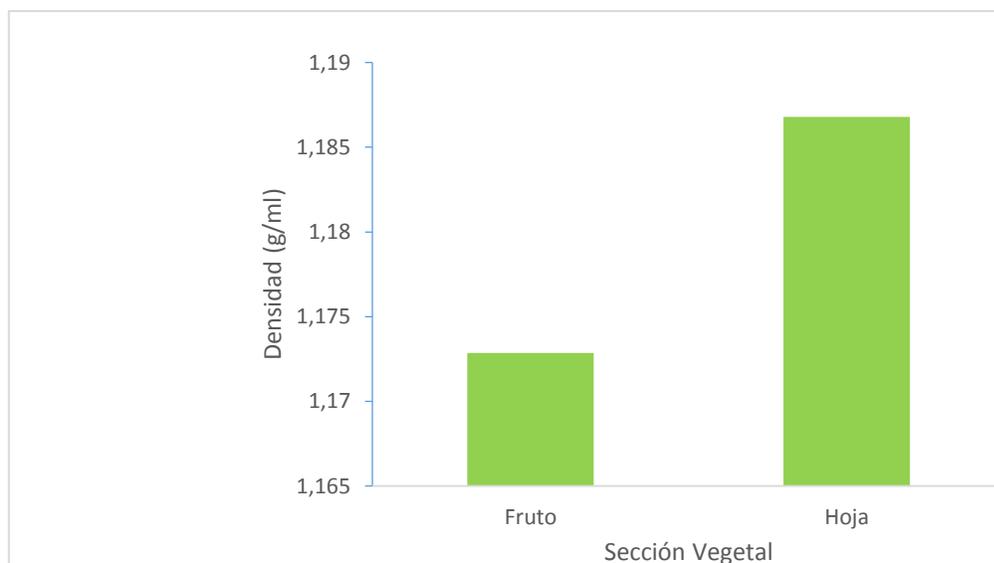
A continuación, se presenta la densidad de la pimienta gorda de acuerdo a su sección vegetal.

Tabla LXVII. Densidad de la oleorresina de pimienta gorda, en función de la sección vegetal

Sección vegetal	Densidad (g / ml)
Fruto	1,17285 ± 0,0749671
Hoja	1,18680 ± 0,0728971

Fuente: elaboración propia.

Figura 20. Densidad de la oleorresina de pimienta gorda en función de la sección vegetal



Fuente: elaboración propia.

**4.5. Evaluar la densidad de la oleoresina de pimienta gorda a partir de tres niveles altitudinales**

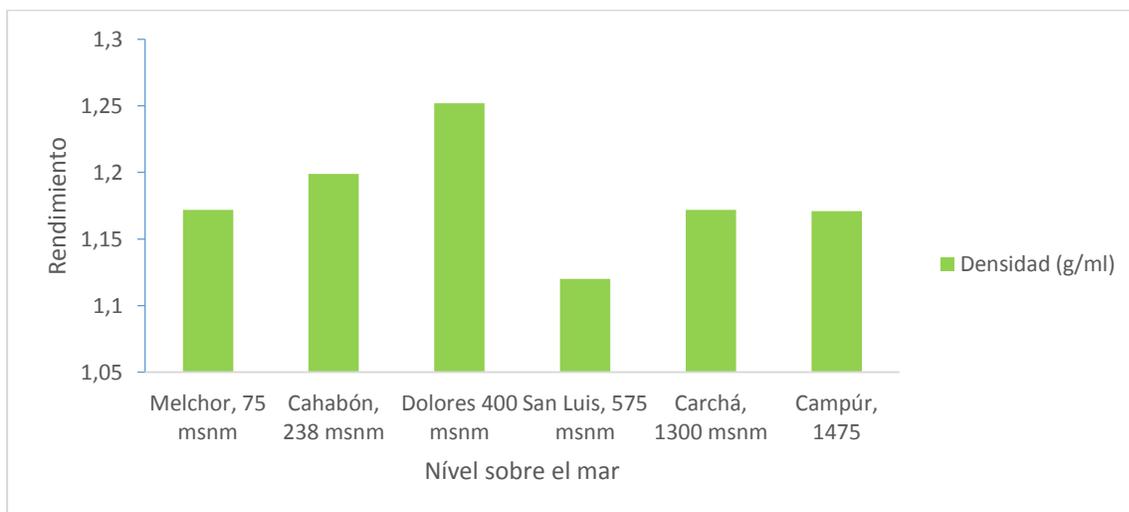
A continuación, se presenta la densidad de la pimienta gorda de acuerdo a su nivel altitudinal.

Tabla LXVIII. **Densidad de la oleoresina en función del nivel altitudinal**

Lugar de plantación	Msnm	Densidad (g/ml)
Melchor de Mencos	75	1,17185 ± 0,00642437
Santa María Cahabón	238	1,17185 ± 0,0269417
Dolores	400	1,12005 ± 0,0386341
San Luis	575	1,17089 ± 0,00642437
San Pedro Carchá	1 300	1,25194 ± 0,120892
Campur	1 475	1,19883 ± 0,052526

Fuente: elaboración propia.

Figura 21. **Densidad de la oleoresina de pimienta gorda, en función del nivel altitudinal**



Fuente: elaboración propia.

#### 4.6. Evaluar la densidad de la oleoresina de la pimienta gorda a partir del área de procedencia, Petén y Alta Verapaz

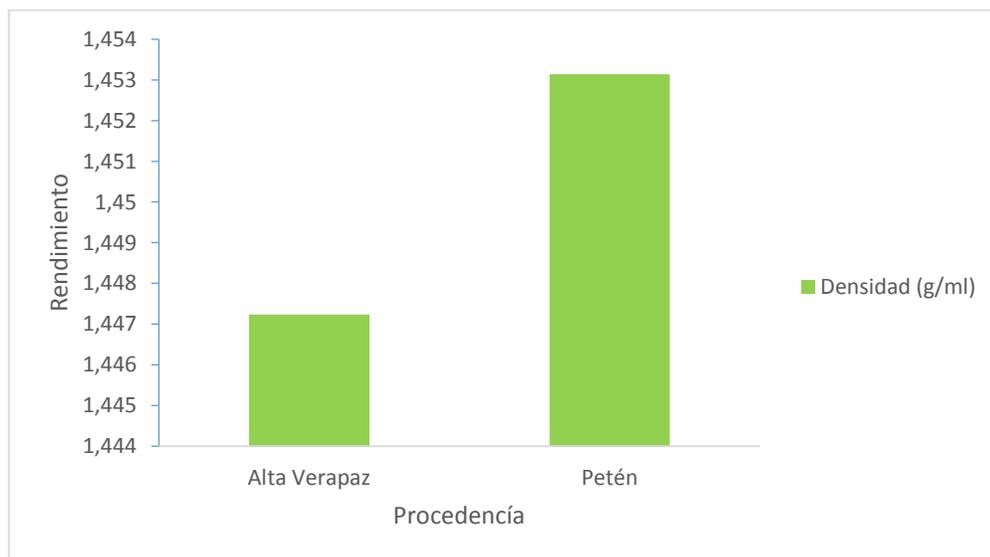
A continuación, se presenta el rendimiento extractivo de la pimienta gorda de acuerdo a su área de cultivación (departamental).

Tabla LXIX. Densidad de la oleoresina en función de procedencia

Procedencia	Densidad (g/ml)
Alta Verapaz	1,44724 ± 0,0316123
Petén	1,45314 ± 0,0294286

Fuente: elaboración propia.

Figura 22. Densidad de la oleoresina de pimienta gorda, en función de procedencia



Fuente: elaboración propia.

#### 4.7. Determinación del Índice de refracción de oleorresina de pimienta gorda a partir de la sección vegetal

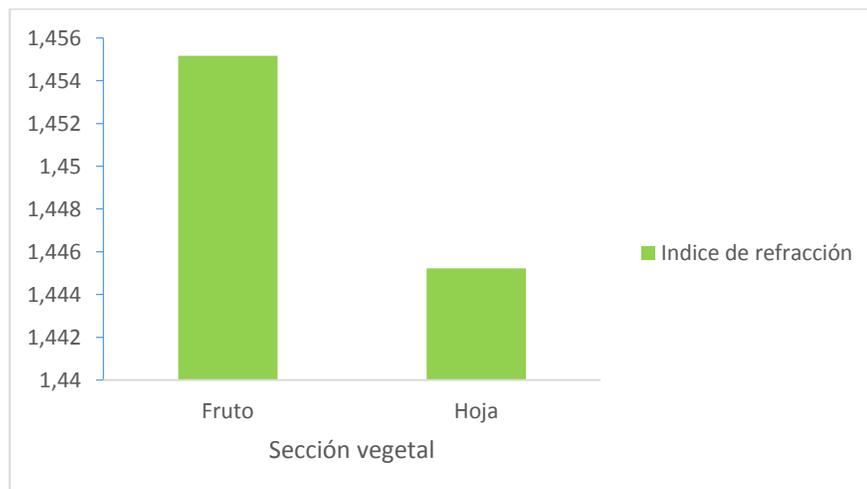
A continuación, se presenta el índice de refracción de la pimienta gorda de acuerdo a su sección vegetal.

Tabla LXX. Índice de refracción de la oleorresina de la pimienta gorda (*Pimenta dioica* (L.) Merrill), en función de la sección vegetal

Sección vegetal	Adimensional
Fruto	1,45516 ± 0,0200874
Hoja	1,44522 ± 0,0377896

Fuente: elaboración propia.

Figura 23. Índice de refracción de la oleorresina de la pimienta gorda (*Pimenta dioica* (L.) Merrill), en función de la sección vegetal



Fuente: elaboración propia.

#### 4.8. Índice de refracción de la oleoresina de pimienta gorda a partir de tres niveles altitudinales

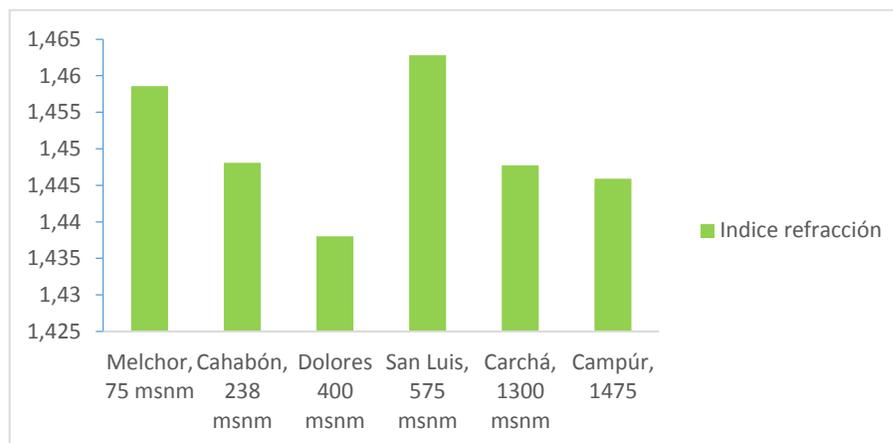
A continuación, se presenta el índice de refracción de la pimienta gorda de acuerdo a su nivel altitudinal.

Tabla LXXI. Índice de refracción de la oleoresina de pimienta gorda en función del nivel altitudinal

Lugar de plantación	msnm	Adimensional
Melchor de Mencos	75	1,4586 ± 0,0072387
Santa María Cahabón	238	1,44808 ± 0,0236384
Dolores	400	1,43803 ± 0,027722
San Luis	575	1,4628 ± 0,0412556
San Pedro Carchá	1 300	1,44773 ± 0,0371913
Campur	1 475	1,4459 ± 0,038114

Fuente: elaboración propia.

Figura 24. Índice de refracción de la oleoresina de pimienta gorda, en función del nivel altitudinal



Fuente: elaboración propia.

#### 4.9. Índice de refracción de la oleoresina de la pimienta gorda a partir del área de procedencia, Petén y Alta Verapaz

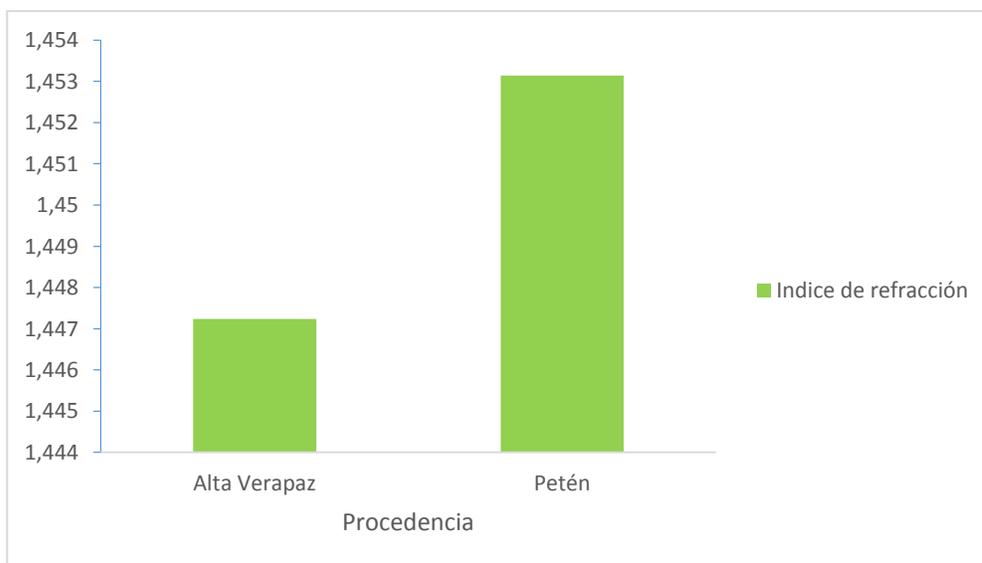
A continuación, se presenta el índice de refracción de la pimienta gorda de acuerdo a su área de cultivación (departamental).

Tabla LXXII. Índice de refracción e la oleoresina de pimienta gorda, en función de procedencia

Procedencia	Rendimiento (%)
Alta Verapaz	1,44724 ± 0,0316123
Petén	1,45314 ± 0,0294286

Fuente: elaboración propia.

Figura 25. Índice de refracción de la oleoresina de pimienta gorda, en función de procedencia



Fuente: elaboración propia.

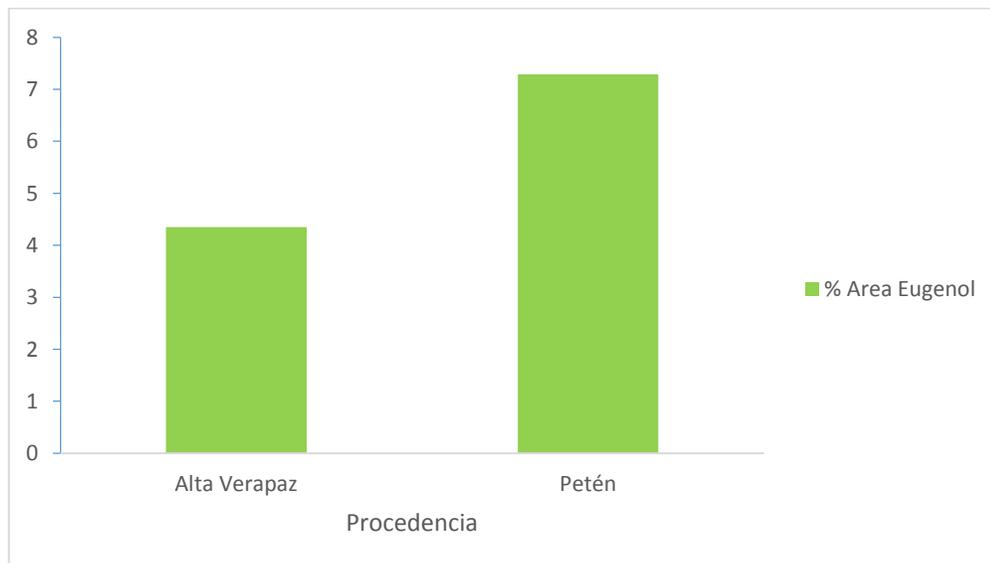
**4.10. Contenido de eugenol de la oleorresina de la pimienta gorda a partir del área de procedencia, Petén y Alta Verapaz**

**Tabla LXXIII. Contenido de eugenol en las hojas y frutos de la pimienta gorda (*Pimenta dioica* (L.) Merrill), en función de procedencia**

<b>Procedencia</b>	<b>Contenido de eugenol (% área)</b>
Alta Verapaz	4,35167 ± 4,9046
Petén	7,2850 ± 6,10607

Fuente: elaboración propia.

**Figura 26. Contenido de eugenol en las hojas y frutos de la pimienta gorda (*Pimenta dioica* (L.) Merrill), en función de procedencia**



Fuente: elaboración propia.

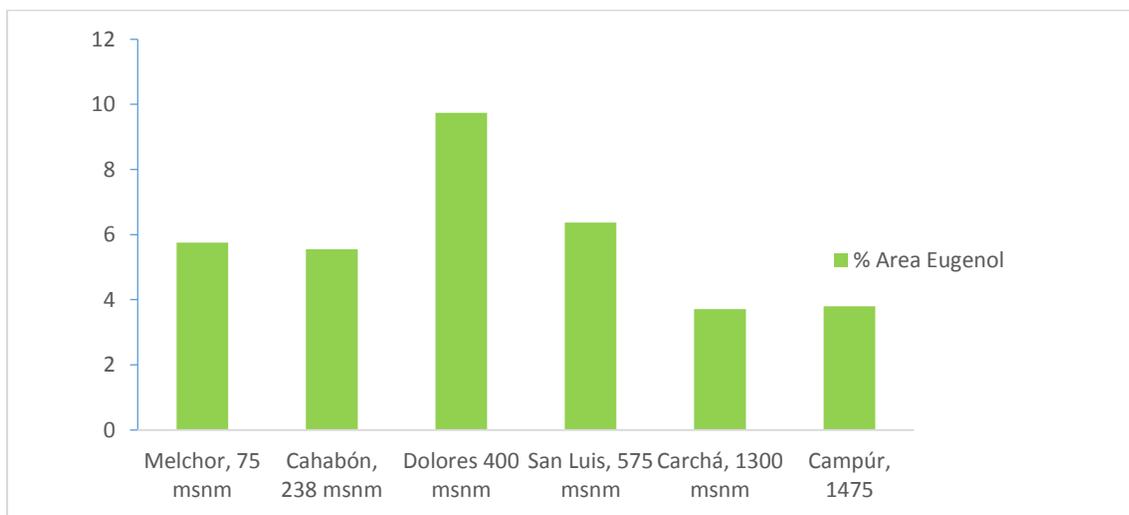
**4.11. Contenido de eugenol de la oleoresina de la pimienta gorda a partir del nivel altitudinal**

**Tabla LXXIV. Contenido de eugenol en las hojas y frutos de la pimienta gorda (*Pimenta dioica* (L.) Merrill), en función del nivel altitudinal**

Lugar de plantación	msnm	Contenido de eugenol (% área)
Melchor de Mencos	75	5,74833 ± 6,10607
Santa María Cahabón	238	5,545 ± 8,10905
Dolores	400	9,73833 ± 9,72284
San Luis	575	6,36833 ± 4,89648
San Pedro Carchá	1 300	3,70833 ± 1,99834
Campur	1 475	3,80167 ± 3,07737

Fuente: elaboración propia.

**Figura 27. Contenido de eugenol en las hojas y frutos de la pimienta gorda (*Pimenta dioica* (L.) Merrill), en función del nivel altitudinal**



Fuente: elaboración propia.

#### 4.12. Contenido de eugenol de la oleorresina de la pimienta gorda a partir de la sección vegetal

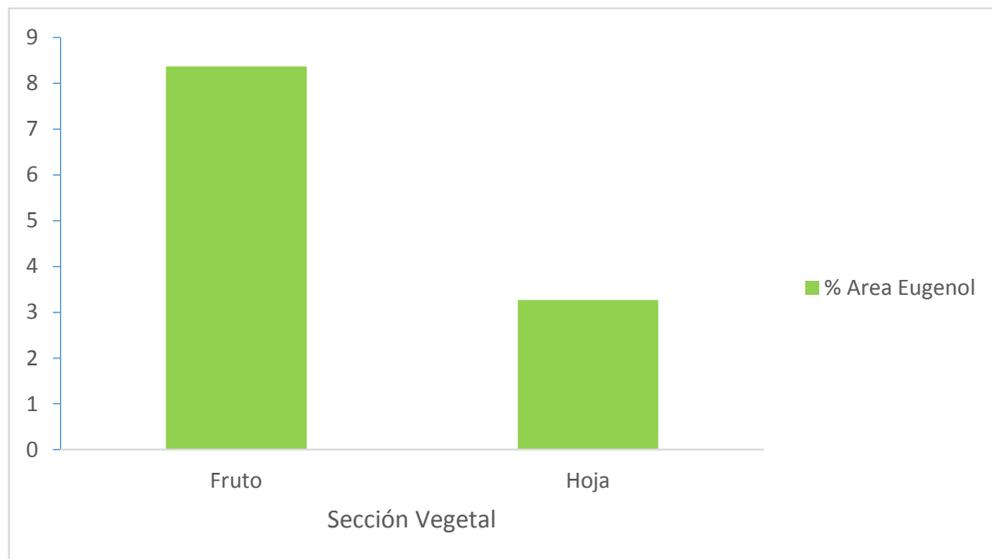
A continuación, se presenta el contenido de eugenol de la pimienta gorda de acuerdo a su parte extractiva.

Tabla LXXV. **Contenido de eugenol de la oleorresina de pimienta gorda, en función de la sección vegetal**

Procedencia	Área (%)
Hojas	3,270 ± 4,97908
Frutos	8,3667 ± 6,18209

Fuente: elaboración propia.

Figura 28. **Contenido de eugenol de la oleorresina de pimienta gorda, en función de la sección vegetal**



Fuente: elaboración propia.



## 5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En el presente trabajo de graduación se llevó a cabo la obtención y evaluación de rendimiento extractivo y caracterización fisicoquímica de la oleorresina de pimienta gorda (*Pimenta dioica* (L) Merrill), obtenida por medio de maceración dinámica de cuatro horas, con solvente extractivo etanol a un porcentaje del 95 %, con relación materia prima-solvente extractivo de 1:15 y concentración en marmita de evaporación, a escala planta piloto. La evaluación es en función de los factores, procedencia de materia prima, Alta Verapaz y Petén, así como tres diferentes niveles altitudinales en cada región de procedencia y la sección vegetal, hojas y frutos.

Para la realización de la obtención de oleorresina se garantizó que los frutos y las hojas de pimienta gorda se encontraran por debajo del 10 % de humedad, siguiente; se redujo el tamaño de partícula de las hojas y frutos por medio de la operación de molienda, por medio de un molino de cuchillas esto con el fin de liberar las partes grasas y aceites esenciales de las secciones vegetales; esto también ayuda al aumento de área de contacto con el solvente extractivo al momento de realizar la maceración dinámica.

La obtención de la oleorresina para dicho trabajo de graduación, se realizó en la Universidad de San Carlos de Guatemala, en la Facultad de Ingeniería, en las instalaciones del Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, LIEXVE, Sección de Química Industrial, específicamente en la planta piloto, en dichas instalaciones se cuenta con el equipo necesario para desarrollar dicho proyecto; se colocó 1,33 kg de materia prima, previamente molida en 20 litros de etanol, al 95 %, en la marmita de agitación durante 4 horas, al finalizar se

descargaba el extracto etanolico por un mesh No. 15, para retirar partículas muy grandes; luego se filtraba por medio de un sistema a vacío a escala planta piloto, al obtener el extracto etanolico ya filtrado, se cargaba en la marmita de concentración, hasta obtener la mayor cantidad de destilado posible. Al finalizar dicha operación se obtenía la oleorresina de pimienta gorda, esta muestra se pasaba a un rotaevaporador para aumentar la concentración de la misma y así retirar por completo el solvente extractivo.

En la tabla LXII, se observa los resultados del rendimiento extractivo de oleorresina de pimienta gorda, en función de la sección vegetal, hojas y frutos; sus valores medios con su respectiva desviación representan un mayor rendimiento extractivo en la sección vegetal de frutos.

Se realizó un análisis de varianza ANOVA para determinar si existe diferencia estadísticamente significativa entre las secciones vegetales de hojas y frutos para obtener oleorresina de pimienta gorda; el análisis de varianza ANOVA descompone la varianza de rendimiento en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 2,21057, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la razón-F es mayor o igual que 0,05; no existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de rendimiento en función de la sección vegetal, con un nivel del 95,0 % de confianza.

Se realizó la prueba de varianza, ANOVA; este descompone la varianza de rendimiento en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 0.564162, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la razón-F es mayor o igual que 0,05; no

existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de rendimiento entre un nivel de nivel altitudinal y otro, con un nivel del 95,0 % de confianza.

En la tabla LXV de resultados, se representa el rendimiento medio con su desviación respectiva, en función de lugar de procedencia, Alta Verapaz y Petén, donde se observa que tiene un rendimiento medio mayor el departamento de Alta Verapaz y un menor rendimiento medio en Petén; las desviaciones que se representan indican que existen datos muy similares dentro de todas las muestras analizadas; en el análisis de varianza no indica que la razón-F, que en este caso es igual a 0,448092, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la razón-F es mayor o igual que 0,05; no existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de rendimiento entre un nivel de procedencia y otro, con un nivel del 95,0 % de confianza.

En la tabla LXVI se muestra la densidad de la oleoresina de pimienta gorda, a 20 °C, estas obtenidas para su sección vegetal; los datos de densidad son valores de medias con su desviación estándar correspondientes; se observa que los datos son muy similares y que la desviación estándar es mínima; estos resultados se pueden observar en la figura No.16 de diagrama de barras.

Por medio de un análisis estadístico ANOVA, se determina que la razón-F, que en este caso es igual a 0,320645, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la razón-F es mayor o igual que 0,05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de densidad en función de la sección vegetal, con un nivel del 95,0 % de confianza.

En la tabla XXXVII, se representa el análisis estadístico de varianza, en función del nivel altitudinal; sus desviaciones estándar tienen diferencia entre las medias de la muestra, puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0,05; existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de densidad en función del nivel altitudinal, con un nivel del 95,0 % de confianza.

Para el análisis de la densidad en función de procedencia (Petén y Alta Verapaz), la tabla LXVIII muestra el resumen estadístico de los datos obtenidos de las densidades, en la cual se pueden observar desviaciones estándar; también, sus valores medios, puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0,05; existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de densidad en función del nivel de procedencia y otro; con un nivel del 95,0 % de confianza; esto puede apreciarse e interpretarse de una mejor manera en la figura No. 6 la cual contiene en sí la media y 95 % de Fisher (LSD), la cual indica la diferencia significativa.

En la tabla XIII se encuentran tabulados los índices de refracción de la oleorresina de todas las localidades separados por la sección vegetal de hojas y de frutos, el cual permite comparar el ángulo de refracción de la luz a una longitud específica, puesto que el valor-P de la razón-F es mayor o igual que 0,05; no existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de Índice de refracción en función de la sección vegetal, con un nivel del 95,0 % de confianza.

Conociendo así también que el valor-P de la razón-F es mayor o igual que 0,05; no existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de índice de refracción en función del nivel altitudinal, con un nivel del 95,0 % de confianza, esto con relación a la tabla LVII y LVIII.

En el análisis estadístico de ANOVA para el índice de refracción en función de la procedencia se sabe que el valor-P de la razón-F es mayor o igual que 0,05; no existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de índice de refracción en función de procedencia, con un nivel del 95,0 % de confianza. Esto en relación con la tabla LX y LXI.

En la tabla XIV a la tabla XXV, se encuentran tabulados los compuestos químicos obtenidos para cada muestra de oleoresina analizada; los componentes principales encontrados es el eugenol, compuesto activo de la pimienta gorda; cabe recalcar que para todas las muestras se encontró este componente, el cual era la molécula que se esperaba encontrar; además de este componente se encontraron otros: alcohol etílico, ácido acético, propilenglicol, entre otros; es importante enfatizar que el propilenglicol se encuentra en la muestra, ya que este se utilizó para desnaturalizar el alcohol etílico con el cual se realizó la extracción; otro componente que aparece en las cromatografías es el limoneno, este es el que le da un olor característico a la oleoresina de cítrico.

El eugenol es el componente activo de la pimienta gorda el cual según las tablas ya mencionadas se encuentra en proporciones de áreas variadas, pero sin faltar en ninguna muestra; esta área se encuentra en función del tiempo de cada cromatografía; en la mayoría de dichos análisis el tiempo de retención para el eugenol ronda entre los 50 y los 52 min que muestra diferentes porcentajes de áreas para cada localidad.

En la tabla ya mencionada de la sección de resultados se observan las diferencias que entre el tiempo con más área de contenido de eugenol, que se obtuvo, el cual fue para el municipio localizado en el nivel altitudinal de: Cahabón, Alta Verapaz con 238 msnm esto para frutos; sin embargo, es

necesario respaldar los datos por medio un análisis estadístico denominado ANOVA el cual indica que el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos.

Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de eugenol en función de la sección vegetal, con un nivel del 95,0 % de confianza.

Para el análisis en función de su procedencia, puesto que el valor-P de la razón-F es mayor o igual que 0.05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de eugenol en función de procedencia, con un nivel del 95,0 % de confianza.

Para el análisis en función a su nivel altitudinal, la razón-F, que en este caso es igual a 0,75356, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la razón-F es mayor o igual que 0,05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de eugenol en función del nivel altitudinal, con un nivel del 95,0 % de confianza.

## CONCLUSIONES

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

6. No existe un cambio estadísticamente significativo en las propiedades fisicoquímicas de oleorresina de la pimienta gorda (*Pimenta dioica* (L.) Merrill), a escala planta piloto, en función del lugar de cultivo: Alta Verapaz o Petén.
7. Sí existe un cambio significativo en el contenido de eugenol de la oleorresina de la pimienta gorda (*Pimenta dioica* (L.) Merrill), a escala planta piloto, en función de la sección vegetal, frutos y hojas.
8. La mayor cantidad de rendimiento extractivo se obtuvo de la sección vegetal de frutos de pimienta gorda, con un promedio de 18,5882 %.

## RECOMENDACIONES

1. Realizar estudios de investigación para la extracción de oleorresina de pimienta gorda (*Pimenta dioica* (L.) Merrill), en función del grueso del tronco.
2. Determinar el rendimiento extractivo de oleorresina de pimienta gorda (*Pimenta dioica* (L.) Merrill), en función de diferentes tipos de concentraciones de etanol como solvente extractivo.
3. Determinar el rendimiento extractivo de la oleorresina de pimienta gorda (*Pimenta dioica* (L.) Merrill), en función de diferentes tipos de solvente extractivos, polar y dipolar.
4. Realizar un estudio de rendimiento extractivo de la oleorresina de pimienta gorda (*Pimenta dioica* (L.) Merrill), en diferentes regiones del país de Guatemala: norte, sur, este y oeste.
5. Realizar estudios de investigación para la extracción de la oleorresina de pimienta gorda (*Pimenta dioica* (L.) Merrill), en función del tipo de maceración para extracción: dinámica y estática.
6. Realizar estudios de investigación para la extracción de la oleorresina de pimienta gorda (*Pimenta dioica* (L.) Merrill), en función del tamaño de partícula, de molienda de la sección vegetal a extraer.



## BIBLIOGRAFÍA

1. CANO, Telma; CHÁVEZ, Blanca; GODÍNEZ, Jorge; MONZÓN, David. *Obtención y caracterización del aceite esencial y oleorresina de la pimienta negra (piper nigrum L.) cultivada en Guatemala, Una alternativa de desarrollo agroindustrial para el agricultor guatemalteco*. Trabajo de graduación de Ing. Agrónomo. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía, 2002. 402 p.
2. *Caracterización general del recurso forestal no maderable pimienta (Pimenta dioica)*. Guatemala: Santillana, 2003. 104 p.
3. Centro de Comercio Internacional UNCTAD-GATT. *Los mercados de algunos aceites esenciales y oleorresinas*. Suiza: Mgraw Hill, 1974. 95 p.
4. CONAFOR (Comisión Nacional Forestal, MX). *Programa nacional de reforestación: ficha técnica de especies forestales estratégicas*. [En línea]. <<http://www.conafor.gob.mx/pronare/Fichas%20Tecnicas/Pimenta%20dioica.pdf>>. [Consulta: 1 de marzo de 2003].
5. GASPAR, Armando. *Determinación de las especificaciones químicas de la pimienta dioica (pimienta gorda) de 15 comunidades de la Sierra Totonaca bajo la norma NMX-FF-063-1987*. México: Universidad Veracruzana, 2011. 84 p.

6. GOULD, K. *Estudio del aprovechamiento y estructura poblacional de la pimienta (Pimenta dioica (L), Merrill) para promover una empresa ecológica en Uaxactún, Flores, Petén*. Guatemala: Fundación Conservación Internacional, 1978. 22 p.
7. GUENTHER, Ernest. *The essential oils*. Estados Unidos: Van Nostrand Company Inc., 1948. 188 p.
8. HEATH, Henry B. *Source book of flavors*. Estados Unidos: The AVI Publishing Company Inc., 1981. 205 p.
9. KIRK, Raymond; OTHMER, Donald. *Encyclopaedia of chemical technology*. Estados Unidos: Ed. Interscience Publishers, 1964. 131 p.
10. LÓPEZ LOBOS, Anabella C. *Estudio de factibilidad de una planta de extracción de aceite esencial y oleorresina de pimienta gorda, pimienta dioica*. Guatemala: Universidad Rafael Landívar, 2003. 540 p.
11. LÓPEZ, M. *Diagnóstico de la extracción de pimienta (Pimenta dioica (L.), Merrill) en la Reserva de Biosfera Maya (Casos: Uaxactún, Carmelita y Yaxjá)*. Tesis Ingeniería Agroindustrial. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 93 p.
12. MCVAUGH, R. *Flora of Guatemala*. Estados Unidos: Chicago Natural History Museum, 2006. 385 p.

13. ORELLANA, Edwin. *Situación actual del cultivo de pimienta gorda (Pimenta Officinallis) en el departamento de Alta Verapaz*. Tesis inédita. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1979. 232 p.
14. ORTIZ GARCIA, María José. *Evaluación del rendimiento y caracterización fisicoquímica de oleorresina de chile chamborote (Capsicum annum spp.) proveniente de tres regiones de Guatemala, utilizando maceración dinámica con reflujo a nivel laboratorio en función del tiempo de extracción*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2012. 167 p.
15. PERRY, Robert. *Manual del ingeniero químico*. 6<sup>a</sup> ed. México: McGraw Hill, 1992. 194 p.
16. PINTAURO, Nicholas. *Food aditives to extend shelf life*. Estados Unidos: Noyes Data Corporation. 1974. 603 p.
17. ROSENGARTEN, Frederic Jr. *The book of spices*. Estados Unidos: Livingston Publishing Company, 1969. 204 p.
18. SARA VIA CANO, Edwin José. *Evaluación del rendimiento extractivo, contenido de  $\alpha$ -pineno y tiempo óptimo de extracción del aceite esencial de ciprés (Cupressus lusitánica mill), obtenido de hojas, ramillas y frutos mediante hidrodestilación a nivel de laboratorio*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2013. 314 p.

19. SNELL, Leslie; ETTRE, K. *Encyclopaedia of industrial chemical analysis*. Estados Unidos: Interscience Publishers, 1971. 84 p.
20. TREYBAL, Robert E. *Operaciones de transferencia de masa*. 2a ed. México: 1988. 821 p.

## APÉNDICES

Apéndice 1. **Planta piloto para la extracción de oleoresina de pimienta gorda (*Pimenta dioica* (L.) Merrill), del Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, CII, Usac**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. **Marmita con agitación, para maceración dinámica para extracción de oleorresina en Laboratorio de Investigación de extractos vegetales, LIEXVE**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. **Marmita de concentración, para eliminación de etanol en la extracción de oleorresina de pimienta gorda, a escala planta piloto, en el Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, LIEXVE**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4. **Secado de materia prima (hojas) para la extracción de la oleorresina de pimienta gorda (*Pimenta dioica* (L.) Merrill)**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 5. **Secado de materia prima (frutos) para la extracción de oleorresina de pimienta gorda (*Pimenta dioica* (L.) Merrill)**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 6. **Extracto etanólico para obtener oleorresina de pimienta gorda (*Pimenta dioica* (L.) Merrill)**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 7. **Filtración del extracto etanólico para oleorresina de pimienta gorda (*Pimenta dioica* (L.) Merrill), por medio de una bomba de vacío a escala planta piloto**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 8. **Cromatógrafo para caracterización fisicoquímica de la oleorresina de pimienta gorda (*Pimenta dioica* (L.) Merrill), por medio de una bomba de vacío a escala planta piloto**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 9. **Rotaevaporador para concentrar muestra final de oleorresina de pimienta gorda (*Pimenta dioica* (L.) Merrill), a escala planta piloto**



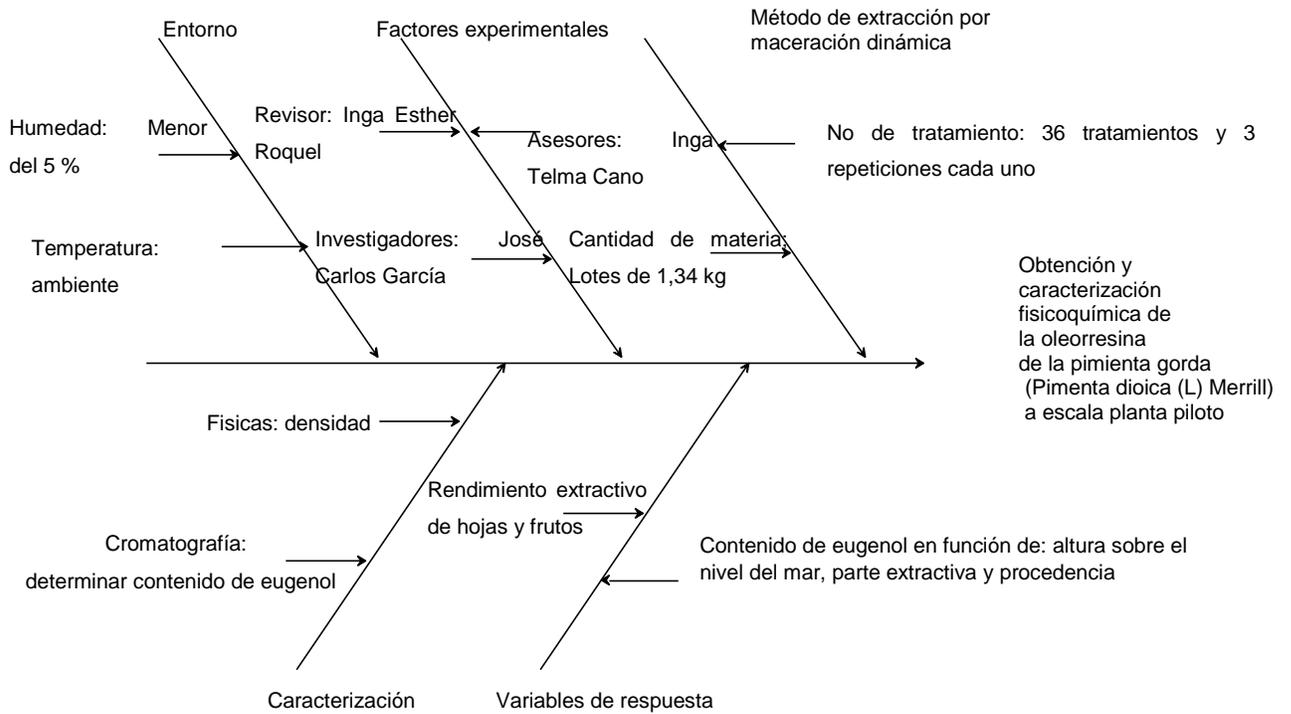
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 10. **Trasporte de materia prima pimienta gorda (*Pimenta dioica* (L.) Merrill), desde Alta Verapaz hacia el Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales**



Fuente: elaboración propia.

## Apéndice 11. Diagrama de Ishikawa



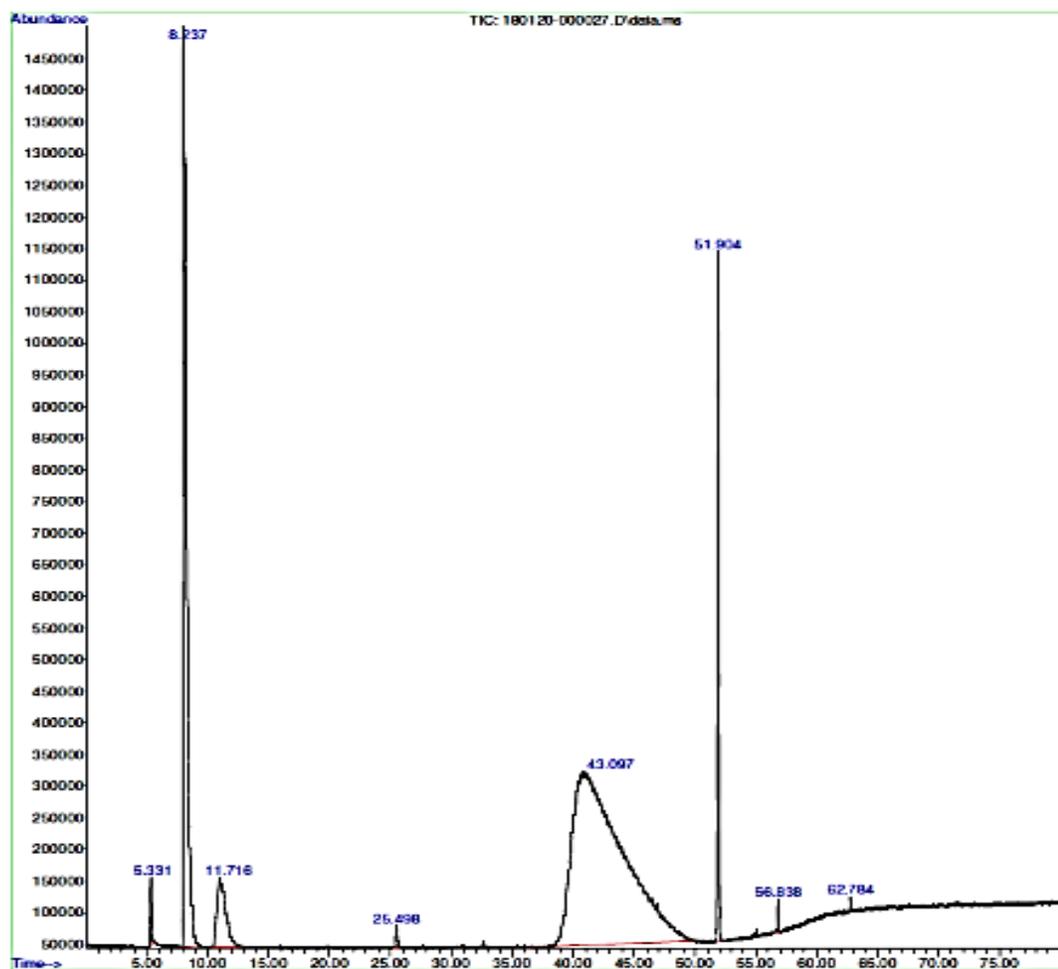
Fuente: elaboración propia.



## ANEXOS

### Anexo 1. Cromatografía de gases con acoplamiento a espectrometría de masas GC-MS para extracto de frutos, Cahabón, Alta Verapaz

File :C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\USAC\pinienta gorda enero 2018\18  
--- 0120-000027.D  
Operator : Adem  
Instrument : GC-MSD  
Acquired : 21 Jan 2018 3:37 using AcqMethod ACETES ESENCIALES MCS DB-WAX SCAN 2.M  
Sample Name: Cahabon Fruto  
Misc Info : 4 horas R3



Continuación del anexo 1.

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\USAC\pimienta gorda enero 2018\  
 Data File : 180120-000027.D  
 Title :  
 Acq On : 21 Jan 2018 3:37  
 Operator : AdEM  
 Sample : Cahabon Fruto  
 Misc : 4 horas R3  
 ALS Vial : 27 Sample Multiplier: 1

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

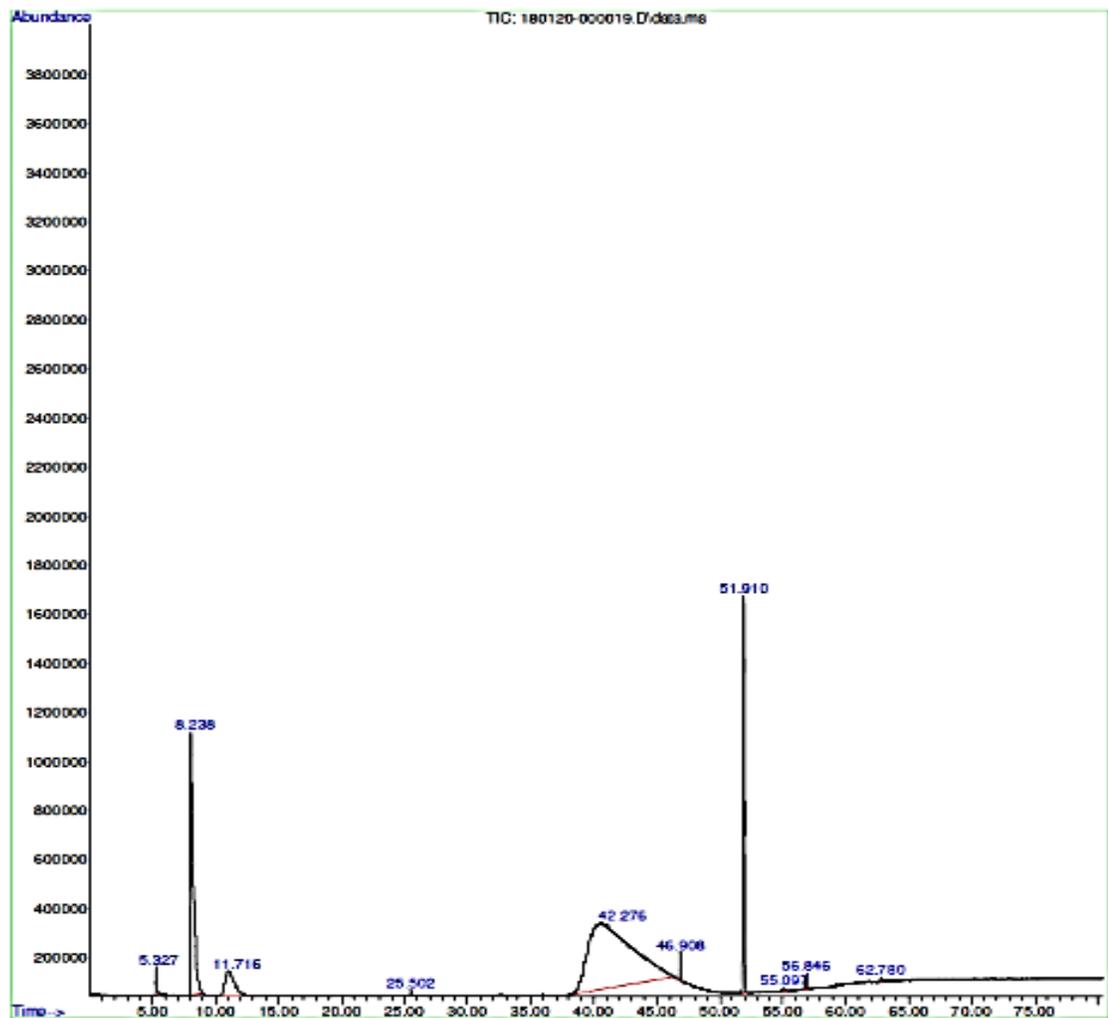
Unknown Spectrum: Apex  
 Integration Events: ChemStation Integrator - autoint1.e

PK#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
1	5.332	0.42	C:\Database\NIST05a.L			
			sec-Butylamine	738	013952-84-6	5
			sec-Butylamine	737	013952-84-6	4
			2-Pentanamine	1876	000625-30-9	4
2	8.238	23.87	C:\Database\NIST05a.L			
			Ethyl alcohol	95	000064-17-5	91
			Ethyl alcohol	94	000064-17-5	91
			Ethyl alcohol	93	000064-17-5	56
3	11.718	4.61	C:\Database\NIST05a.L			
			Ammonia	6	007664-41-7	3
			Water	7	007732-18-5	1
4	25.500	0.17	C:\Database\NIST05a.L			
			Acetic acid	254	000064-19-7	87
			Acetic acid	258	000064-19-7	87
			Acetic acid	255	000064-19-7	80
5	43.099	66.06	C:\Database\NIST05a.L			
			Propylene Glycol	916	000057-55-6	91
			Propylene Glycol	915	000057-55-6	91
			R-(-)-1,2-propanediol	926	004254-14-2	87
6	51.905	4.49	C:\Database\NIST05a.L			
			Eugenol	31714	000097-53-0	98
			Eugenol	31716	000097-53-0	97
			Phenol, 2-methoxy-4-(1-propenyl)-, (E)-	31883	005932-68-3	96
7	56.841	0.28	C:\Database\NIST05a.L			
			Phenol, 4-(2-propenyl)-	14802	000501-92-8	95
			Phenol, 4-(2-propenyl)-	14803	000501-92-8	86
			Benzaldehyde, 2,5-dimethyl-	14828	005779-94-2	55
8	62.786	0.11	C:\Database\NIST05a.L			
			15-Crown-5	70735	033100-27-5	62
			1,4,7,10,13,16-Hexaoxacyclooctadecane	100938	017455-13-9	62
			15-Crown-5	70736	033100-27-5	58

Fuente: Instituto de Investigaciones, CIB/Departamento de Química, LIQA/UVG. Fecha: 14 de septiembre de 2016.

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

File :C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\USAC\pimienta gorda enero 2018\18  
... 0120-000019.D  
Operator : ADEM  
Instrument : GC-MSD  
Acquired : 20 Jan 2018 16:03 using AcqMethod ACEITES ESENCIALES MCS DB-WAX SCAN 2.M  
Sample Name: Campur Fruto  
Misc Info : 4 horas R1



Continuación del anexo 2.

LIQA Library Search Report

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\USAC\pimienta gorda enero 2018\  
 Data File : 180120-000019.D  
 Title :  
 Acq On : 20 Jan 2018 16:03  
 Operator : AdeM  
 Sample : Campur Fruto  
 Misc : 4 horas RI  
 ALS Vial : 19 Sample Multiplier: 1

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

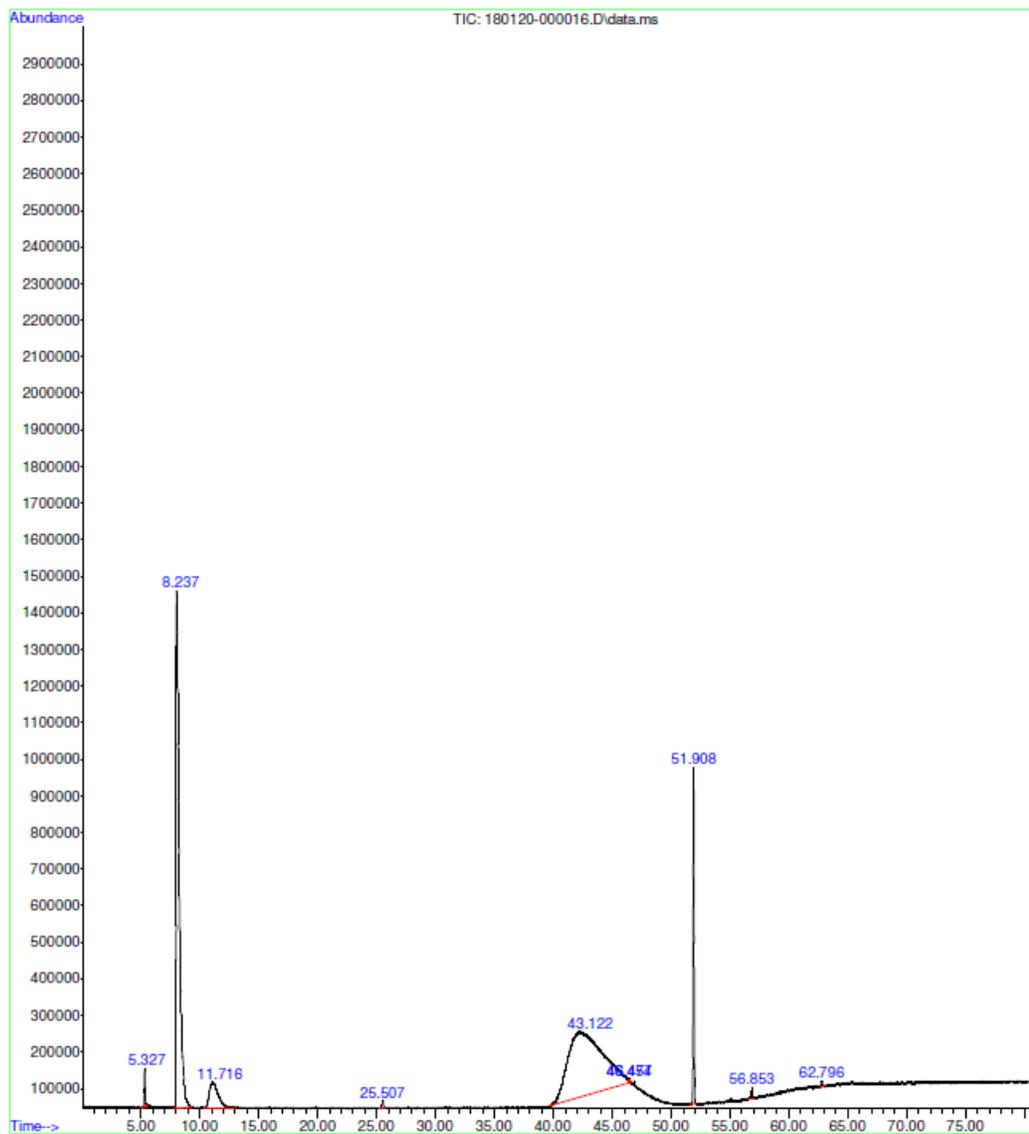
Unknown Spectrum: Apex  
 Integration Events: ChemStation Integrator - autoint1.e

k#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
1	5.327	0.50	C:\Database\NIST05a.L 2-Butanamine, (S)- sec-Butylamine sec-Butylamine	740 738 739	000513-49-5 013952-84-6 013952-84-6	7 5 5
2	8.239	19.14	C:\Database\NIST05a.L Ethyl alcohol Ethyl alcohol Ethyl alcohol	95 94 93	000064-17-5 000064-17-5 000064-17-5	91 91 59
3	11.718	5.25	C:\Database\NIST05a.L Ammonia Water	6 7	007664-41-7 007732-18-5	3 1
4	25.501	0.15	C:\Database\NIST05a.L Acetic acid Acetic acid Acetic acid	258 257 254	000064-19-7 000064-19-7 000064-19-7	64 59 58
5	42.276	65.70	C:\Database\NIST05a.L Propylene Glycol Propylene Glycol R-(-)-1,2-propanediol	916 917 926	000057-55-6 000057-55-6 004254-14-2	91 91 87
6	46.907	0.54	C:\Database\NIST05a.L Benzene, 1,2-dimethoxy-4-(2-propenyl)- Benzene, 1,2-dimethoxy-4-(2-propenyl)- Benzene, 1,2-dimethoxy-4-(2-propenyl)-	41492 41487 41486	000093-15-2 000093-15-2 000093-15-2	95 95 90
7	51.910	8.13	C:\Database\NIST05a.L Eugenol 3-Allyl-6-methoxyphenol Eugenol	31714 31757 31715	000097-53-0 000501-19-9 000097-53-0	98 97 96
8	55.099	0.08	C:\Database\NIST05a.L 4H-Pyran-4-one, 2,3-dihydro-3,5-dihydroxy-6-methyl- 4H-Pyran-4-one, 2,3-dihydro-3,5-dihydroxy-6-methyl- Ethanol, 2-[2-(2-ethoxyethoxy)ethoxy]-	19887 19886 42058	028564-83-2 028564-83-2 000112-50-5	43 43 35
9	56.845	0.41	C:\Database\NIST05a.L Phenol, 4-(2-propenyl)- Phenol, 4-(2-propenyl)- Benzaldehyde, 4-ethyl-	14802 14803 14797	000501-92-8 000501-92-8 004748-78-1	95 94 64
10	62.781	0.10	C:\Database\NIST05a.L 1,4,7,10,13,16-Hexaoxacyclooctadecane 15-Crown-5 Ethanol, 2-[2-(2-ethoxyethoxy)ethoxy]-	100938 70735 42057	017455-13-9 033100-27-5 000112-50-5	68 62 59

Fuente: Instituto de Investigaciones, CIB/Departamento de Química, LIQA/UVG. Fecha: 16 de septiembre de 2016.

Anexo 3. **Cromatografía de gases con acoplamiento a espectrometría de masas GC-MS para extracto de frutos, Carchá, Alta Verapaz**

File :C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\USAC\pimienta gorda enero 2018\18  
... 0120-000016.D  
Operator : AdeM  
Instrument : GC-MSD  
Acquired : 20 Jan 2018 11:42 using AcqMethod ACEITES ESENCIALES MCS DB-WAX SCAN 2.M  
Sample Name: Carcha Fruto  
Misc Info : 4 horas R1



Continuación del anexo 3.

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\USAC\pimienta gorda enero 2018\  
 Data File : 180120-000016.D  
 Title :  
 Acq On : 20 Jan 2018 11:42  
 Operator : AdeM  
 Sample : Carcha Fruto  
 Misc : 4 horas R1  
 ALS Vial : 16 Sample Multiplier: 1

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

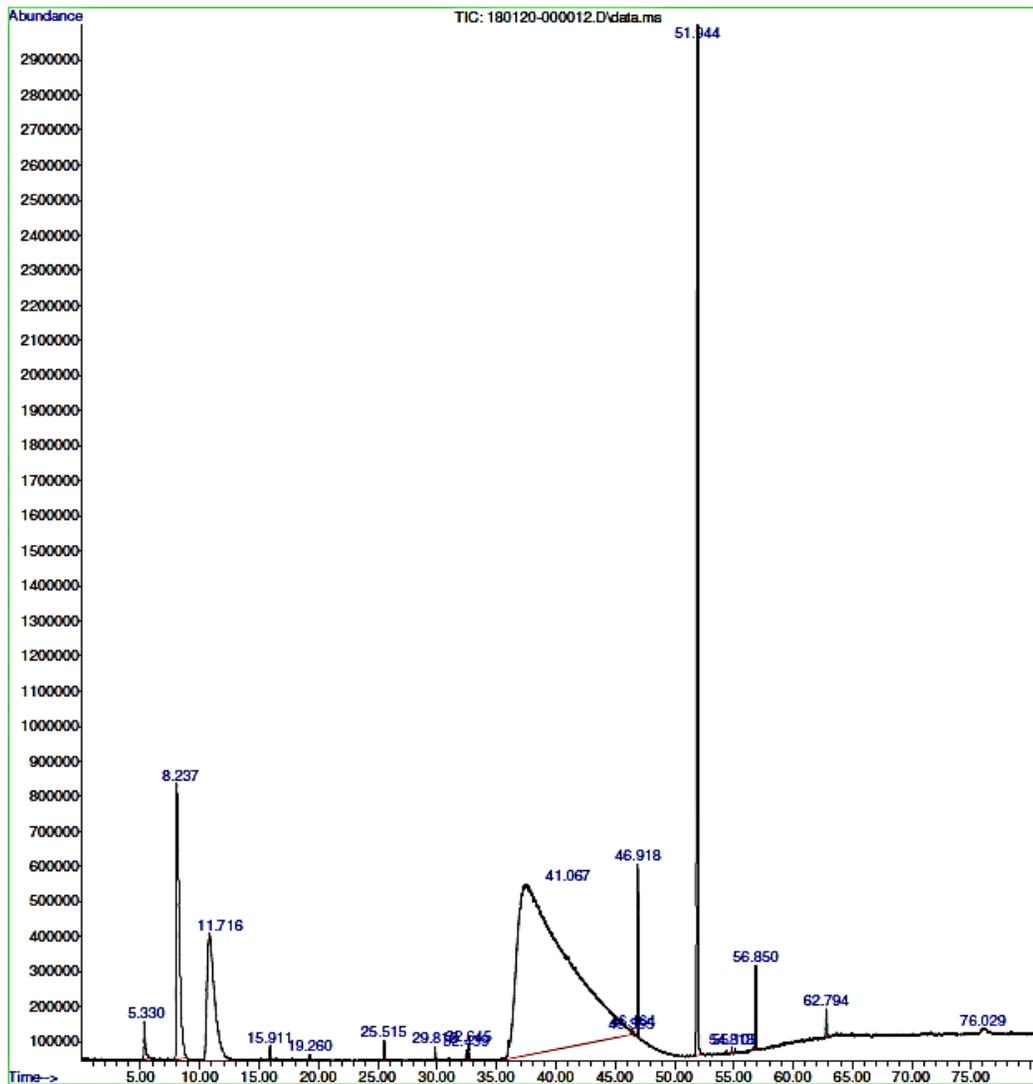
Unknown Spectrum: Apex  
 Integration Events: ChemStation Integrator - autoint1.e

PK#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
1	5.327	0.60	C:\Database\NIST05a.L sec-Butylamine	739	013952-84-6	9
			2-Butanamine, (S)-	740	000513-49-5	7
			Nitrous Oxide	83	010024-97-2	5
2	8.239	35.24	C:\Database\NIST05a.L Ethyl alcohol	95	000064-17-5	91
			Ethyl alcohol	94	000064-17-5	91
			Ethyl alcohol	93	000064-17-5	56
3	11.718	5.22	C:\Database\NIST05a.L Ammonia	6	007664-41-7	3
			Water	7	007732-18-5	1
4	25.505	0.18	C:\Database\NIST05a.L Ammonium acetate	962	000631-61-8	64
			Acetic acid	255	000064-19-7	64
			Acetic acid	258	000064-19-7	64
5	43.122	51.85	C:\Database\NIST05a.L Propylene Glycol	916	000057-55-6	91
			Propylene Glycol	915	000057-55-6	90
			R-(-)-1,2-propanediol	926	004254-14-2	86
6	46.452	0.07	C:\Database\NIST05a.L Propylene Glycol	916	000057-55-6	90
			Propylene Glycol	915	000057-55-6	90
			R-(-)-1,2-propanediol	926	004254-14-2	83
7	46.474	0.05	C:\Database\NIST05a.L Propylene Glycol	916	000057-55-6	90
			Propylene Glycol	915	000057-55-6	83
			(S)-(+)-1,2-Propanediol	928	004254-15-3	78
8	51.910	6.39	C:\Database\NIST05a.L Eugenol	31714	000097-53-0	98
			Phenol, 2-methoxy-4-(1-propenyl)-, (E)-	31883	005932-68-3	97
			Phenol, 2-methoxy-4-(1-propenyl)-, (Z)-	31881	005912-86-7	97

Fuente: Instituto de Investigaciones, CIB/Departamento de Química, LIQA/UVG. Fecha: 17 de septiembre de 2016.

Anexo 4. **Cromatografía de gases con acoplamiento a espectrometría de masas GC-MS para extracto de hojas, Cahabón, Alta Verapaz**

File :C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\USAC\pimienta gorda enero 2018\18  
... 0120-000012.D  
Operator : AdeM  
Instrument : GC-MSD  
Acquired : 20 Jan 2018 5:55 using AcqMethod ACEITES ESENCIALES MCS DB-WAX SCAN 2.M  
Sample Name: Cahabon Hoja  
Misc Info : 4 horas R2



Continuación de la anexo 4.

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\USAC\pimienta gorda enero 2018\  
 Data File : 180120-000012.D  
 Title :  
 Acq On : 20 Jan 2018 5:55  
 Operator : AdeM  
 Sample : Cahabon Hoja  
 Misc : 4 horas R2  
 ALS Vial : 12 Sample Multiplier: 1

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

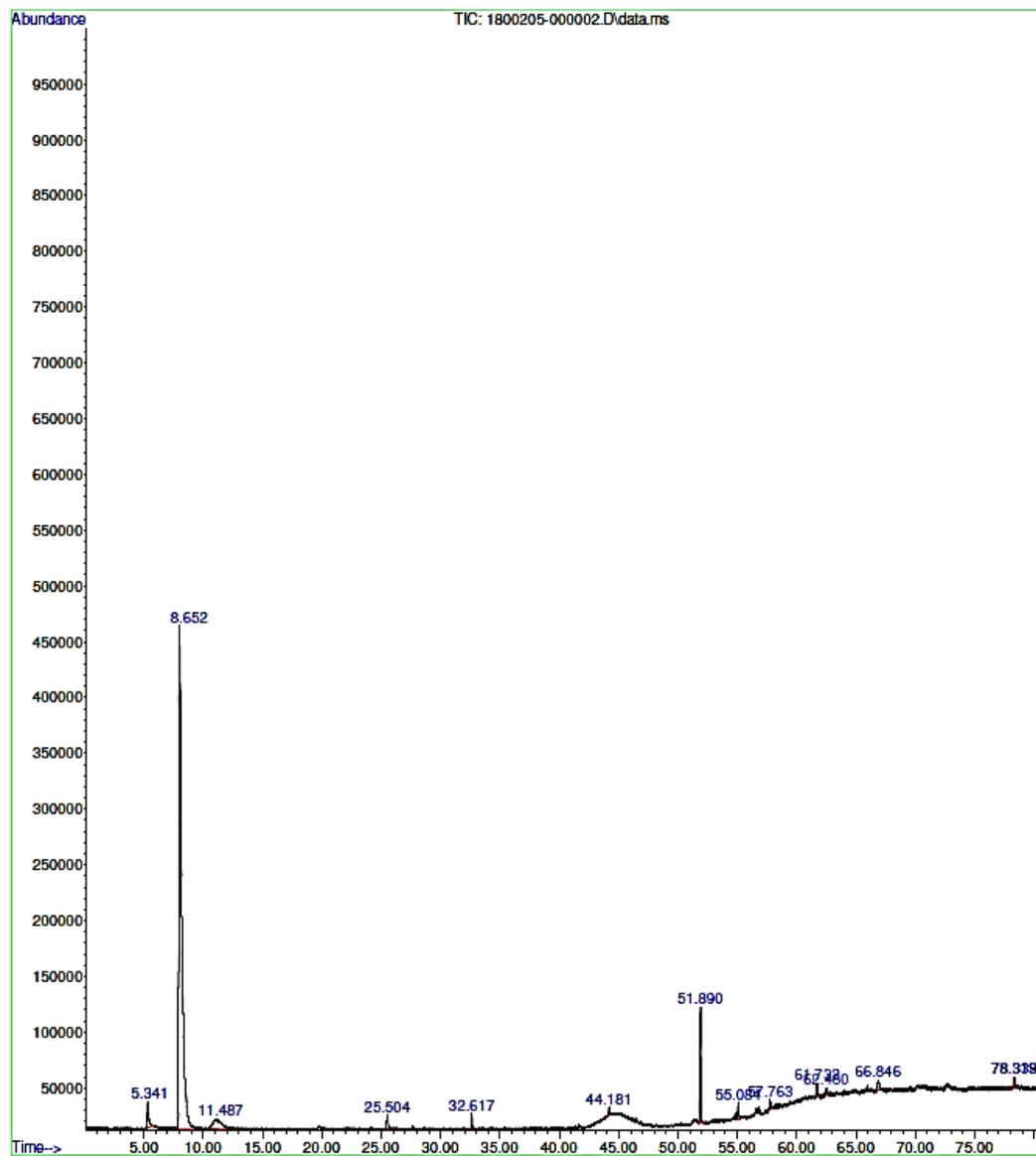
Unknown Spectrum: Apex  
 Integration Events: ChemStation Integrator - autoint1.e

Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
11	46.365	0.01	C:\Database\NIST05a.L Propylene Glycol	916	000057-55-6	90
			Propylene Glycol	915	000057-55-6	90
			R-(-)-1,2-propanediol	926	004254-14-2	80
12	46.465	0.04	C:\Database\NIST05a.L Propylene Glycol	915	000057-55-6	90
			Propylene Glycol	916	000057-55-6	90
			(S)-(+)-1,2-Propanediol	928	004254-15-3	78
13	46.920	1.01	C:\Database\NIST05a.L Benzene, 1,2-dimethoxy-4-(2-propenyl)-	41487	000093-15-2	96
			Benzene, 1,2-dimethoxy-4-(2-propenyl)-	41492	000093-15-2	96
			Benzene, 1,2-dimethoxy-4-(2-propenyl)-	41486	000093-15-2	94
14	51.946	21.83	C:\Database\NIST05a.L Eugenol	31714	000097-53-0	97
			3-Allyl-6-methoxyphenol	31757	000501-19-9	97
			Eugenol	31716	000097-53-0	97
15	54.816	0.04	C:\Database\NIST05a.L 1,4,7,10,13,16-Hexaoxacyclooctadecane	100939	017455-13-9	38
			15-Crown-5	70735	033100-27-5	27
			1,4,7,10,13,16-Hexaoxacyclooctadecane	100938	017455-13-9	27

Fuente: Instituto de Investigaciones, CIB/Departamento de Química, LIQA/UVG. Fecha: 18 de septiembre de 2016.

Anexo 5. **Cromatografía de gases con acoplamiento a espectrometría de masas GC-MS para extracto de hojas, Campur, Alta Verapaz**

File :C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\USAC\pimienta gorda enero 2018\18  
... 00205-000002.D  
Operator : AdeM  
Instrument : GC-MSD  
Acquired : 5 Feb 2018 10:46 using AcqMethod ACEITES ESENCIALES MCS DB-WAX SCAN 2.M  
Sample Name: Campur, Hoja R2  
Misc Info : Dilucion etanol



Continuación del anexo 5.

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\USAC\pimienta gorda enero 2018\  
 Data File : 1800205-000002.D  
 Title :  
 Acq On : 5 Feb 2018 10:46  
 Operator : AdeM  
 Sample : Campur, Hoja R2  
 Misc : Dilucion etanol  
 ALS Vial : 1 Sample Multiplier: 1 Samp. Amt.: 1

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

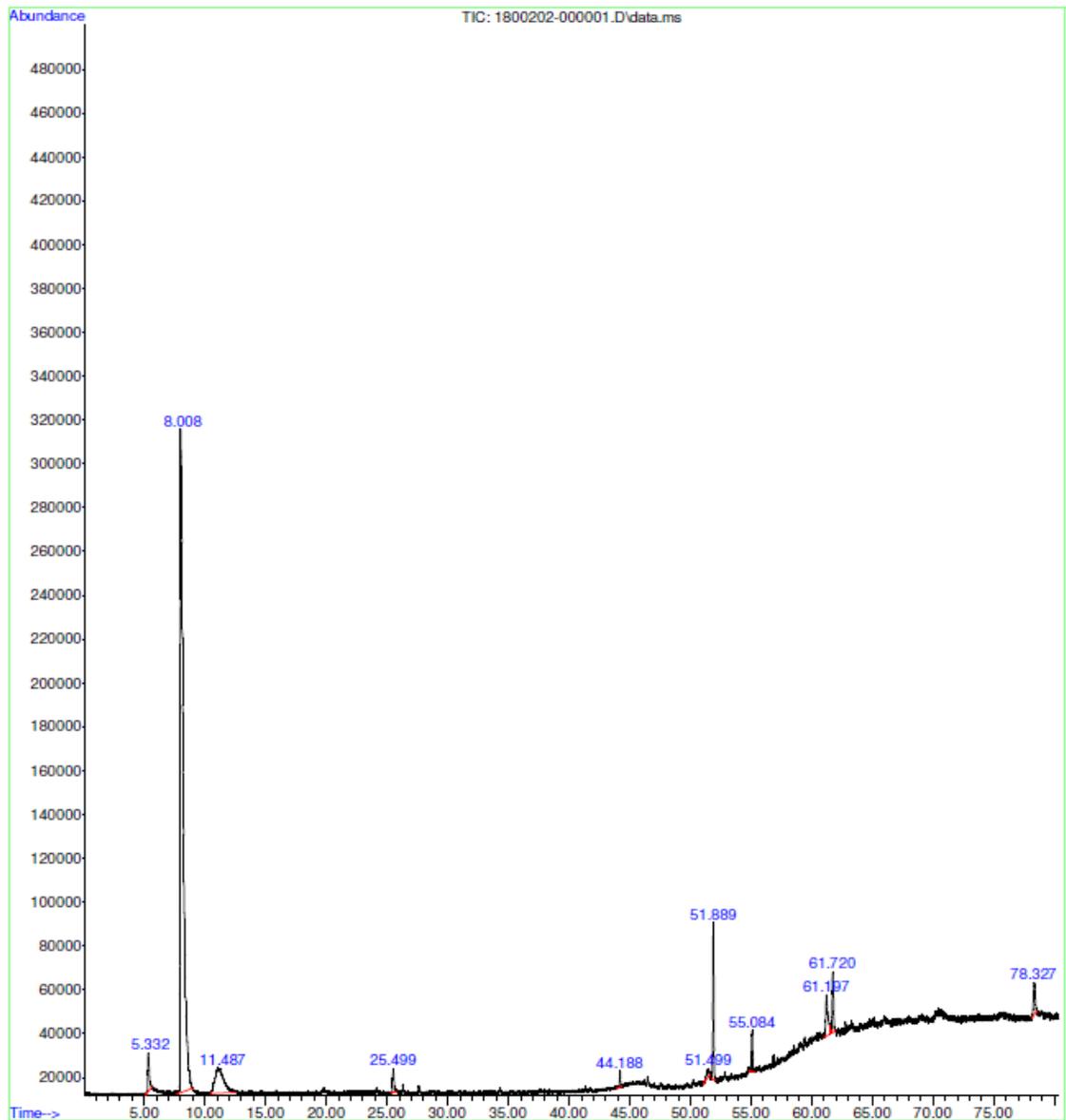
Unknown Spectrum: Apex  
 Integration Events: ChemStation Integrator - autointA.e

Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
1	5.341	2.22	C:\Database\NIST05a.L Carbon dioxide	81	000124-38-9	3
			Carbon dioxide	80	000124-38-9	3
			Ethyne, fluoro-	76	002713-09-9	3
2	8.652	80.62	C:\Database\NIST05a.L Ethyl alcohol	95	000064-17-5	80
			Ethyl alcohol	94	000064-17-5	72
			Ethyl alcohol	93	000064-17-5	72
3	11.486	4.66	C:\Database\NIST05a.L Ammonia	6	007664-41-7	2
			Water	7	007732-18-5	1
			Methane	5	000074-82-8	1
4	25.505	0.83	C:\Database\NIST05a.L Acetic acid	258	000064-19-7	86
			Acetic acid	254	000064-19-7	78
			Acetic acid	256	000064-19-7	9
5	32.615	0.65	C:\Database\NIST05a.L 1,6,10-Dodecatrien-3-ol, 3,7,11-tr imethyl-	72936	007212-44-4	38
			(E,E)-7,11,15-Trimethyl-3-methylen e-hexadeca-1,6,10,14-tetraene	107090	070901-63-2	38
			1,6,10-Dodecatrien-3-ol, 3,7,11-tr imethyl-, (E)-	72942	040716-66-3	38
6	44.182	0.39	C:\Database\NIST05a.L 1-Pentanol, 5-methoxy- Propylene Glycol	8562	004799-62-6	59
			Propylene Glycol	916	000057-55-6	53
			Propylene Glycol	917	000057-55-6	53
7	51.892	5.78	C:\Database\NIST05a.L Eugenol	31714	000097-53-0	98
			Phenol, 2-methoxy-4-(1-propenyl)-, (E)-	31883	005932-68-3	97
			3-Allyl-6-methoxyphenol	31757	000501-19-9	97

Fuente: Instituto de Investigaciones, CIB/Departamento de Química, LIQA/UVG. Fecha: 22 de septiembre de 2016.

Anexo 6. **Cromatografía de gases con acoplamiento a espectrometría de masas GC-MS para extracto de hojas, Carchá, Alta Verapaz**

File :C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\USAC\pimienta gorda enero 2018\18  
... 00202-000001.D  
Operator : AdeM  
Instrument : GC-MSD  
Acquired : 2 Feb 2018 10:52 using AcqMethod ACEITES ESENCIALES MCS DB-WAX SCAN 2.M  
Sample Name: Carcha R3  
Misc Info : Dilucion etanol



Continuación del anexo 6.

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\USAC\pimienta gorda enero 2018\  
 Data File : 1800202-000001.D  
 Title :  
 Acq On : 2 Feb 2018 10:52  
 Operator : AdeM  
 Sample : Carcha R3  
 Misc : Dilucion etanol  
 ALS Vial : 1 Sample Multiplier: 1 Samp. Amt.: 1

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

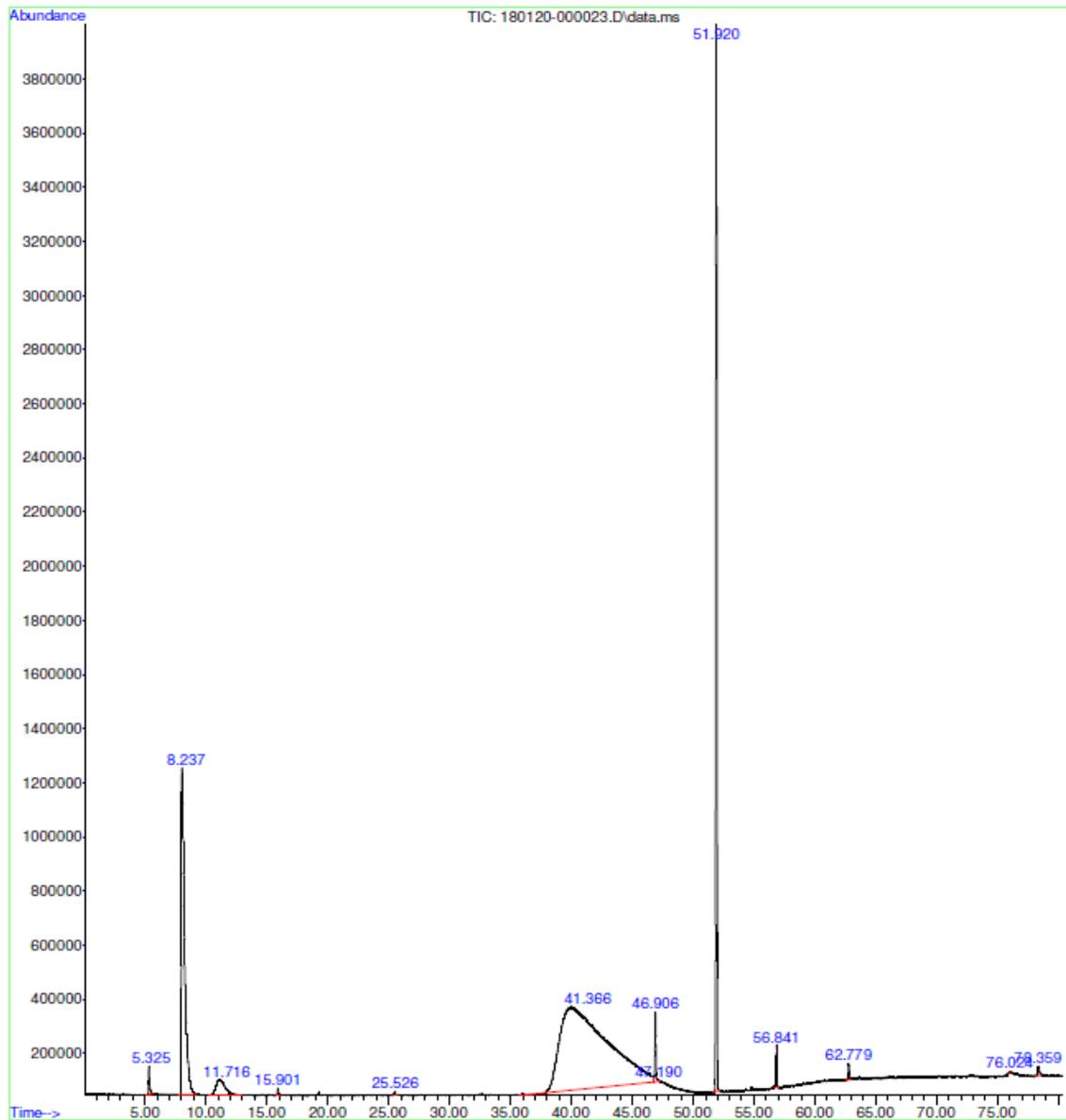
Unknown Spectrum: Apex  
 Integration Events: ChemStation Integrator - autointA.e

k#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
1	5.332	1.97	C:\Database\NIST05a.L Carbon dioxide	81	000124-38-9	3
			Carbon dioxide	80	000124-38-9	3
			Nitrous Oxide	83	010024-97-2	3
2	8.007	72.74	C:\Database\NIST05a.L Ethyl alcohol	95	000064-17-5	91
			Ethyl alcohol	94	000064-17-5	91
			Ethyl alcohol	93	000064-17-5	37
3	11.486	8.26	C:\Database\NIST05a.L Ammonia	6	007664-41-7	2
			Water	7	007732-18-5	1
			Methane	5	000074-82-8	1
4	25.501	1.00	C:\Database\NIST05a.L Acetic acid	258	000064-19-7	86
			Acetic acid	255	000064-19-7	78
			Acetic acid	256	000064-19-7	78
5	44.186	0.53	C:\Database\NIST05a.L 1-Methoxy-3-(2-hydroxyethyl)nonane	58375	070928-44-8	58
			Formamide	89	000075-12-7	16
			Cyclopentanemethanol, .alpha.-meth yl-	7414	052829-98-8	16
6	51.501	0.65	C:\Database\NIST05a.L 1-Propanol	285	000071-23-8	43
			dl-Glyceraldehyde dimer	43362	026793-98-6	37
			1,3-Diaminoguanidine	2178	004364-78-7	33
7	51.887	5.09	C:\Database\NIST05a.L Eugenol	31714	000097-53-0	98
			Phenol, 2-methoxy-4-(1-propenyl)-, (E)-	31883	005932-68-3	97
			3-Allyl-6-methoxyphenol	31757	000501-19-9	97

Fuente: Instituto de Investigaciones, CIB/Departamento de Química, LIQA/UVG. Fecha: 25 de septiembre de 2016.

Anexo 7. **Cromatografía de gases con acoplamiento a espectrometría de masas GC-MS para extracto de frutos, Dolores, Petén**

File :C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\USAC\pimienta gorda enero 2018\18  
... 0120-000023.D  
Operator : AdeM  
Instrument : GC-MSD  
Acquired : 20 Jan 2018 21:50 using AcqMethod ACEITES ESENCIALES MCS DB-WAX SCAN 2.M  
Sample Name: Dolores Fruto  
Misc Info : 4 horas R3



Continuación del anexo 7.

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\USAC\pimienta gorda enero 2018\  
 Data File : 180120-000023.D  
 Title :  
 Acq On : 20 Jan 2018 21:50  
 Operator : AdeM  
 Sample : Dolores Fruto  
 Misc : 4 horas R3  
 ALS Vial : 23 Sample Multiplier: 1

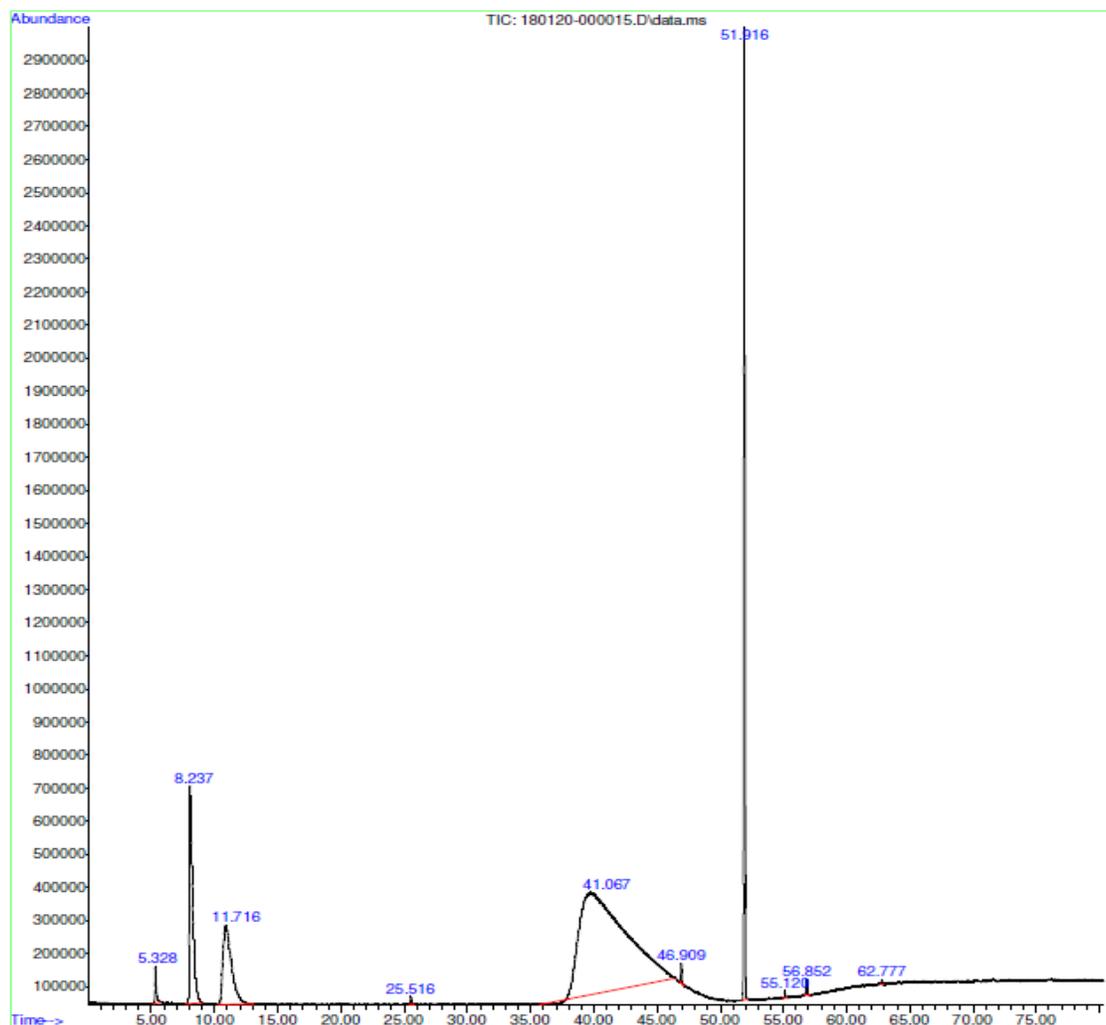
Search Libraries: C:\Database\NIST05a.L Minimum Quality:  
 Unknown Spectrum: Apex  
 Integration Events: ChemStation Integrator - autoint1.e

PK#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
1	5.327	0.39	C:\Database\NIST05a.L			
			2-Butanamine, (S)-	740	000513-49-5	7
			sec-Butylamine	738	013952-84-6	5
			Nitrous Oxide	82	010024-97-2	5
2	8.238	15.34	C:\Database\NIST05a.L			
			Ethyl alcohol	95	000064-17-5	91
			Ethyl alcohol	94	000064-17-5	91
			Ethyl alcohol	93	000064-17-5	56
3	11.718	2.22	C:\Database\NIST05a.L			
			Ammonia	6	007664-41-7	3
			Water	7	007732-18-5	1
4	15.903	0.10	C:\Database\NIST05a.L			
			D-Limonene	15165	005989-27-5	97
			D-Limonene	15164	005989-27-5	95
			D-Limonene	15162	005989-27-5	94
5	25.528	0.07	C:\Database\NIST05a.L			
			Ammonium acetate	962	000631-61-8	50
			Acetic acid	255	000064-19-7	49
			Acetic acid	257	000064-19-7	47
6	41.366	59.29	C:\Database\NIST05a.L			
			Propylene Glycol	916	000057-55-6	91
			R-(-)-1,2-propanediol	926	004254-14-2	87
			(S)-(+)-1,2-Propanediol	928	004254-15-3	78
7	46.906	0.99	C:\Database\NIST05a.L			
			Benzene, 1,2-dimethoxy-4-(2-propenyl)-	41488	000093-15-2	98
			Benzene, 1,2-dimethoxy-4-(2-propenyl)-	41487	000093-15-2	96
			Benzene, 1,2-dimethoxy-4-(2-propenyl)-	41492	000093-15-2	96
8	47.188	0.01	C:\Database\NIST05a.L			
			Propylene Glycol	916	000057-55-6	72
			Ethanol, 2-[2-(ethenyloxy)ethoxy]-	13847	000929-37-3	72
			Propylene Glycol	917	000057-55-6	72
9	51.919	20.48	C:\Database\NIST05a.L			
			Phenol, 2-methoxy-3-(2-propenyl)-	31835	001941-12-4	97
			Eugenol	31714	000097-53-0	97
			Phenol, 2-methoxy-4-(1-propenyl)-, (E)-	31883	005932-68-3	97

Fuente: Instituto de Investigaciones, CIB/Departamento de Química, LIQA/UVG. Fecha: 27 de septiembre de 2016.

Anexo 8. **Cromatografía de gases con acoplamiento a espectrometría de masas GC-MS para extracto de frutos, Melchor de Mencos, Petén**

File : C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\USAC\pimienta gorda enero 2018\18  
... 0120-000015.D  
Operator : AdeM  
Instrument : GC-MSD  
Acquired : 20 Jan 2018 10:15 using AcqMethod ACEITES ESENCIALES MCS DB-WAX SCAN 2.M  
Sample Name: Melchor Fruto  
Misc Info : 4 horas R3



Continuación del anexo 8.

```

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\USAC\pimienta gorda enero 2018\
Data File : 180120-000015.D
Title      :
Acq On    : 20 Jan 2018  10:15
Operator  : AdeM
Sample    : Melchor Fruto
Misc      : 4 horas R3
ALS Vial  : 15   Sample Multiplier: 1

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

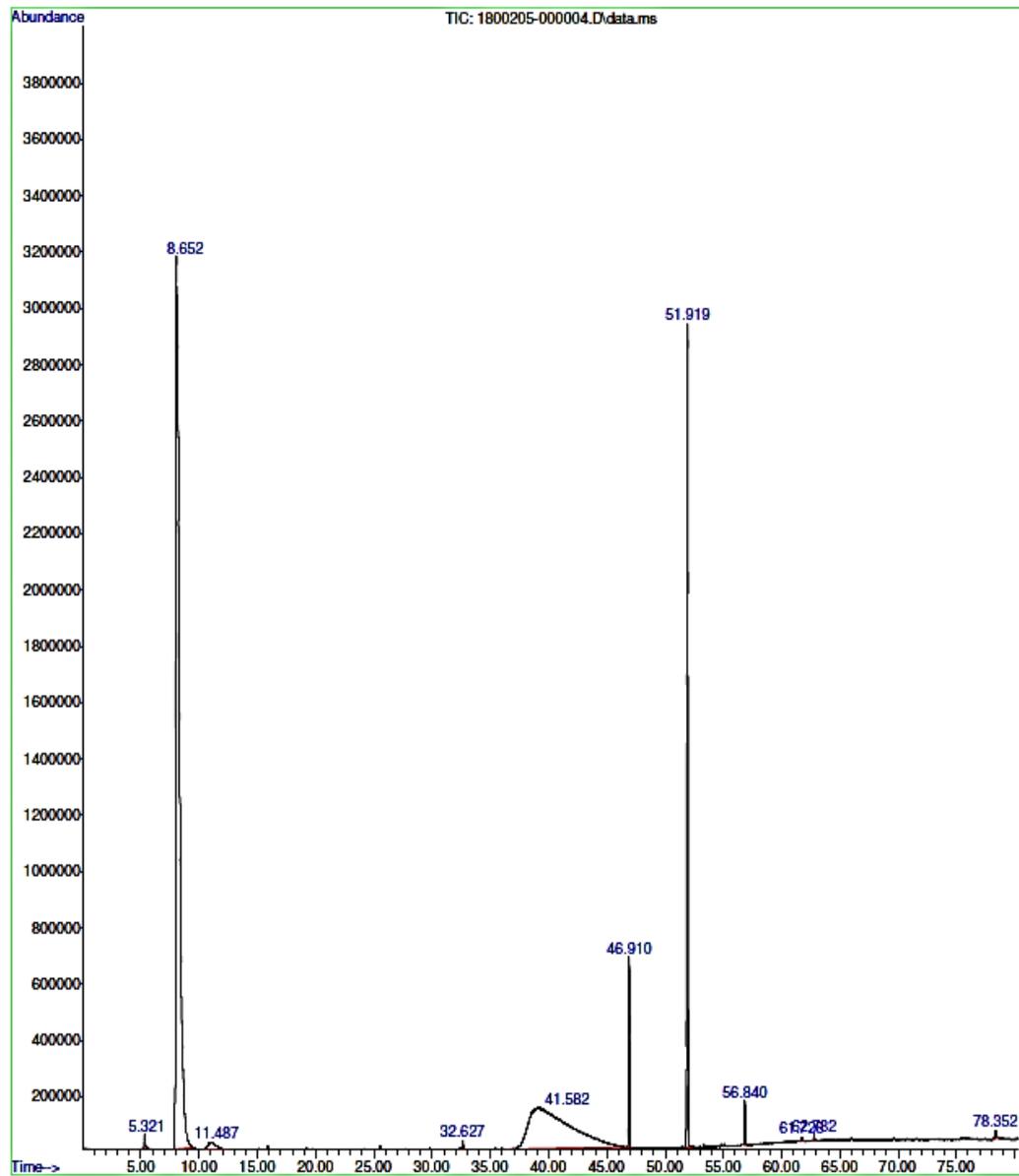
Unknown Spectrum:  Apex
Integration Events: ChemStation Integrator - autoint1.e
  
```

Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
1	5.327	0.56	C:\Database\NIST05a.L			
			12-Methylaminolauric acid	77894	007408-81-3	4
			1-Octadecanamine, N-methyl- 2-Propanamine	114097 244	002439-55-6 000075-31-0	4 3
2	8.238	9.82	C:\Database\NIST05a.L			
			Ethyl alcohol	95	000064-17-5	91
			Ethyl alcohol	94	000064-17-5	91
			Ethyl alcohol	93	000064-17-5	37
3	11.718	9.44	C:\Database\NIST05a.L			
			Ammonia	6	007664-41-7	3
			Water	7	007732-18-5	1
4	25.514	0.13	C:\Database\NIST05a.L			
			Ammonium acetate	962	000631-61-8	78
			Acetic acid	254	000064-19-7	64
			Acetic acid	255	000064-19-7	64
5	41.066	64.86	C:\Database\NIST05a.L			
			Propylene Glycol	916	000057-55-6	91
			Propylene Glycol	917	000057-55-6	91
			R-(-)-1,2-propanediol	926	004254-14-2	87
6	46.911	0.23	C:\Database\NIST05a.L			
			Propylene Glycol	917	000057-55-6	55
			2-Chloroethyl methyl ether	2494	000627-42-9	43
			Propylene Glycol	915	000057-55-6	43
7	51.914	14.54	C:\Database\NIST05a.L			
			Eugenol	31714	000097-53-0	98
			Phenol, 2-methoxy-3-(2-propenyl)-	31835	001941-12-4	97
			Phenol, 2-methoxy-4-(1-propenyl)-, (E)-	31883	005932-68-3	97

Fuente: Instituto de Investigaciones, CIB/Departamento de Química, LIQA/UVG. Fecha: 1 de octubre de 2016.

Anexo 9. **Cromatografía de gases con acoplamiento a espectrometría de masas GC-MS para extracto de frutos, San Luis, Petén**

File :C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\USAC\pimienta gorda enero 2018\18  
... 00205-000004.D  
Operator : AdeM  
Instrument : GC-MSD  
Acquired : 5 Feb 2018 13:41 using AcqMethod ACEITES ESENCIALES MCS DB-WAX SCAN 2.M  
Sample Name: San Luis, Fruto R1  
Misc Info : Dilucion etanol



Continuación del anexo 9.

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\USAC\pimienta gorda enero 2018\  
 Data File : 1800205-000004.D  
 Title :  
 Acq On : 5 Feb 2018 13:41  
 Operator : AdeM  
 Sample : San Luis, Fruto R1  
 Misc : Dilucion etanol  
 ALS Vial : 1 Sample Multiplier: 1 Samp. Amt.: 1

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

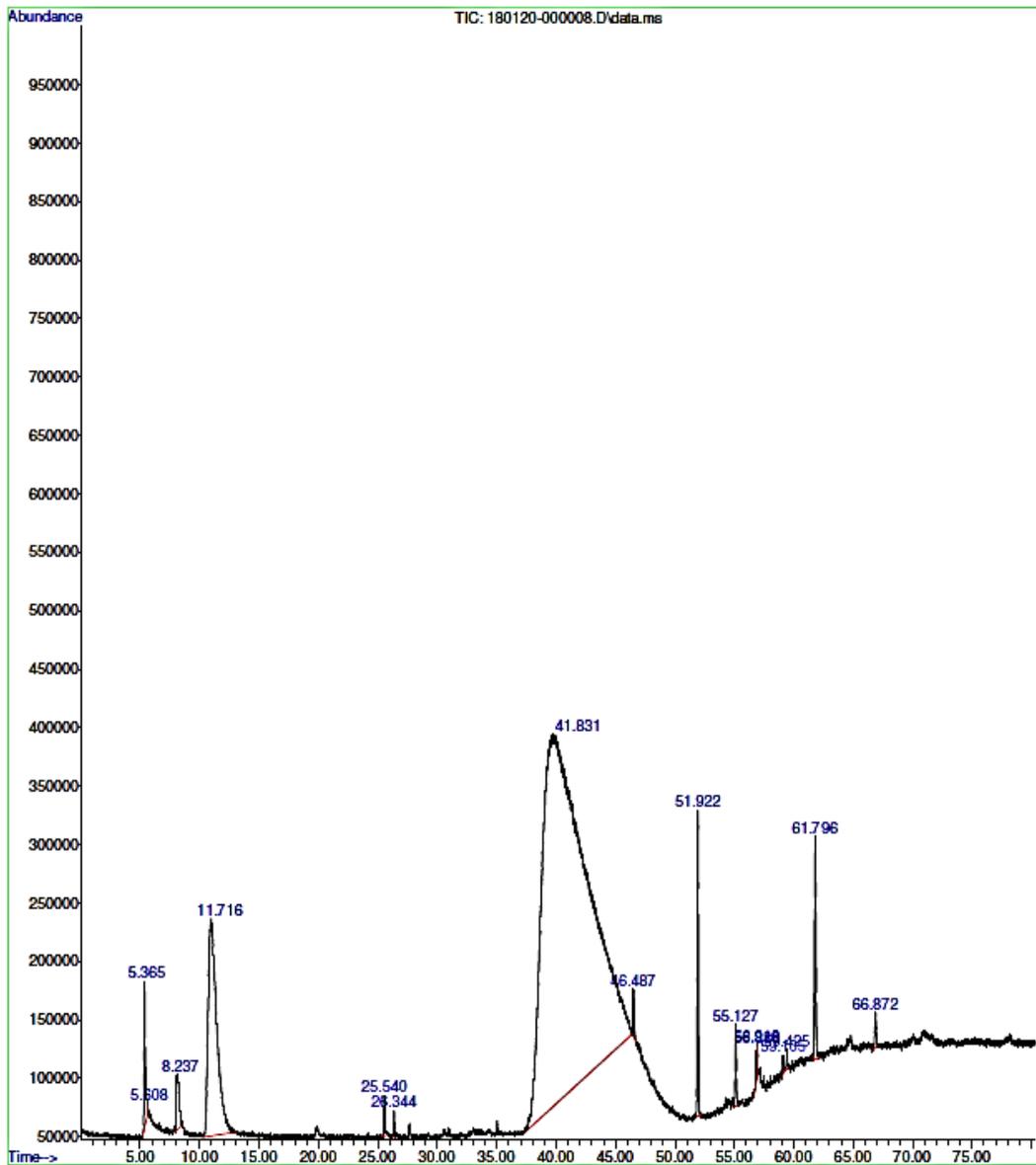
Unknown Spectrum: Apex  
 Integration Events: ChemStation Integrator - autointA.e

k#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
1	5.323	0.21	C:\Database\NIST05a.L Nitrous Oxide	83	010024-97-2	3
			Nitrous Oxide	82	010024-97-2	3
			Carbon dioxide	81	000124-38-9	3
2	8.652	55.14	C:\Database\NIST05a.L Ethyl alcohol	95	000064-17-5	91
			Ethyl alcohol	94	000064-17-5	91
			Ethyl alcohol	93	000064-17-5	37
3	11.486	0.81	C:\Database\NIST05a.L Ammonia	6	007664-41-7	2
			Water	7	007732-18-5	1
4	32.628	0.11	C:\Database\NIST05a.L 1,6,10-Dodecatrien-3-ol, 3,7,11-tr imethyl-, (E)-	72942	040716-66-3	27
			1,7-Octadiene, 2,7-dimethyl-3,6-bi s(methylene)-	30903	016714-60-6	27
			1,3,6,10-Dodecatetraene, 3,7,11-tr imethyl-, (Z,E)-	59890	026560-14-5	22
5	41.580	28.40	C:\Database\NIST05a.L Propylene Glycol	915	000057-55-6	91
			Propylene Glycol	916	000057-55-6	91
			Propylene Glycol	917	000057-55-6	90
6	46.911	2.48	C:\Database\NIST05a.L Benzene, 1,2-dimethoxy-4-(2-propen yl)-	41487	000093-15-2	97
			Benzene, 1,2-dimethoxy-4-(2-propen yl)-	41492	000093-15-2	97
			Benzene, 1,2-dimethoxy-4-(2-propen yl)-	41486	000093-15-2	94
7	51.919	11.78	C:\Database\NIST05a.L Phenol, 2-methoxy-4-(1-propenyl)-, (Z)-	31881	005912-86-7	97
			Eugenol	31714	000097-53-0	97
			3-Allyl-6-methoxyphenol	31757	000501-19-9	97

Fuente: Instituto de Investigaciones, CIB/Departamento de Química, LIQA/UVG. Fecha: 2 de octubre de 2016.

Anexo 10. **Cromatografía de gases con acoplamiento a espectrometría de masas GC-MS para extracto de hojas, Dolores, Petén**

File :C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\USAC\pimienta gorda enero 2018\18  
... 0120-000008.D  
Operator : AdeM  
Instrument : GC-MSD  
Acquired : 20 Jan 2018 00:08 using AcqMethod ACEITES ESENCIALES MCS DB-WAX SCAN 2.M  
Sample Name: Dolores Hoja  
Misc Info : 4 horas R3



Continuación del anexo 10.

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\USAC\pimienta gorda enero 2018\  
 Data File : 180120-000008.D  
 Title :  
 Acq On : 20 Jan 2018 00:08  
 Operator : AdeM  
 Sample : Dolores Hoja  
 Misc : 4 horas R3  
 ALS Vial : 8 Sample Multiplier: 1

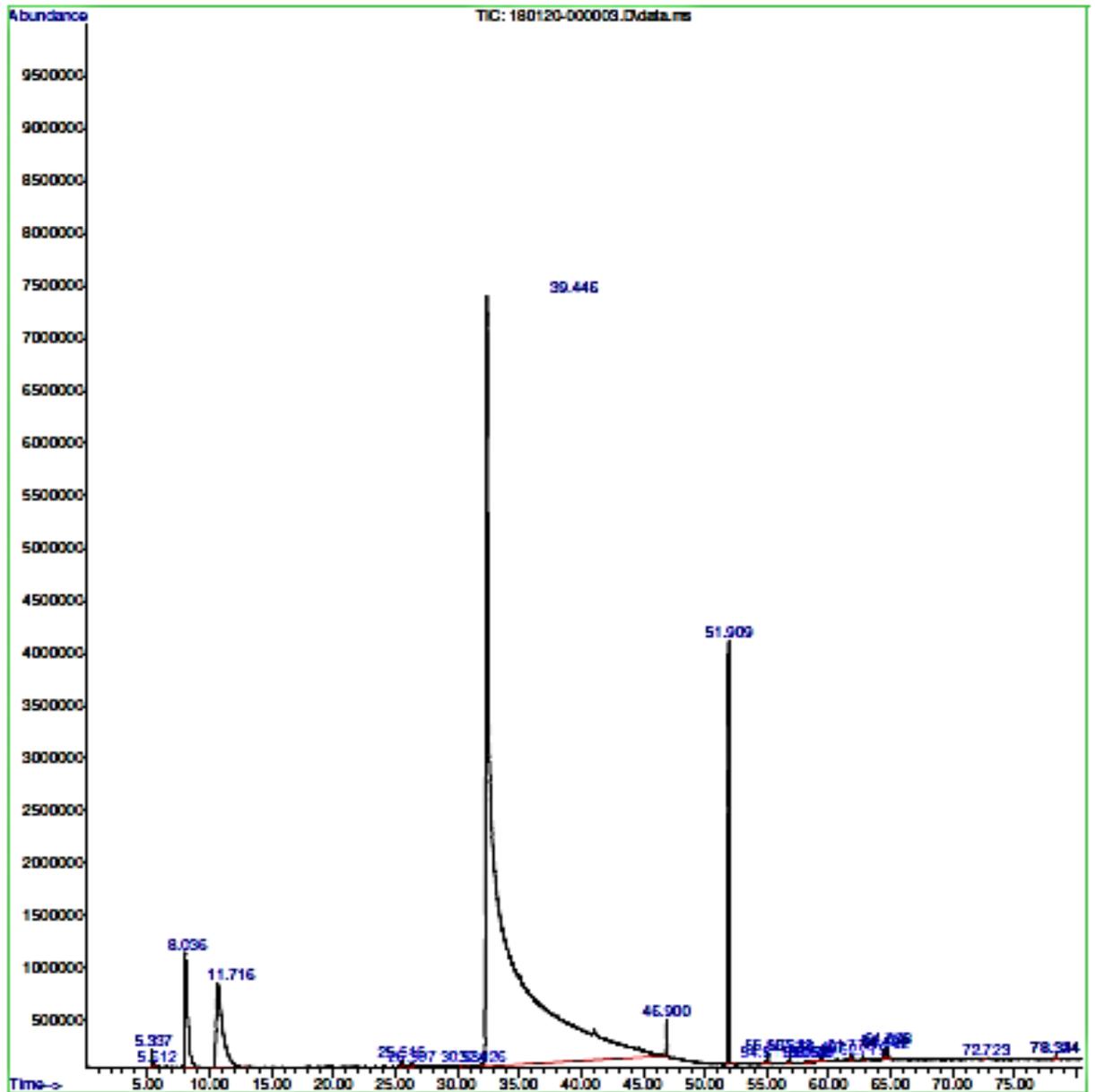
Search Libraries: C:\Database\NIST05a.L Minimum Quality: 0  
 Unknown Spectrum: Apex  
 Integration Events: ChemStation Integrator - autoint1.e

PK#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
1	5.364	0.83	C:\Database\NIST05a.L Carbon dioxide	80	000124-38-9	4
			Carbon dioxide	81	000124-38-9	3
			Nitrous Oxide	83	010024-97-2	2
2	5.609	0.03	C:\Database\NIST05a.L sec-Butylamine	739	013952-84-6	4
			sec-Butylamine	738	013952-84-6	4
			sec-Butylamine	737	013952-84-6	4
3	8.238	0.80	C:\Database\NIST05a.L Ethyl alcohol	95	000064-17-5	72
			Ethyl alcohol	93	000064-17-5	64
			Ethyl alcohol	94	000064-17-5	49
4	11.718	9.73	C:\Database\NIST05a.L Ammonia	6	007664-41-7	3
			Water	7	007732-18-5	1
5	25.541	0.25	C:\Database\NIST05a.L Acetic acid	258	000064-19-7	74
			Acetic acid	255	000064-19-7	72
			Acetic acid	254	000064-19-7	68
6	26.346	0.13	C:\Database\NIST05a.L Furfural	2677	000098-01-1	87
			Furfural	2674	000098-01-1	76
			1H-Imidazole, 1,4-dimethyl-	2706	006338-45-0	72
7	41.830	83.95	C:\Database\NIST05a.L Propylene Glycol	916	000057-55-6	91
			Ethanol, 2,2'-oxybis-	4854	000111-46-6	78
			R-(-)-1,2-propanediol	926	004254-14-2	72
8	46.488	0.28	C:\Database\NIST05a.L Propylene Glycol	917	000057-55-6	58
			Propylene Glycol	916	000057-55-6	58
			Propylene Glycol	915	000057-55-6	53
9	51.923	1.40	C:\Database\NIST05a.L Phenol, 2-methoxy-3-(2-propenyl)-	31835	001941-12-4	98
			Eugenol	31714	000097-53-0	98
			Phenol, 2-methoxy-4-(1-propenyl)-, (Z)-	31881	005912-86-7	97

Fuente: Instituto de Investigaciones, CIB/Departamento de Química, LIQA/UVG. Fecha: 3 de octubre de 2016.

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

File : C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\USAC\pimienta gorda enero 2018\18  
... 0120-000003.D  
Operator : Adm  
Instrument : GC-MSD  
Acquired : 19 Jan 2018 16:52 using AcqMethod ACEITES ESENCIALES MCS DB-WAX SCAN 2.M  
Sample Name: Malchor Hoja  
Misc Info : 4 horas R5



Continuación del anexo 11.

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\USAC\pimienta gorda enero 2018\  
 Data File : 180120-000001.D  
 Title :  
 Acq On : 19 Jan 2018 13:59  
 Operator : AdeM  
 Sample : Melchor Hoja  
 Misc : 4 horas R2  
 ALS Vial : 1 Sample Multiplier: 1

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

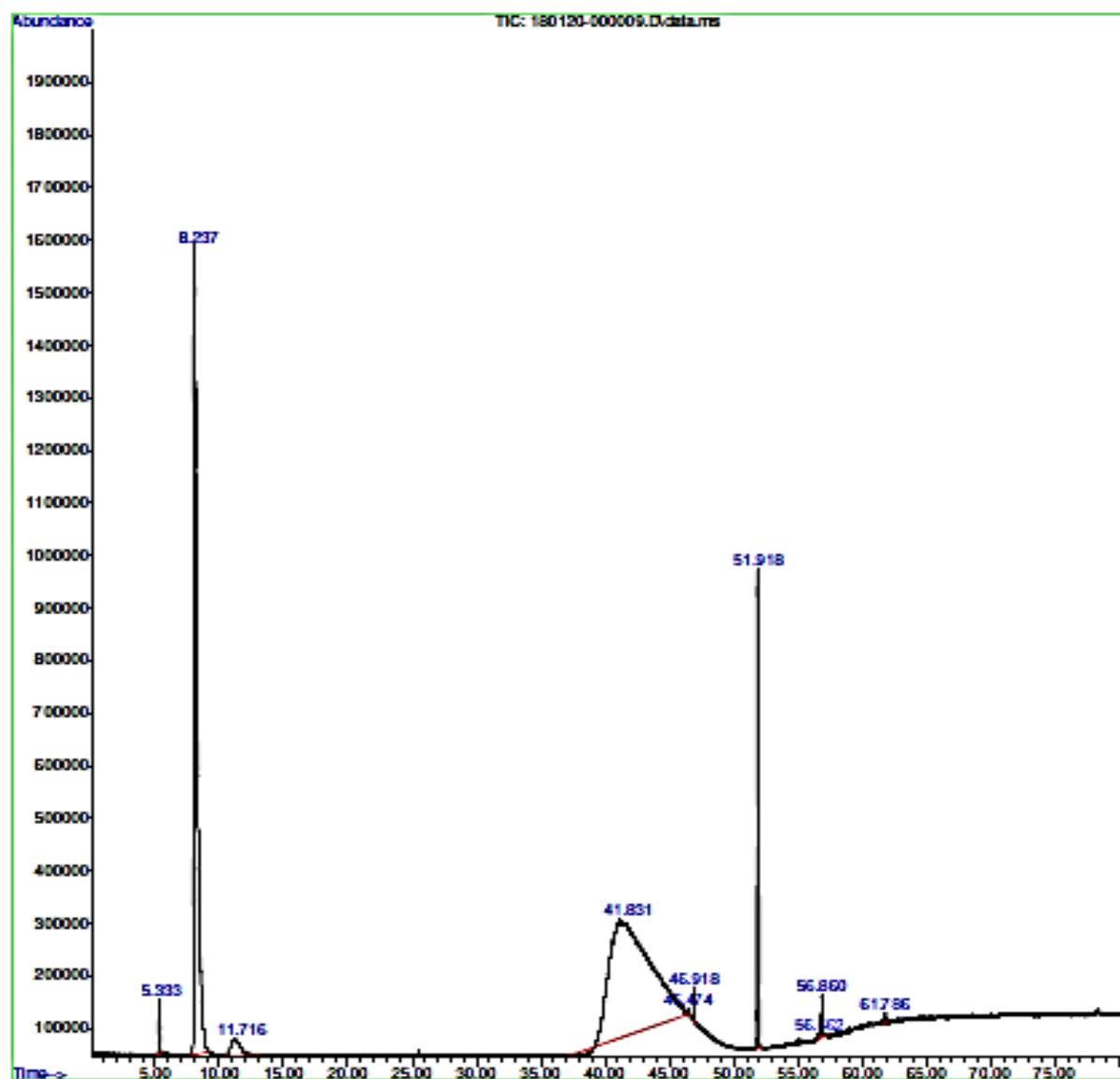
Unknown Spectrum: Apex  
 Integration Events: ChemStation Integrator - autoint1.e

Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
1	5.323	0.20	C:\Database\NIST05a.L			
			2-Butanamine, (S)-	740	000513-49-5	7
			sec-Butylamine	738	013952-84-6	5
			2-Butanamine, 3-methyl-	1881	000598-74-3	5
2	8.038	9.01	C:\Database\NIST05a.L			
			Ethyl alcohol	95	000064-17-5	91
			Ethyl alcohol	94	000064-17-5	91
			Ethyl alcohol	93	000064-17-5	37
3	11.718	1.77	C:\Database\NIST05a.L			
			Ammonia	6	007664-41-7	3
			Water	7	007732-18-5	1
4	40.693	84.73	C:\Database\NIST05a.L			
			Propylene Glycol	916	000057-55-6	91
			Propylene Glycol	917	000057-55-6	90
			Propylene Glycol	915	000057-55-6	86
5	46.902	0.25	C:\Database\NIST05a.L			
			Propylene Glycol	917	000057-55-6	41
			2-Butanol, 3-methyl-	2078	000598-75-4	38
			2-Chloroethyl methyl ether	2493	000627-42-9	38
6	51.905	3.84	C:\Database\NIST05a.L			
			Eugenol	31714	000097-53-0	98
			3-Allyl-6-methoxyphenol	31757	000501-19-9	97
			Eugenol	31716	000097-53-0	97

Fuente: Instituto de Investigaciones, CIB/Departamento de Química, LIQA/UVG. Fecha: 4 de octubre de 2016.

Anexo 12. **Cromatografía de gases con acoplamiento a espectrometría de masas GC-MS para extracto de hojas, San Luis, Petén**

File : C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\USAC\pimienta gorda enero 2018\18  
--- 0120-000009.D  
Operator : AdaM  
Instrument : GC-MSD  
Acquired : 20 Jan 2018 1:35 using AcqMethod ACRITES ESENCIALES MCS DB-WAX SCAN 2.M  
Sample Name: San Luis Hoja  
Misc Info : 4 horas R3



Continuación del anexo 12.

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\USAC\pimienta qorda enero 2018\  
 Data File : 180120-000009.D  
 Title :  
 Acq On : 20 Jan 2018 1:35  
 Operator : AdeM  
 Sample : San Luis Hoja  
 Misc : 4 horas R3  
 ALS Vial : 9 Sample Multiplier: 1

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

Unknown Spectrum: Apex  
 Integration Events: ChemStation Integrator - autoint1.e

k#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
1	5.332	0.51	C:\Database\NIST05a.L 2-Butanamine, (S)- sec-Butylamine sec-Butylamine	740 739 738	000513-49-5 013952-84-6 013952-84-6	7 7 5
2	8.238	32.42	C:\Database\NIST05a.L Ethyl alcohol Ethyl alcohol Ethyl alcohol	95 94 93	000064-17-5 000064-17-5 000064-17-5	91 91 37
3	11.718	1.93	C:\Database\NIST05a.L Ammonia Water	6 7	007664-41-7 007732-18-5	2 1
4	41.830	58.20	C:\Database\NIST05a.L Propylene Glycol Propylene Glycol Propylene Glycol	916 915 917	000057-55-6 000057-55-6 000057-55-6	91 91 91
5	46.474	0.10	C:\Database\NIST05a.L Propylene Glycol Propylene Glycol Propylene Glycol	915 916 917	000057-55-6 000057-55-6 000057-55-6	87 87 80
6	46.920	0.37	C:\Database\NIST05a.L Propylene Glycol Propylene Glycol R-(-)-1,2-propanediol	917 915 926	000057-55-6 000057-55-6 004254-14-2	38 38 35
7	51.919	5.42	C:\Database\NIST05a.L Eugenol Phenol, 2-methoxy-4-(1-propenyl)-, (E)- 3-Allyl-6-methoxyphenol	31714 31883 31757	000097-53-0 005932-68-3 000501-19-9	98 97 97

Fuente: Instituto de Investigaciones, CIB/Departamento de Química, LIQA/UVG. Fecha: 10 de octubre de 2016.