



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

**EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO EXTRACTIVO Y CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA
DEL ACEITE ESENCIAL DE CARDAMOMO (*Elettaria cardamomum* L. Matton) DE
TERCERA CALIDAD Y DE CASCARILLA COMO SUBPRODUCTOS DEL BENEFICIADO
DEL CARDAMOMO PROVENIENTE DE LOS DEPARTAMENTOS DE ALTA VERAPAZ Y
QUICHÉ, A NIVEL LABORATORIO Y PLANTA PILOTO**

Mirna Liseth Alvarez Véliz

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

Guatemala, abril de 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO EXTRACTIVO Y CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA
DEL ACEITE ESENCIAL DE CARDAMOMO (*Elettaria cardamomum* L. Matton) DE
TERCERA CALIDAD Y DE CASCARILLA COMO SUBPRODUCTOS DEL BENEFICIADO
DEL CARDAMOMO PROVENIENTE DE LOS DEPARTAMENTOS DE ALTA VERAPAZ Y
QUICHÉ, A NIVEL LABORATORIO Y PLANTA PILOTO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

MIRNA LISETH ALVAREZ VÉLIZ

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

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA QUÍMICA

GUATEMALA, ABRIL DE 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Cruz Llorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Gerardo Ordóñez
EXAMINADOR	Ing. Jorge Mario Estrada Asturias
EXAMINADOR	Ing. Jorge Rodolfo García Carrera
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO EXTRACTIVO Y CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL ACEITE ESENCIAL DE CARDAMOMO (*Elettaria cardamomum* L. Matton) DE TERCERA CALIDAD Y DE CASCARILLA COMO SUBPRODUCTOS DEL BENEFICIADO DEL CARDAMOMO PROVENIENTE DE LOS DEPARTAMENTOS DE ALTA VERAPAZ Y QUICHÉ, A NIVEL LABORATORIO Y PLANTA PILOTO

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 23 de enero de 2018.

Mirna Liseth Alvarez Véliz



Guatemala, 07 de octubre de 2021

Ingeniero
Williams Guillermo Álvarez Mejía
Director Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala
Presente

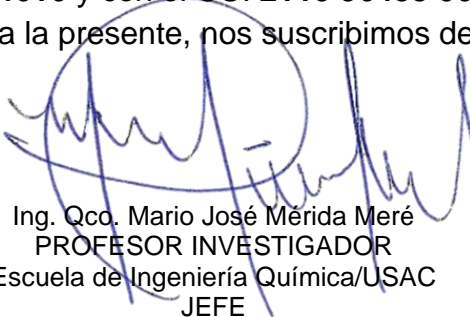
Estimado Ingeniero Álvarez:

Le saludo cordialmente, deseándole éxitos en sus actividades. Por medio de la presente hacemos constar que hemos revisado y aprobado el Informe Final titulado: **“EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO EXTRACTIVO Y CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL ACEITE ESENCIAL DE CARDAMOMO (*Elettaria cardamomum* L. Matton) DE TERCERA CALIDAD Y DE CASCARILLA COMO SUBPRODUCTOS DEL BENEFICIADO DEL CARDAMOMO PROVENIENTE DE LOS DEPARTAMENTOS DE ALTA VERAPAZ Y QUICHÉ, A NIVEL LABORATORIO Y PLANTA PILOTO.”** elaborado por la estudiante de la carrera de Ingeniería Química, **Mirna Liseth Álvarez Veliz**, quien se identifica con el registro académico **201114616** y con el CUI **2110 96458 0609**.

Agradeciendo la atención a la presente, nos suscribimos de usted.

Atentamente,

INGENIERO QUÍMICO
Mario José Mérida Meré
Colegiado No. 1411


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

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




Inga. Qca. Telma Maricela Cano Morales
PROFESORA INVESTIGADORA
DIRECTORA
Centro de Investigaciones de Ingeniería/USAC
Asesora

INGENIERA QUÍMICA
Telma Maricela Cano Morales
Colegiado No. 433



Guatemala, 21 de enero de 2022.
Ref. EIQ.TG-IF.001.2022.

Ingeniero
Williams Guillermo Álvarez Mejía
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Álvarez:

Como consta en el registro de evaluación, correlativo **052-2017**, le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

INFORME FINAL

Solicitado por el estudiante universitario: **Mirna Liseth Alvarez Veliz**.

Identificado con número de carné: **2110964580609**.

Identificado con registro académico: **201114616**.

Previo a optar al título de la carrera: **Ingeniería Química**.

En la modalidad: **Informe Final, Seminario de Investigación**.

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


EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO EXTRACTIVO Y CARACTERIZACIÓN FISCOQUÍMICA DEL ACEITE ESENCIAL DE CARDAMOMO (*Elettaria cardamomum* L. Matton) DE TERCERA CALIDAD Y DE CASCARILLA COMO SUBPRODUCTOS DEL BENEFICIADO DEL CARDAMOMO PROVENIENTE DE LOS DEPARTAMENTOS DE ALTA VERAPAZ Y QUICHÉ, A NIVEL LABORATORIO Y PLANTA PILOTO

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por:

Telma Maricela Cano Morales, profesional de la Ingeniería Química
Mario José Mérida Meré, profesional de la Ingeniería Química

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

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"


Gerardo Ordoñez
profesional de la Ingeniería Química
COORDINADOR DE TERNA
Tribunal de Revisión
Trabajo de Graduación

M.Sc. Ing. Gerardo Ordoñez
Ingeniero Químico
Colegiado No. 1296
Maestría Seguridad Industrial

C.c.: archivo



LNG.DIRECTOR.082.EIQ.2022

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador de Área y aprobación del área de lingüística del trabajo de graduación titulado: **EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO EXTRACTIVO Y CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA DEL ACEITE ESENCIAL DE CARDAMOMO (Elettaria cardamomum L. Matton) DE TERCERA CALIDAD Y DE CASCARILLA COMO SUBPRODUCTOS DEL BENEFICIADO DEL CARDAMOMO PROVENIENTE DE LOS DEPARTAMENTOS DE ALTA VERAPAZ Y QUICHÉ, A NIVEL LABORATORIO Y PLANTA PILOTO**, presentado por: **Mirna Liseth Alvarez Véliz**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería.

“Id y Enseñad a Todos”


Ing. Williams G. Alvarez Mejía, M.U.I.E.
DIRECCIÓN
Escuela de Ingeniería Química



Guatemala, abril de 2022.

LNG.DECANATO.OI.243.2022

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al Trabajo de Graduación titulado: **EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO EXTRACTIVO Y CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL ACEITE ESENCIAL DE CARDAMOMO (*Elettaria cardamomum* L. Matton) DE TERCERA CALIDAD Y DE CASCARILLA COMO SUBPRODUCTOS DEL BENEFICIADO DEL CARDAMOMO PROVENIENTE DE LOS DEPARTAMENTOS DE ALTA VERAPAZ Y QUICHÉ, A NIVEL LABORATORIO Y PLANTA PILOTO** presentado por: **Mirna Liseth Alvarez Véliz**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada

Decana



Guatemala, abril de 2022

AACE/gaoc

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por darme la sabiduría para culminar esta meta.
Mis padres	Mirna Véliz y Luddin Alvarez, por su apoyo incondicional y su amor.
Mi hija	Valentina Alvarez, por ser mi mayor motivación y el motor que me impulsa a ser mejor cada día.
Mis hermanas	Nelly y Victoria Alvarez, por siempre apoyarme y ayudarme en todo momento, las amo.
Mi hermano	Federico Alvarez, por ser mi ayuda incondicional y estar a mi lado en todo momento, te amo.
Mis tías	Aura y Olga Véliz, por darme su amor en cada etapa de mi vida y ser un gran ejemplo de mujeres.
Mi tío	Geovanni Véliz, por darnos su apoyo y ayuda en todo momento.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser mi <i>alma mater</i> .
Facultad de Ingeniería	Por brindarme mediante sus catedráticos los conocimientos necesarios para desempeñarme como profesional.
LIEXVE – Laboratorio de investigación de extractos vegetales	Por ser un pilar importante en mi formación profesional.
Mis asesores	Inga. Telma Cano e Ing. Mario Mérida por su apoyo, amistad y por transmitirme sus valiosos conocimientos.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS.....	XIII
GLOSARIO.....	XV
RESUMEN.....	XVII
OBJETIVOS.....	XIX
HIPÓTESIS.....	XXI
INTRODUCCIÓN.....	XXV
1. ANTEDECENTES.....	1
2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Aceites esenciales.....	5
2.2. Composición química.....	5
2.3. Localización.....	6
2.4. Clasificación.....	7
2.5. Según su consistencia.....	7
2.6. Según su origen.....	8
2.7. Sustitutos sintéticos de los aceites esenciales.....	8
2.8. Propiedades físicas.....	9
2.9. Propiedades químicas.....	10
2.10. Generación de olor característico.....	10
2.11. Factores metabólicos.....	10
2.12. Volatilidad y solubilidad.....	11
2.13. Ubicación de tejidos de la materia vegetal.....	11
2.14. Métodos de obtención de aceites esenciales.....	12

2.15.	Hidrodestilación.....	12
2.16.	Descripción de proceso de extracción.....	13
2.17.	Equipo empleado: Neoclevenger	14
2.18.	Destilación por arrastre con vapor de agua directo	16
2.19.	Enflorado.....	17
2.20.	Fluidos supercríticos	18
2.21.	Expresión	19
2.22.	Caracterización fisicoquímica.....	19
2.23.	Índice de refracción	19
2.24.	Densidad.....	20
2.25.	Solubilidad	20
2.26.	Comatografía de gases acoplado a espectrofotometría de masas	21
2.27.	Cardamomo (<i>Elettaria cardamomum L. Matton</i>).....	22
	2.27.1. Hábitat.....	22
	2.27.2. Obtención.....	23
2.28.	Composición química y principios activos	23
	2.28.1. Metabolitos secundarios presentes en el aceite esencial de cardamomo producido en Guatemala.....	24
2.29.	Agricultura.....	24
2.30.	Planta piloto	25
2.31.	Partes de la planta piloto.....	27
	2.31.1. Condensador.....	27
	2.31.2. Bombas de vacío.....	27
	2.31.3. Columna de destilación	27
	2.31.4. Vaso Florentino	27
	2.31.5. Tubería.....	28
	2.31.6. Válvulas.....	28

2.32.	Economía de los aceites esenciales en Guatemala	29
2.33.	Calidad	29
2.34.	Principales efectos.....	31
3.	METODOLOGÍA.....	33
3.1.	Localización.....	33
3.2.	Variables	33
3.2.1.	Variables independientes.....	34
3.2.2.	Variables dependientes.....	35
3.2.3.	Variable respuesta	35
3.3.	Delimitación del campo de estudio	36
3.3.1.	Obtención de la materia prima	36
3.3.2.	Extracción del aceite esencial	36
3.3.3.	Análisis fisicoquímico del aceite esencial	36
3.3.4.	Análisis cuantitativo del aceite esencial.....	37
3.4.	Recursos humanos disponibles	37
3.5.	Recursos materiales disponibles	37
3.6.	Técnica cualitativa o cuantitativa	40
3.6.1.	Extracción del aceite esencial utilizando la técnica de Hidrodestilación a nivel laboratorio	41
3.6.2.	Extracción del aceite esencial utilizando la técnica de arrastre con vapor a nivel de planta piloto.....	42
3.6.3.	Cálculo de la densidad del aceite esencial.....	43
3.6.4.	Medición de índice de refracción.....	43
3.6.5.	Cromatografía gaseosa con acoplamiento de espectrometría de masas	44
3.6.6.	Determinación de la solubilidad en etanol al 95 %	44
3.7.	Recolección y ordenamiento de la información	45

3.7.1.	Técnica de muestreo	45
3.7.2.	Ordenamiento de las muestras	45
3.8.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información	61
3.9.	Análisis estadístico.....	69
3.9.1.	Media muestral	69
3.9.2.	Desviación estándar	69
3.9.3.	Análisis de varianza.....	70
4.	RESULTADOS.....	83
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	93
	CONCLUSIONES.....	99
	RECOMENDACIONES.....	101
	REFERENCIAS.....	103
	APÉNDICES.....	105
	ANEXOS.....	107

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Esquema del equipo de Neoclevenger	15
2.	Cardamomo (<i>Elettaria cardamomum</i> L. Matton)	22
3.	Planos de la planta piloto de LIEXVE	26
4.	Planta piloto del LIEXVE	28
5.	Rendimiento extractivo del aceite esencial, a nivel.....	84
6.	Rendimiento extractivo del aceite esencial, a nivel planta	85
7.	Densidad del aceite esencial, a nivel laboratorio	88
8.	Densidad del aceite esencial, a nivel planta piloto.....	88

TABLAS

I.	Valores fijos en el proceso extractivo.....	34
II.	Variables independientes de la investigación	34
III.	Variables dependientes de la investigación	35
IV.	Materia prima y reactivos.....	38
V.	Equipo.....	38
VI.	Cristalería y accesorios.....	39
VII.	Recursos generales.....	39
VIII.	Recursos generales II.....	40
IX.	Otros recursos.....	40
X.	Porcentaje de rendimiento obtenido del aceite esencial de cardamomo pergamino de tercera calidad y cascarilla (<i>Elettaria Cardamomum</i> L. <i>Matton</i>) de Alta Verapaz a nivel laboratorio	46

XI.	Porcentaje de rendimiento obtenido del aceite esencial de cardamomo pergamino de tercera calidad y cascarilla (<i>Elettaria Cardamomum I. Matton</i>) de Alta Verapaz a nivel planta piloto	46
XII.	porcentaje de rendimiento obtenido del aceite esencial del cardamomo pergamino de tercera calidad y cascarilla (<i>Elettaria Cardamomum I. Matton</i>) de Quiché a nivel laboratorio	47
XIII.	Porcentaje de rendimiento obtenido del aceite esencial del cardamomo pergamino y cascarilla de tercera calidad (<i>Elettaria Cardamomum I. Matton</i>) de Quiché a nivel planta piloto	47
XIV.	Densidad del aceite esencial del cardamomo pergamino y cascarilla de tercera calidad (<i>Elettaria Cardamomum I. Matton</i>) de Alta Verapaz a nivel laboratorio.....	48
XV.	Densidad del aceite esencial del cardamomo pergamino y cascarilla de tercera calidad (<i>Elettaria Cardamomum I. Matton</i>) de Alta Verapaz a nivel planta piloto.....	48
XVI.	Densidad del aceite esencial del cardamomo pergamino y cascarilla de tercera calidad (<i>Elettaria Cardamomum I. Matton</i>) de Quiché a nivel laboratorio.....	49
XVII.	Densidad del aceite esencial del cardamomo pergamino y cascarilla de tercera calidad (<i>Elettaria Cardamomum I. Matton</i>) de Quiché a nivel planta piloto.....	49
XVIII.	Índice de refracción del aceite esencial del cardamomo pergamino y cascarilla de tercera calidad (<i>Elettaria Cardamomum I. Matton</i>) de Alta Verapaz a nivel laboratorio.....	50
XIX.	Índice de refracción del aceite esencial del cardamomo pergamino y cascarilla de tercera calidad (<i>Elettaria Cardamomum I. Matton</i>) de Alta Verapaz a nivel planta piloto	50

XX.	Índice de refracción del aceite esencial del cardamomo pergamino y cascarilla de tercera calidad (<i>Elettaria Cardamomum I. Matton</i>) de Quiché a nivel laboratorio.....	51
XXI.	Índice de refracción del aceite esencial del cardamomo pergamino y cascarilla de tercera calidad (<i>Elettaria Cardamomum I. Matton</i>) de Quiché a nivel planta piloto.....	51
XXII.	Solubilidad en etanol del aceite esencial del cardamomo pergamino de tercera calidad (<i>Elettaria Cardamomum I. Matton</i>) de Alta Verapaz a nivel laboratorio.....	52
XXIII.	Solubilidad en etanol del aceite esencial del cardamomo pergamino y cascarilla de tercera calidad (<i>Elettaria Cardamomum I. Matton</i>) de Alta Verapaz a nivel planta piloto	52
XXIV.	Solubilidad en etanol del aceite esencial del cardamomo pergamino y cascarilla de tercera calidad (<i>Elettaria Cardamomum I. Matton</i>) de Quiché a nivel planta piloto.....	53
XXV.	Composición química del aceite esencial de cascarilla de cardamomo (<i>Elettaria Cardamomum I. Matton</i>) a nivel laboratorio de la región de Alta Verapaz.....	54
XXVI.	Composición química del aceite esencial de cardamomo de tercera calidad (<i>Elettaria Cardamomum I. Matton</i>) a nivel laboratorio de la región de Alta Verapaz.....	55
XXVII.	Composición química del aceite esencial de cascarilla (<i>Elettaria Cardamomum I. Matton</i>) a nivel planta piloto de la región de Alta Verapaz.....	56
XXVIII.	Composición química del aceite esencial de cardamomo de tercera calidad (<i>Elettaria Cardamomum I. Matton</i>) a nivel planta piloto de la región de Alta Verapaz.....	57
XXIX.	composición química del aceite esencial de cascarilla (<i>Elettaria Cardamomum I. Matton</i>) a nivel laboratorio de la región de Quiché	58

XXX.	Composición química del aceite esencial de cardamomo de tercera calidad (<i>Elettaria Cardamomum I. Matton</i>) a nivel laboratorio de la región de Quiché.....	59
XXXI.	Composición química del aceite esencial de cascarilla (<i>Elettaria Cardamomum I. Matton</i>) a nivel planta piloto de la región de Quiché.....	60
XXXII.	Composición química del aceite esencial de cardamomo de tercera calidad (<i>Elettaria Cardamomum I. Matton</i>) a nivel planta piloto de la región de Quiché.....	61
XXXIII.	Determinación del rendimiento del aceite esencial de cardamomo pergamino de tercera calidad y cascarilla (<i>Elettaria Cardamomum I. Matton</i>) a nivel laboratorio.....	62
XXXIV.	Determinación del rendimiento del aceite esencial de cardamomo pergamino de tercera calidad y cascarilla (<i>Elettaria Cardamomum I. Matton</i>) a nivel planta piloto.....	63
XXXV.	Determinación de la densidad del aceite esencial de cardamomo pergamino de tercera calidad y cascarilla (<i>Elettaria Cardamomum I. Matton</i>) a nivel laboratorio.....	64
XXXVI.	Determinación de la densidad del aceite esencial de cardamomo pergamino de tercera calidad y cascarilla (<i>Elettaria Cardamomum I. Matton</i>) a nivel planta piloto.....	65
XXXVII.	Determinación del índice de refracción del aceite esencial de cardamomo pergamino de tercera calidad y cascarilla (<i>Elettaria Cardamomum I. Matton</i>) a nivel laboratorio.....	66
XXXVIII.	Determinación del índice de refracción del aceite esencial de cardamomo pergamino de tercera calidad y cascarilla (<i>Elettaria Cardamomum I. Matton</i>) a nivel planta piloto.....	67
XXXIX.	Determinación de la solubilidad en etanol del aceite esencial de cardamomo pergamino de tercera calidad y cascarilla (<i>Elettaria Cardamomum I. Matton</i>) a nivel laboratorio.....	68

XL.	Determinación de la solubilidad en etanol del aceite esencial de cardamomo pergamino de tercera calidad y cascarilla (<i>Elettaria Cardamomum l. Matton</i>) a nivel planta piloto.....	68
XLI.	Datos de rendimiento para ANOVA del aceite esencial de cardamomo pergamino de tercera calidad y cascarilla (<i>Elettaria Cardamomum l. Matton</i>) de Alta Verapaz a nivel laboratorio.....	72
XLII.	ANOVA de rendimiento a nivel laboratorio de la región de estudio.....	73
XLIII.	Datos de rendimiento para anova obtenido del aceite esencial de cardamomo pergamino de tercera calidad y cascarilla (<i>Elettaria Cardamomum l. Matton</i>) de Alta Verapaz a nivel planta piloto	74
XLIV.	ANOVA de rendimiento a nivel planta piloto de la región de estudio	74
XLV.	Datos de rendimiento para ANOVA obtenido del aceite esencial del cardamomo pergamino de tercera calidad y cascarilla (<i>Elettaria Cardamomum l. Matton</i>) de Quiché a nivel laboratorio.....	75
XLVI.	ANOVA de rendimiento a nivel laboratorio de la región de estudio.....	76
XLVII.	Datos de rendimiento para ANOVA obtenido del aceite esencial del cardamomo pergamino y cascarilla de tercera calidad (<i>Elettaria Cardamomum l. Matton</i>) de Quiché a nivel planta piloto	76
XLVIII.	ANOVA de rendimiento a nivel planta piloto de la región de estudio	77
XLIX.	Datos de densidad para ANOVA del aceite esencial del cardamomo pergamino y cascarilla de tercera calidad (<i>Elettaria Cardamomum l. Matton</i>) de Alta Verapaz a nivel laboratorio.....	77
L.	ANOVA de densidad a nivel laboratorio de la región de estudio.....	78
LI.	Datos de densidad para ANOVA del aceite esencial del cardamomo pergamino y cascarilla de tercera calidad (<i>Elettaria Cardamomum l. Matton</i>) de Alta Verapaz a nivel planta piloto.....	78
LII.	ANOVA de densidad a nivel planta piloto de la región de estudio	79

LIII.	Datos de densidad para anova del aceite esencial del cardamomo pergamino y cascarilla de tercera calidad (<i>Elettaria Cardamomum I. Matton</i>) de Quiché a nivel laboratorio	79
LIV.	ANOVA de densidad a nivel laboratorio de la región de estudio	80
LV.	Datos de densidad para ANOVA del aceite esencial del cardamomo pergamino y cascarilla de tercera calidad (<i>Elettaria Cardamomum I. Matton</i>) de Quiché a nivel planta piloto	80
LVI.	ANOVA de densidad a nivel planta piloto de la región de estudio	81
LVII.	Rendimiento del aceite esencial de cardamomo pergamino de tercera calidad y cascarilla (<i>Elettaria Cardamomum I. Matton</i>) a nivel laboratorio.....	83
LVIII.	Rendimiento del aceite esencial de cardamomo pergamino de tercera calidad y cascarilla (<i>Elettaria Cardamomum I. Matton</i>) a nivel planta piloto.....	84
LIX.	Densidad del aceite esencial de cardamomo pergamino de tercera calidad y cascarilla (<i>Elettaria Cardamomum I. Matton</i>) a nivel laboratorio.....	86
LX.	Densidad del aceite esencial de cardamomo pergamino de tercera calidad y cascarilla (<i>Elettaria Cardamomum I. Matton</i>) a nivel planta piloto.....	87
LXI.	Índice de refracción del aceite esencial de cardamomo pergamino de tercera calidad y cascarilla (<i>Elettaria Cardamomum I. Matton</i>) a nivel laboratorio.....	89
LXII.	Índice de refracción del aceite esencial de cardamomo pergamino de tercera calidad y cascarilla (<i>Elettaria Cardamomum I. Matton</i>) a nivel planta piloto.....	89
LXIII.	Solubilidad en etanol del aceite esencial de cardamomo pergamino de tercera calidad y cascarilla (<i>Elettaria Cardamomum I. Matton</i>) a nivel laboratorio.....	90

LXIV.	Solubilidad en etanol del aceite esencial de cardamomo pergamino de tercera calidad y cascarilla (<i>Elettaria Cardamomum I. Matton</i>) a nivel planta piloto.....	90
LXV.	Contenido de 1,8-cineol (eucaliptol) en el aceite esencial de cardamomo (<i>Elettaria Cardamomum I. Matton</i>) a nivel laboratorio	91
LXVI.	Contenido de 1,8-cineol (Eucaliptol) en el aceite esencial de cardamomo (<i>Elettaria Cardamomum I. Matton</i>) a nivel planta piloto	91

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
g	Gramos
mf	Masa de aceite y frasco
mo	Masa de frasco
mmp	Masa de materia prima
mL	Mililitro
mm	Milimetro
nm	Nanómetro
%	Porcentaje

GLOSARIO

1,8-cineol	También conocido como eucaliptol componente orgánico mayoritario presente en el aceite esencial de cardamomo el cual indica la calidad de este.
Aceite esencial	Producto de composición compleja que posee los componentes más volátiles, los cuales poseen un carácter intensamente aromático.
Cardamomo	Nombre científico <i>Elettaria cardamomum L. Matton</i> , es un fruto seco proveniente de una planta.
Cromatografía	Método de separación de especies químicas estrechamente relacionadas con especies complejas, empleado para la caracterización de mezclas.
Densidad	Característica física de una sustancia, la cual indica la relación de la cantidad de masa presente en un volumen determinado.
LIEXVE	Laboratorio de investigación de extractos vegetales.

RESUMEN

El objetivo del presente estudio de investigación es la evaluación del rendimiento extractivo, rendimiento volumétrico, densidad, contenido de 1,8-cineol (eucaliptol) y caracterización del aceite esencial de cardamomo (*Elettaria cardamomum* L. Matton), de tercera calidad y de cascarilla provenientes de Alta Verapaz y Quiché mediante el método de hidrodestilación a nivel laboratorio y el método de arrastre con vapor a nivel planta piloto.

La investigación se llevó a cabo en el Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales (LIEXVE), Sección Química Industrial del Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Se procedió a realizar la molienda del fruto y de la cascarilla de cardamomo en un molino para café, con el objetivo de poder disminuir el tamaño de partícula y así poder extraer todos los componentes del vegetal. Se realizaron las pruebas de extracción del aceite esencial de cardamomo, tanto del fruto como de la cascarilla, a nivel laboratorio por el método de Hidrodestilación empleando el equipo llamado Neoclevenger utilizando agua desmineralizada, con una temperatura de extracción de 94 °C.

Se determinó el máximo porcentaje de rendimiento extractivo de ambas procedencias, el cual dio como resultado que el cardamomo proveniente de Quiché, con 4,67 % en fruto y 0,37 % en cascarilla con una densidad de 0,92g/ml para ambas materias primas con un índice de refracción de 1,42 para el fruto y 1,47 para la cascarilla con un porcentaje de 1,8-cineol de 17,99 % para el fruto y 18,62 % para la cascarilla, fue mayor que el rendimiento extractivo de la materia

prima proveniente de Alta Verapaz, 2,99 % en fruto y 0,14 % en cascarilla con 0.92 g/ml y 0,88g/ml de densidad respectivamente, con un índice de refracción de 1,47 para el fruto y 1,50 para la cascarilla y con una solubilidad del 0,200ml/ml para el cardamomo pergamino tiene un porcentaje de 1,8-cineol de 18,49 % para el fruto y 20,08 % para la cascarilla.

Así mismo se realizó a nivel planta piloto, utilizando el método de destilación por arrastre con vapor directo, el cual consiste en poner en contacto la materia prima con vapor saturado, donde el porcentaje de rendimiento de la materia prima proveniente de Quiche con 6,74 % en fruto y 0,06 % en cascarilla con una densidad de 0,81 g/ml para el fruto y 0.98 g/ml para la cascarilla.

Un índice de refracción de 1,42 para el fruto y 1,50 para la cascarilla con una solubilidad de 0,47 ml/ml en cardamomo pergamino, con un porcentaje de 1,8-cineol de 18,02 % para el fruto, y 17,53 % para la cascarilla.

Es mayor en comparación al rendimiento extractivo del aceite esencial proveniente de Alta Verapaz con 2,55 % en fruto y 0,04 % en cascarilla con una densidad de 0,92 g/ml para el fruto y 0,83 g/ml para la cascarilla y con un índice de refracción de 1,47 para el fruto y 1,50 para la cascarilla con una solubilidad del 0,27 ml/ml para el fruto y 0,20 ml/ml para la cascarilla y con un porcentaje de 1,8-cineol de 16,88 % para el fruto y 19,92 % para la cascarilla.

OBJETIVOS

General

Evaluar y caracterizar fisicoquímicamente el aceite esencial de cardamomo (*Elettaria cardamomum* L. Matton) de tercera calidad y cascarilla, obtenido de los departamentos de Alta Verapaz y Quiché a nivel laboratorio y planta piloto.

Específicos

1. Evaluar el rendimiento del aceite esencial de cardamomo (*Elettaria cardamomum* L. Matton), en función de la región de procedencia de la materia prima: Alta Verapaz y Quiché a nivel laboratorio y planta piloto.
2. Evaluar el rendimiento del aceite esencial de cardamomo (*Elettaria cardamomum* L. Matton,) en función del tipo de subproducto del beneficiado del cardamomo: cardamomo de tercera calidad y cascarilla a nivel laboratorio y planta piloto.
3. Caracterizar fisicoquímicamente el aceite esencial de cardamomo (*Elettaria cardamomum* L. Matton), con base al índice de refracción, solubilidad y densidad en función de la región de procedencia de la materia prima: Alta Verapaz y Quiché a nivel laboratorio y planta piloto.

4. Caracterizar fisicoquímicamente el aceite esencial de cardamomo (*Elettaria cardamomum* L. Matton), con base al índice de refracción, solubilidad y densidad en función del tipo de subproducto del beneficiado del cardamomo: cardamomo de tercera calidad y cascarilla a nivel laboratorio y planta piloto.
5. Evaluar el contenido de 1,8-cineol (eucaliptol) del aceite esencial de cardamomo (*Elettaria cardamomum* L. Matton), en función de la región de procedencia de la materia prima: Alta Verapaz y Quiché.
6. Evaluar el contenido de 1,8-cineol (eucaliptol) del aceite esencial de cardamomo (*Elettaria cardamomum* L. Matton), en función del tipo del subproducto del beneficiado del cardamomo: cardamomo de tercera calidad y cascarilla.

HIPÓTESIS

Hipótesis alternativa

- **Ho₁:** sí Existe diferencia significativa entre el rendimiento extractivo del aceite esencial de cardamomo pergamino, de tercera calidad y cascarilla; en función de la procedencia de la materia prima: Alta Verapaz y Quiché a nivel laboratorio y planta piloto.
- **Ho₂:** sí Existe diferencia significativa entre el rendimiento extractivo del aceite esencial de cardamomo pergamino, de tercera calidad y cascarilla; en función del tipo de subproducto del beneficiado del cardamomo: cardamomo de tercera calidad y cascarilla a nivel laboratorio y planta piloto.
- **Ho₃:** sí Existe diferencia significativa entre la caracterización fisicoquímica: índice de refracción, solubilidad y densidad del aceite esencial de cardamomo pergamino, de tercera calidad y cascarilla; en función de la procedencia de la materia prima: Alta Verapaz y Quiché a nivel laboratorio y planta piloto.
- **Ho₄:** sí Existe diferencia significativa entre la caracterización fisicoquímica: índice de refracción, solubilidad y densidad del aceite esencial de cardamomo pergamino, de tercera calidad y cascarilla; en función del tipo de subproducto del beneficiado del cardamomo: cardamomo de tercera calidad y cascarilla a nivel laboratorio y planta piloto.

- **Ho₅**: el rendimiento de extracción del aceite esencial de cardamomo pergamino, cardamomo de tercera calidad y cascarilla; sí varía significativamente en función de la región de procedencia de la materia prima: Alta Verapaz y Quiché.
- **Ho₆**: el rendimiento de extracción del aceite esencial de cardamomo pergamino, cardamomo de tercera calidad y cascarilla; sí varía significativamente en función del tipo de subproducto del beneficiado del cardamomo: cardamomo de tercera calidad y cascarilla.

Hipótesis nula

- **Ho₁**: no Existe diferencia significativa entre el rendimiento extractivo del aceite esencial de cardamomo pergamino, de tercera calidad y cascarilla; en función de la procedencia de la materia prima: Alta Verapaz y Quiché a nivel laboratorio y planta piloto.
- **Ho₂**: no Existe diferencia significativa entre el rendimiento extractivo del aceite esencial de cardamomo pergamino, de tercera calidad y cascarilla; en función del tipo de subproducto del beneficiado del cardamomo: cardamomo de tercera calidad y cascarilla a nivel laboratorio y planta piloto.
- **Ho₃**: no Existe diferencia significativa entre la caracterización fisicoquímica: índice de refracción, solubilidad y densidad del aceite esencial de cardamomo pergamino, de tercera calidad y cascarilla; en función de la procedencia de la materia prima: Alta Verapaz y Quiché a nivel laboratorio y planta piloto.

- **Ho₄**: no Existe diferencia significativa entre la caracterización fisicoquímica: índice de refracción, solubilidad y densidad del aceite esencial de cardamomo pergamino, de tercera calidad y cascarilla; en función del tipo de subproducto del beneficiado del cardamomo: cardamomo de tercera calidad y cascarilla a nivel laboratorio y planta piloto.
- **Ho₅**: el rendimiento de extracción del aceite esencial de cardamomo pergamino, cardamomo de tercera calidad y cascarilla; no varía significativamente en función de la región de procedencia de la materia prima: Alta Verapaz y Quiché.
- **Ho₆**: el rendimiento de extracción del aceite esencial de cardamomo pergamino, cardamomo de tercera calidad y cascarilla; no varía significativamente en función del tipo de subproducto del beneficiado del cardamomo: cardamomo de tercera calidad y cascarilla.

INTRODUCCIÓN

El cardamomo, por su contenido en aceites esenciales y su agradable aroma, se utiliza mezclado con café, en repostería, cosméticos y para aromatizar licores. Al cardamomo (*Elettaria cardamomum* L. Matton), se le atribuye efectos medicinales como: un digestivo y para eliminar grasa corporal; también es considerado como afrodisíaco. Sus múltiples usos han hecho de esta especie, a nivel mundial, la segunda de mayor valor, después del azafrán.

Los aceites esenciales han sido utilizados a lo largo de la historia para una gran variedad de aplicaciones por sus propiedades. Los egipcios fueron algunos de las primeras personas en usar aceites esenciales aromáticos ampliamente en la práctica médica, tratamientos de belleza, preparación de alimentos y en ceremonias religiosas. El incienso, sándalo, mirra y la canela eran considerados tan valiosos en las rutas comerciales y caravanas que muchas veces eran intercambiados por oro.

Son productos obtenidos de materias primas naturales y por el método de destilación por arrastre con vapor de agua. A menudo los aceites esenciales consisten en mezclas de productos químicos. En su mayoría están constituidos por terpenos, que son hidrocarburos.

Son mezclas químicas que son biosintetizados por las plantas y forman las esencias odoríferas de un gran número de estas. Se encuentran principalmente en las semillas, cortezas, tallos, raíces, flores y otras partes de las plantas. En general, son líquidos a temperatura ambiente y su densidad es inferior a la del agua para la mayoría de los aceites.

La calidad y la intensidad de los aceites esenciales varían debido a: variedad de la planta, condiciones de cultivo, época de recolección, parte cosechada de la planta, manejo del material vegetal, métodos de extracción, entre otros.

En el presente trabajo de investigación se evaluó el rendimiento extractivo másico mediante el método de Hidrodestilación a nivel laboratorio y con el método de arrastre con vapor a nivel planta piloto así como el contenido de 1,8-cineol por medio de una cromatografía gaseosa con acoplamiento a espectrometría de masas y la caracterización fisicoquímica evaluando la densidad, índice de refracción y solubilidad en etanol del aceite esencial de cardamomo en función de su procedencia y su calidad.

1. ANTEDECENTES

Dentro del estudio de los aceites esenciales estos son algunos estudios que se han realizado del aceite esencial de cardamomo (*Elettaria cardamomum* L. Matton) a lo largo de los años.

En la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, en el 2014 Stephany Michelle Espina Quiñonez realizó su estudio de graduación titulado: Evaluación del rendimiento extractivo y caracterización fisicoquímica del aceite esencial de cardamomo (*Elettaria cardamomum* L. Matton) de primera, segunda y tercera calidad mediante el método de hidrodestilación a nivel laboratorio.

El objetivo de dicho estudio fue evaluar el rendimiento extractivo y la caracterización fisicoquímica del aceite esencial en función de tres calidades de pergamino y con base al tiempo extractivo, mediante el método de hidrodestilación a nivel laboratorio. Dando como resultado que el mayor rendimiento extractivo se obtuvo para el cardamomo de primera calidad para un tiempo de 240 minutos el cual fue 4,31 %.

En el 2006 Krista Ivonne Aguilar Ovando en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala realizó su estudio de graduación titulado: Evaluación de un método experimental de generación de datos a nivel de laboratorio para el estudio del sistema ternario aceite esencial de cardamomo (*Elettaria cardamomum*) -(alcohol isopropílico-agua) 50 %-benceno en equilibrio a dos temperaturas diferentes y 640 milímetros de mercurio.

El objetivo del estudio fue evaluar un método experimental para la generación de datos a nivel de laboratorio del sistema aceite esencial de cardamomo-(alcohol isopropílico-agua) 50 %-benceno en equilibrio líquido-líquido. Dando como resultados que el aceite esencial de cardamomo es insoluble en agua, en contraste con el isopropanol puro, el cual es miscible completamente en benceno.

Para la determinación de las concentraciones del aceite esencial, se empleó el método de refractometría en conjunto con el 2 método de picnometría, dando como resultado que el índice de refracción del sistema ternario disminuye al incrementarse la concentración del aceite esencial de cardamomo, siendo este de 1.5011.

En la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, realizó su estudio de graduación en el 2004 German Almengol Huitz Canastuj, titulado: Obtención y caracterización fisicoquímica del aceite esencial, extraído por arrastre de vapor de cáscara de cardamomo.

El objetivo principal del estudio fue aprovechar el desecho o subproducto de la agroindustria de cardamomo, mediante la extracción de aceite esencial crudo de la cáscara de cardamomo, así como determinar el contenido de aceite esencial crudo de la cáscara.

Por último, se concluyó que, para una empresa exportadora de cardamomo ya establecida, es factible económicamente la extracción de aceite crudo de la cáscara de cardamomo a nivel industrial.

En el 2002, Vivianne Patricia Ruiz Valenzuela en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala realizó su estudio de graduación

titulado: Evaluación del rendimiento de extracción de aceite esencial de cardamomo a partir de semilla de *Elettaria cardamomum* de tres calidades distintas cultivadas en el departamento de Suchitepéquez.

El objetivo del estudio fue establecer parámetros de comparación del rendimiento de extracción de aceite esencial de la semilla de cardamomo a partir de tres calidades clasificadas como primera, segunda y tercera, cultivadas en el municipio de Mazatenango, departamento de Suchitepéquez.

Se varió la cantidad de materia prima para la extracción de aceite esencial empleando 20, 40 y 80 gramos de semilla de cardamomo para las tres calidades, obteniendo para la primera calidad un rendimiento máximo de 3,75 % para una masa inicial de 80 gramos.

Para la segunda calidad se obtuvo un rendimiento máximo de 3,41 % para una masa inicial de 80 gramos y para la tercera calidad se obtuvo un rendimiento de 3,41 por ciento para una masa de 80 gramos.

En 1988 en la Universidad Rafael Landívar se realizó el estudio titulado: Métodos de extracción, densidad e índice de refracción del aceite esencial de cardamomo.

El estudio consistió en la evaluación del rendimiento del aceite esencial de cardamomo de primera y baja calidad de oro y la cáscara para introducirlo al mercado internacional para su exportación mediante el método de arrastre de vapor y extracción con solvente.

Los rendimientos más altos obtenidos para el cardamomo de distintos lugares de cultivo fueron: 7,40 % para el cardamomo oro perteneciente a Cobán,

Guatemala; 3,23 % para el cardamomo amarillo perteneciente a Suchitepléquez,
Guatemala; 3,125 % para el cardamomo oro amarillo perteneciente a San
Marcos, Guatemala.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Aceites esenciales

Los aceites esenciales o esencias son productos de composición compleja que posee componentes volátiles (generalmente terpenos), estos poseen un olor característico a partir de materias primas frescos de origen vegetal, es frecuente que un aceite esencial contenga más de doscientos componentes, la falta de un elemento puede cambiar el aroma.

La misma especie botánica, cultivada en diferentes partes del mundo, tiene generalmente los mismos componentes; sin embargo, las condiciones climáticas y topográficas que afectan a las plantas pueden modificar el aceite esencial cuantitativamente.

Son líquidos a temperatura ambiente, generalmente incoloros y de densidad inferior a la del agua, en su mayoría insolubles en agua, pero fácilmente solubles en alcohol, éter y aceites vegetales y minerales, se oxidan por exposición al aire. Por lo general no son oleosos al tacto.

2.2. Composición química

Los aceites esenciales son mezclas complejas y muy variables de constituyentes que pertenecen a dos grupos caracterizados por orígenes biogénicos distintos: el grupo de los terpenoides y el grupo de los compuestos aromáticos derivados del fenilpropano, mucho menos frecuentes.

Generalmente los componentes mayoritarios de los aceites esenciales son hidrocarburos terpénicos; a causa que los terpenos son inodoros, estos no aportan significativamente al carácter aromático del aceite esencial.

En menor concentración se encuentra un número no muy alto de sustancias químicas volátiles que son los responsables principales del aroma global del aceite esencial, que son los grupos funcionales: aldehídos, cetonas, alcoholes, fenoles, ésteres, cetonas, entre otros.

Otros componentes del aceite esencial no están relacionados con su aroma (ceras y ácidos), pero sí pueden tener su importancia para determinadas aplicaciones y pueden actuar como conservantes, antibióticos, o fijadores del aroma en el aceite esencial.

2.3. Localización

Los aceites esenciales se encuentran muy difundidos en el reino vegetal y en la mayoría de especies vegetales conocidas en distintas composiciones, siendo posible su extracción de diversas partes de la estructura vegetal: flores (lavanda, jazmín), hojas (albahaca, ciprés, eucalipto), frutos (anís, ciprés), madera (cedro, cidro) raíz (jengibre), cáscara de los frutos (limón, naranja), y en las diferentes partes de la misma planta proporcionan aceite esencial distinto en composición y propiedades.

Las cantidades y composiciones de los aceites varían de una especie vegetal a otra, dentro de 7 los mismos géneros de planta, y aun dentro de las mismas especies dependiendo de la región de cultivo, el clima, temperatura, altitud, la madurez de la planta, otros.

2.4. Clasificación

Los aceites esenciales se pueden clasificar de acuerdo a distintos criterios: consistencia, origen y naturaleza química de los componentes mayoritarios.

2.5. Según su consistencia

Los aceites esenciales pueden ser clasificados de acuerdo a su consistencia que poseen en su estado natural, estos se clasifican en esencias fluidas, bálsamos y oleorresinas; consistencias que se describen a continuación.

- Esencias fluidas: son líquidos volátiles a temperatura ambiente
- Bálsamos: son extractos naturales obtenidos de un arbusto o un árbol. Se caracterizan por tener un alto contenido de ácido benzoico y cinámico, así como sus correspondientes ésteres. Son de consistencia más espesa, son poco volátiles y propensos a sufrir reacciones de polimerización, son ejemplos el bálsamo de copaiba, el bálsamo del Perú, benjuí, bálsamo de tolú, estoraque, otros.
- Oleorresinas: son mezclas homogéneas de resinas y aceites esenciales. También se utiliza el término oleorresina para nombrar los extractos vegetales obtenidos mediante el uso de solventes, y deben estar libres de dichos solventes. Tienen el aroma de la materia vegetal en forma concentrada y normalmente son líquidos muy viscosos o sustancias semisólidas. Se utilizan extensamente para la sustitución de especias de uso alimenticio y farmacéutico por su variedad de ventajas como su estabilidad y uniformidad química y microbiológica, facilidad de incorporar al producto terminado.

2.6. Según su origen

Los aceites esenciales pueden ser clasificados de acuerdo a la fuente de la que se originan, estos se encuentran entre las categorías de naturales, artificiales y sintéticos; y se describen a continuación.

- **Naturales:** los aceites esenciales naturales se obtienen directamente de la planta y no sufren modificaciones físicas ni químicas posteriores, debido a su proceso de extracción y al rendimiento bajo que se obtiene son de costo elevado.
- **Artificiales:** se obtienen a través de procesos de enriquecimiento de la misma esencia con uno o varios de sus componentes. Por ejemplo, la mezcla de los aceites esenciales de rosa, geranio y jazmín, enriquecida con linalool.
- **Sintéticos:** son producidos por la combinación de sus componentes y son la mayoría de las veces producidos por procesos de síntesis química. Estos son más económicos y por lo tanto son mucho más utilizados como aromatizantes y saborizantes en la industria alimenticias.

2.7. Sustitutos sintéticos de los aceites esenciales

Las fluctuaciones en el mercado y en la disponibilidad de los aceites naturales han inducido a los consumidores a buscar sustitutos. Varios de los primeros aceites de gran consumo se han reemplazado por productos sintéticos debido a la gran demanda que estos poseen. Las variaciones marcadas en el costo son especialmente evidentes en esencias como las de rosa, jazmín, violeta, lila, entre otros.

La síntesis artificial de estas esencias es económicamente redituable. Las técnicas y sistemas modernos ofrecen la posibilidad de un análisis completo de estos aceites. Las principales compañías de saborizantes y ganancias de todo el mundo han aprovechado lo anterior para fabricar sustitutos baratos y fáciles de obtener.

No obstante, hay una tendencia a evitar el uso de aceites sintéticos, ya que su obtención no es, en la mayoría de los casos, técnica, estética ni económicamente posible.

Al seleccionar aceites esenciales, lo más importante es comprender la diferencia entre aceites esenciales puros y productos sintéticos, aunque algunos aceites sintéticos pueden poseer el olor característicos de alguna materia vegetal, pero debido a que no poseen la totalidad de los innumerables componentes de los aceites esenciales, los aceites sintéticos jamás podrán producir los mismos resultados deseables que producen los aceites esenciales puros.

Asimismo, los sustitutos sintéticos adolecen del equilibrio y la sinergia presentes en los aceites esenciales puros.

2.8. Propiedades físicas

Los aceites esenciales son volátiles y líquidos a temperatura ambiente. Recién destilados son incoloros o ligeramente amarillos. En su mayoría la densidad es inferior a la del agua (a excepción del clavo de olor). Son insolubles en agua y solubles en alcoholes, éteres y en disolventes orgánicos habituales ya que son liposolubles, cabe mencionar que son arrastrables por el vapor de agua.

2.9. Propiedades químicas

En la actualidad se conocen más de doscientos aceites esenciales de apreciado valor comercial en ellos se han identificado alrededor de cuatrocientos componentes químicos. Sus componentes pueden ser agrupados casi en su totalidad en dos grupos caracterizados por orígenes biogenéticos distintos: el grupo de los terpenoides y el grupo de los compuestos aromáticos derivados del fenilpropano, como se mencionó anteriormente.

Los terpenoides son aceites contienen únicamente los terpenos más volátiles: monoterpenos, con cadenas C10-C15; y sesquiterpenos, con cadenas C15-C20.

Dentro de estas dos clasificaciones es posible encontrar alcoholes, aldehídos, cetonas, ésteres, éteres, peróxidos y fenoles. Luego se encuentran los compuestos aromáticos que son derivados del fenilpropano (C6-C3), son menos frecuentes que los terpenoides.

2.10. Generación de olor característico

La generación del olor característico de una materia vegetal no es el mismo al de su aceite esencial, esto se debe a distintas razones, y se enumeran seguidamente.

2.11. Factores metabólicos

Una vez que la planta es cosechada para ser extraída, el metabolismo de la misma no permanece inalterado o estático, sino que continúa evolucionando en la medida que no se le elimine la mayor cantidad de agua, lo que finalmente

inhibe los procesos enzimáticos. Se ha demostrado experimentalmente que no es igual el olor de una flor en un pie vivo de una planta, que la misma flor ya cortada.

2.12. Volatilidad y solubilidad

Para poder oler en una planta los productos aromáticos pesados habría que dejar secar la planta para eliminar los más livianos; como esto no ocurre normalmente, la presencia de los más volátiles cubre continuamente a los constituyentes aromáticos pesados. Situación que no ocurre si se huele la esencia pura, a medida que se van volatilizando las fracciones más livianas, se van detectando los componentes más pesados del aceite esencial.

Los productos que poseen alta volatilidad suelen perderse durante los procesos extractivos, sobre todo cuando se utiliza la destilación por arrastre con vapor de agua.

Se debe de tener en cuenta que, cuando se obtiene un aceite esencial por arrastre de vapor, algunos compuestos quedan parcialmente retenidos en la fase acuosa.

2.13. Ubicación de tejidos de la materia vegetal

Cada parte de la planta puede tener un aceite esencial distinto, en su calidad olfativa, parece lógico pensar que puede existir una esencia en las partes más externas de la planta, las que se pueden oler y otra esencia en las partes más internas que no se pueden oler, pero cuando son extraídas, se mezclan y producen un aroma distinto del detectado en la planta viva.

2.14. Métodos de obtención de aceites esenciales

La obtención de los aceites esenciales de las partes vegetales de una planta se realiza de diversas formas, se obtienen mayormente por hidrodestilación, destilación por arrastre con vapor de agua directo, enflorado, extracción con fluidos supercríticos y expresión.

2.15. Hidrodestilación

Existen diversos desechos generados por la actividad comercial de la empresa. La hidrodestilación también es llamada: destilación por arrastre de vapor, extracción por arrastre, hidrodifusión o hidroextracción. Sin embargo, no existe un nombre claro y conciso para definirlo, debido a que se desconoce exactamente lo que sucede en el interior del equipo principal y porque se usan diferentes condiciones del vapor de agua para el proceso. Es así como, cuando se usa vapor saturado o sobrecalentado, fuera del equipo principal, es llamado destilación por arrastre de vapor comenta Günther.

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

Para obtener el aceite esencial de una planta aromática, mediante el uso del vapor saturado a presión atmosférica. El generador de vapor no forma parte del recipiente donde se almacena la materia prima, es externo y suministra un

flujo constante de vapor. Su presión es superior a la atmosférica, pero el vapor efluente, que extrae al aceite esencial está a la presión atmosférica.

La materia prima forma un lecho compacto y se desprecia el reflujo interno de agua debido a la condensación del vapor circundante.

2.16. Descripción de proceso de extracción

El proceso de hidrodestilación es la destilación de un material vegetal con vapor de agua, la función del vapor de agua es arrastrar el aceite esencial presente en el material vegetal empleado.

Es posible que se dé la destilación en este proceso, debido a que normalmente los aceites esenciales tienen un punto de ebullición superior al del agua, pero la mezcla de aceite esencial y agua que se produce presenta un punto de ebullición inferior. Al pasar por el condensador, los vapores se enfrían, condensan y se transforman en un líquido formado por dos fases inmiscibles.

La primera es la fase orgánica, en donde se encuentra el aceite esencial deseado, la segunda es la fase acuosa en donde para ciertos aceites esenciales se encuentra una cantidad de esencia, esta fase acuosa es llamada hidrolato. La fase orgánica, formada por el aceite esencial, se separa fácilmente de la acuosa al tener distinta densidad y ser inmiscibles.

Normalmente la fase orgánica formada por el aceite esencial es la fase menos densa y por ello se encuentra sobre la fase acuosa, aunque hay excepciones como lo es el aceite esencial de clavo de olor.

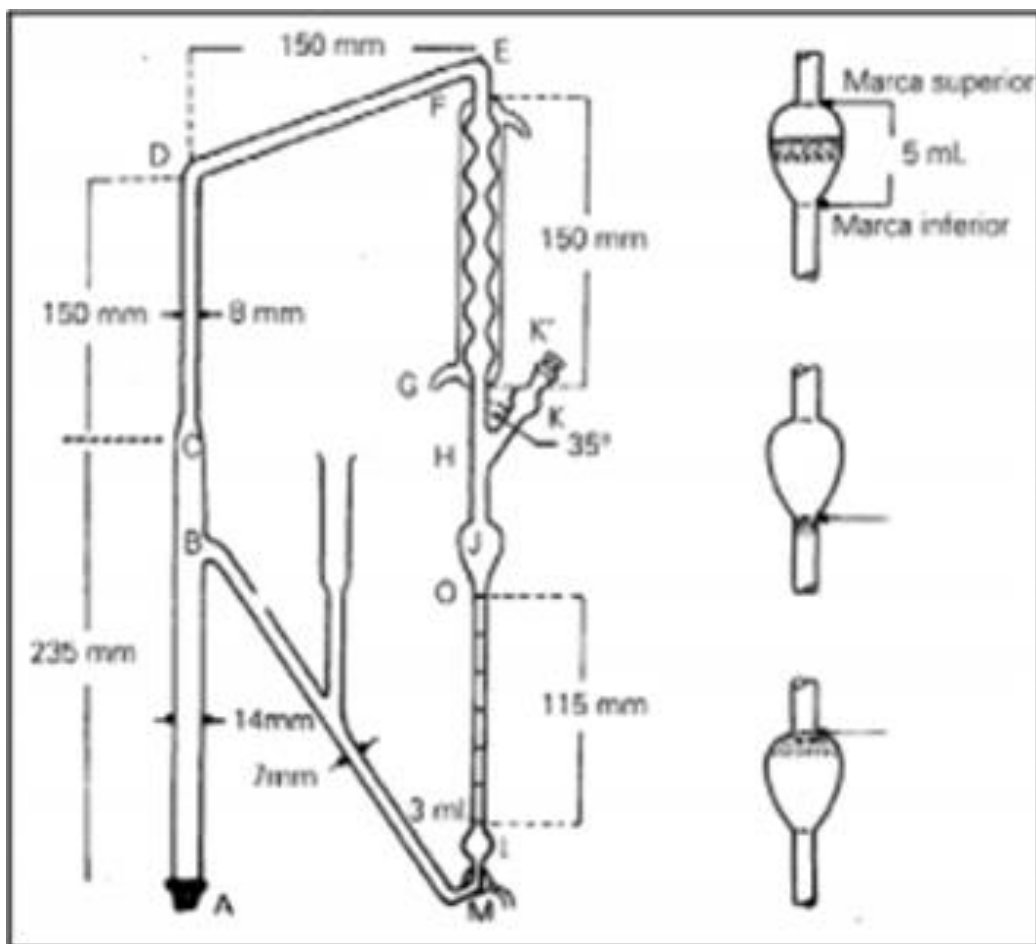
La hidrodestilación es un procedimiento ampliamente utilizado debido a que el equipo es sencillo y posee una amplia versatilidad con respecto a los materiales vegetales utilizados en este método.

El principal inconveniente del método de hidrodestilación es la alta temperatura de operación, esto lo hace inapropiado para aquellos aceites esenciales con componentes termolábiles. Una operación incorrecta de este método puede producir un aceite esencial de baja calidad y con un aroma desagradable.

2.17. Equipo empleado: Neoclevenger

El equipo para la obtención de aceite esencial a nivel laboratorio es el Neoclevenger, es considerado en varios estándares internacionales como el más adecuado para la determinación del contenido total del aceite esencial de una materia vegetal.

Figura 1. Esquema del equipo de Neoclevenger



Fuente: DE SILVA, Tuiel. *Manual on the essential oil industry*. p. 156.

Los puntos F y G corresponden a la sección del condensador de bolas, el cual condensa el vapor por expansión y contracción, además del acondicionamiento térmico de agua fría recirculando por la cámara de enfriamiento; el punto H corresponde a la sección que dirige el agua y el aceite esencial condensados hacia la cámara de captura de aceite esencial; los puntos K y K' son dos secciones del Neoclevenger muy importantes, la sección K tiene un agujero diminuto que permite el venteo y mantiene el sistema a presión

atmosférica y la sección K' corresponde a un tapón especial que no permite que el aceite esencial volatilizado se escape del sistema.

El punto J corresponde a una cámara de captura de aceite esencial, en ella se acumula todo el aceite esencial producto de la extracción; los puntos O y L delimitan la sección volumétrica, en esta sección se puede medir el volumen del aceite esencial extraído con una alta precisión (0,01 mililitros como unidad más pequeña).

Finalmente, el punto M corresponde a una válvula que permite la conexión del agua condensada con su retorno al sistema de extracción ó bien para la recuperación del aceite esencial obtenido durante el proceso de extracción.

2.18. Destilación por arrastre con vapor de agua directo

La destilación por arrastre con vapor de agua directo consta de las siguientes partes: una fuente de calor que genera vapor, una marmita, vaso florentino, condensador y un refrigerante para vapores.

El método consiste en colocar la materia prima (materia vegetal), en contacto directo con vapor seco generado de una caldera. Esta materia es distribuida de manera uniforme dentro de la marmita y posteriormente se humedece para garantizar que el vapor de agua penetre toda el área para que se tenga mayor contacto con la materia prima vegetal.

El vapor atraviesa la materia vegetal, extrae y arrastra el aceite esencial, este lleva un punto bajo de volatilización y lo lleva hasta el condensador, donde al enfriarse se condensa y se separa el agua del aceite por diferencia en su

densidad y es depositado en un recipiente llamado vaso florentino, haciendo más fácil la separación debido a esta diferencia de densidades.

Este método tiene la ventaja que el vapor que se pone en contacto con el material vegetal se encuentra a mayor presión, lo que logra favorecer la extracción rompiendo más fácilmente las micelas donde se encuentra el aceite esencial en la materia vegetal.

2.19. Enflorado

Es comúnmente llamado método de enflorado, enfloración o enfleurage, consiste en poner en contacto el material vegetal (generalmente se emplea flores), con aceite vegetal.

El aceite esencial es solubilizado en el aceite vegetal, y tiene la función de actuar como un medio extractor. El método de extracción con grasa fría es sencillo y consiste en poner en contacto la materia prima con una capa delgada de grasa dentro de cámaras pequeñas.

Al desprenderse el perfume de las flores, se fija en la grasa, debido a su gran afinidad, y después de renovar varias veces las flores se dejan los pétalos 24 horas sobre la grasa (cuerpo).

Pasado 60 días aproximadamente, al final del período de recolección, la grasa (que no ha sido renovada), llega a estar saturada con el aceite de la flor. La extracción alcohólica de la grasa olorosa, denominada pomada, da una solución llamada extracto; eliminando el alcohol por destilación.

También puede efectuarse el enflorado sobre carbón, no se diferencia nada el procedimiento; otro sistema de enflorado consiste en usar paños de tela muy absorbentes de algodón impregnados de aceite, después se exprimen los paños y se obtiene un aceite perfumado, tanto el aceite como la gras a que se usan, deben ser previamente purificados y desodorizados.

2.20. Fluidos supercríticos

Este método es de desarrollo actual, la materia vegetal es cortada en trozos pequeños o molido, se empaca en un cámara de acero inoxidable y se hace circular a través de esta un líquido supercrítico, los aceites esenciales son así solubilizados y arrastrados y el líquido supercrítico que actúa como disolvente extractor y se elimina por descompresión progresiva hasta alcanzar la presión y temperatura ambiente y finalmente se obtiene el aceite esencial.

La extracción con fluidos supercríticos puede ser realizada mediante dos modos de operación.

El primero es por extracción selectiva en donde se envuelve la capacidad de solvatación del fluido utilizado en la extracción por medio de la manipulación de las condiciones de temperatura y presión o modificando la naturaleza química del solvente con la adición de un con solvente.

El segundo es por separación selectiva, esta se obtiene por medio de la despresurización, un calentamiento o enfriamiento gradual del sustrato, permitiendo con esto un fraccionamiento controlado de los productos por extraer.

2.21. Expresión

El objetivo primordial de este método es exprimir por máquinas manualmente la materia vegetal de la que se desea obtener el aceite esencial, la idea es producir la misma cantidad y calidad del aceite esencial, este es el método que más tiene aplicación en el área comercial debido a que es simple de operar.

Existe una variación para este método y es el de utilizar una esponja para obtener mayor cantidad de aceite esencial, este consiste principalmente es partir la materia vegetal, se moja y se deja reposar sumergido durante varias horas. Luego cada parte obtenida de la cáscara se prensa fuertemente contra una esponja y tiene la función de absorber el aceite esencial, que es exprimido constantemente en un recipiente distinto.

Este método aún se practica en algunos países, principalmente en Sicilia y se emplea mayormente para la obtención de aceite esencial de frutas cítricas.

2.22. Caracterización fisicoquímica

La caracterización fisicoquímica de un aceite esencial permite visualizar los parámetros de control de calidad de este, a continuación, se describen los principales análisis realizados a aceites esenciales.

2.23. Índice de refracción

El índice de refracción es la relación que existe entre el seno del ángulo de incidencia y el seno del ángulo de refracción de un rayo luminoso, de una longitud de onda determinada, que pasa del aire a la sustancia en examen.

Esta se mantiene a una temperatura constante y determinada. El método para la obtención del índice de refracción se basa en la medida directa del ángulo de refracción; o bien, en la observación del límite de reflexión total. El índice de refracción es una magnitud exclusiva de cada aceite esencial y que cambia si se diluye o mezcla con otras soluciones.

2.24. Densidad

La densidad de un aceite esencial es una propiedad física que se caracteriza y está definida como el cociente entre la masa y el volumen de este. Esta propiedad depende directamente de la temperatura, y al medir la densidad de un aceite esencial se debe considerar la temperatura a la cual se realiza la medición, en general esta medición se obtiene a temperatura ambiente.

La mayoría de los aceites esenciales poseen una densidad menor a la densidad del agua (a excepción del clavo de olor), por lo que esta es una referencia empleada constantemente al obtener aceites esenciales.

2.25. Solubilidad

Como se mencionó anteriormente, los aceites esenciales son insolubles en agua debido a que la densidad de estos es menor a la del agua. Con alcohol etílico, si a este se le va a añadiendo agua de forma progresiva, la mezcla disolverá menos aceite esencial. Dependiendo del tipo de aceite esencial que se trate se disolverá completamente en una mezcla alcohol-agua que lleve como máximo una determinada proporción de agua.

Se determina la proporción alcohol-agua, obteniendo la menor cantidad de alcohol en esta mezcla, y que sea suficiente para disolver el aceite esencial formando una sola fase.

2.26. Cromatografía de gases acoplado a espectrofotometría de masas

La cromatografía de gases se emplea cuando los componentes de la mezcla problema son volátiles o semivolátiles y térmicamente estables a temperaturas de hasta 350-400 grados Celsius.

Es una técnica separativa que tiene la cualidad de conseguir la separación de mezclas muy complejas. Pero una vez separados, detectados, e incluso cuantificados todos los componentes individuales de una muestra problema, el único dato de que se dispone para la identificación de cada uno de ellos es el tiempo de retención de los correspondientes picos cromatográficos.

Este dato no es suficiente para una identificación inequívoca, sobre todo cuando se analizan muestras con un número elevado de componentes, como es frecuente en cromatografía de gases capilar.

Por otra parte, la espectrometría de masas puede identificar de manera casi inequívoca cualquier sustancia pura, pero normalmente no es capaz de identificar los componentes individuales de una mezcla sin separar previamente sus componentes, debido a la extrema complejidad del espectro obtenido por superposición de los espectros particulares de cada componente.

Por lo tanto, la asociación de las dos técnicas, cromatografía de gases (GC), y espectrometría de masas (MS), da lugar a una técnica combinada GCMS que permite la separación e identificación de mezclas complejas.

2.27. Cardamomo (*Elettaria cardamomum* L. Matton)

El cardamomo es un fruto seco proveniente de una planta perenne, está compuesto principalmente por una vaina que contiene las semillas. Guatemala es el principal exportador a nivel mundial.

Figura 2. Cardamomo (*Elettaria cardamomum* L. Matton)



Fuente: Unidad de Políticas e Información, Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación.

2.27.1. Hábitat

Nativa de bosques sombreados de India y Ceylán; crece en bosques lluviosos siempre verdes a 760–1 500 metros sobre el nivel del mar y temperaturas de 10-35 grados Celsius.

En Guatemala se ha aclimatado en la zona norte y sur, donde se produce para el mercado de exportación.

2.27.2. Obtención

Crece en suelos humíferos y arcillosos. Se propaga por división de rizoma o semilla; por rizoma es más barato y produce más rápidamente, pero es difícil la producción masiva y es más susceptible a enfermedades. A las semillas se les quita el mucílago, se mezclan con ceniza y se secan a la sombra; se siembra en camas cubiertas con arena y paja con riego constante.

El campo definitivo se prepara a profundidad; se siembra en surcos, con deshierbado constante; se fertiliza orgánica y químicamente. La primera cosecha se obtiene a los 3 años, es baja, pero aumenta con el tiempo. Se colecta la cápsula verde y se seca al sol por 5 días en secadores con aire forzado.

2.28. Composición química y principios activos

Las semillas tienen aceite esencial (2-8 %), almidón, pentosano, aceite graso (1-4 %), ácidos caprílico, caproico, palmítico, esteárico, oleico, linoleico, β -sitosterol, oxalato de calcio, minerales, resina.

La composición química del aceite esencial varía según las condiciones climáticas y variedades vegetales. Por destilación se obtiene 3-10 por ciento de esencia y por extracción 52- 58 por ciento de oleorresina. Es un líquido incoloro con aroma penetrante 25 ligeramente alcanforado, persistente, picante y de fuerte sabor aromático, soluble 1:5 en etanol 70 por ciento; se utiliza para saborizar alimentos y en la industria farmacéutica como carminativo.

2.28.1. Metabolitos secundarios presentes en el aceite esencial de cardamomo producido en Guatemala

El aceite esencial de cardamomo (*Elettaria cardamomum* L. Matton) producido en Guatemala contiene acetato de alfa-terpinilo (50,7 %), 1,8-cineol (eucaliptol) (23,4 %), acetato de linalilo (6,3 %), linalool (4,5 %), sabineno (3,4 %), nerolidol (2,4 %), alfa-terpineol (1,9 %), alfa-terpineno, alfa- y betapineno, geraniol, neral, acetato de geranilo, limoneno y otros 20 compuestos.

2.29. Agricultura

El cardamomo (*Elettaria cardamomum* L. Matton), es una planta originaria de la India y Sri-Lanka, cuyos frutos se comercializan desde antes de la era cristiana.

La planta es una hierba alta, tipo arbustiva, con rizomas tuberosos y fuertes que producen entre ocho y veinte tallos que no producen flores y los tallos productivos que no crecen más de 1 metro de alto, en ellos se producen las capsulitas con las semillas, que es la parte comercializable de la planta. Por su contenido de aceites esenciales y su agradable aroma, se utiliza mezclado con el café y también en pastelería, para cosméticos y para aromatizar licores.

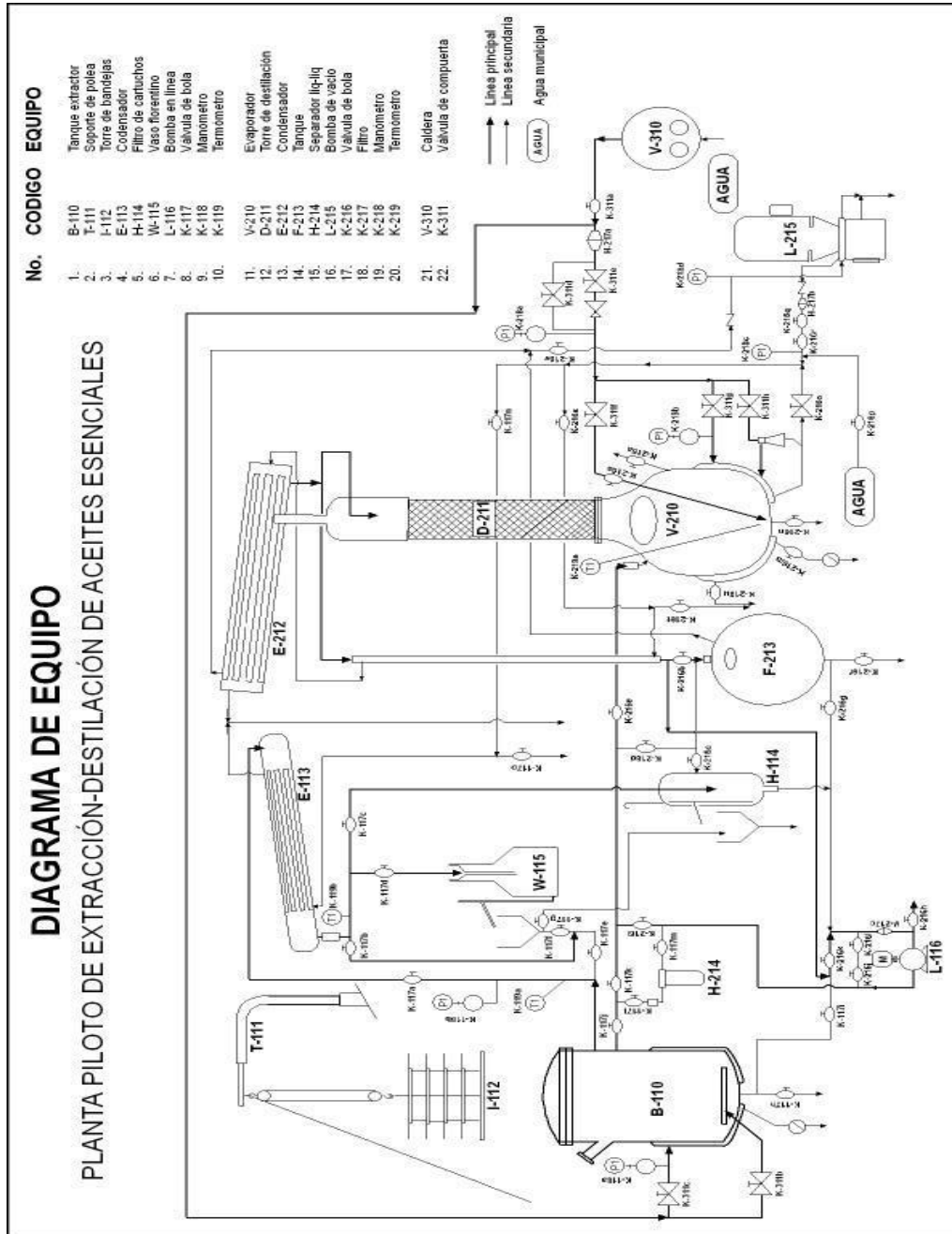
Al cardamomo (*Elettaria cardamomum* L. Matton), se le atribuye efectos medicinales como: digestivo, ayuda a eliminar gordura y también es considerado como afrodisíaco. Sus múltiples usos han hecho de esta especie, a nivel mundial, la segunda de mayor valor después del azafrán.

2.30. Planta piloto

La utilización de la planta piloto sirve a menudo para garantizar resultados de la instalación industrial y para encontrar parámetros de operación de una manera sencilla, permite flexibilidad para la realización de diferentes ensayos de separación térmica.

La destilación por arrastre con vapor directo es el proceso que se utilizara para extraer el aceite esencial a nivel planta piloto, dicha planta piloto consta de un equipo de destilación formado mediante platos perforados en los que pasa el vapor y luego es condensado mediante un intercambiador de calor para luego decantarse en un vaso Florentino.

Figura 3. Planos de la planta piloto de LIEXVE



Fuente: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, LIEXVE. *Planos de la planta piloto*, p. 16.

2.31. Partes de la planta piloto

A continuación, se detallan las partes que conforman la planta piloto.

2.31.1. Condensador

Equipo que permite realizar un cambio de fase (de vapor a líquido), mediante la utilización de un líquido que se encuentra a una temperatura menor que el vapor.

2.31.2. Bombas de vacío

Equipo que permite extraer el aire contenido en un medio para crear un vacío parcial. Esto puede utilizarse en una columna de destilación para disminuir los puntos de ebullición de los componentes a separar.

2.31.3. Columna de destilación

Equipo que se utiliza para separar compuestos de diferentes puntos de ebullición que forman una mezcla.

2.31.4. Vaso Florentino

Parte de la planta piloto que se utiliza para separar compuestos que son inmiscibles entre sí.

2.31.5. Tubería

Parte de la planta que se utiliza para el transporte de los fluidos a través de las diferentes operaciones de la planta piloto. En el laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales se encuentra una tubería que transporta agua con el objetivo de utilizarla como líquido enfriador y otra que transporta vapor.

2.31.6. Válvulas

Instrumento que sirve para regular la cantidad de líquido o vapor que pasa a través de una tubería.

Figura 4. **Planta piloto del LIEXVE**



Fuente: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, LIEXVE. *Planta piloto*. p. 18.

2.32. Economía de los aceites esenciales en Guatemala

Los aceites esenciales representan una importancia significativa para muchos países. Incluso en zonas del planeta pobres se intenta introducir el cultivo de plantas aromáticas y la obtención de aceites esenciales como una forma de aumentar las perspectivas de la población y la riqueza general del país.

El paso de vender plantas aromáticas secas a vender el aceite esencial obtenido de esas plantas puede suponer alrededor de 4 veces más de ingresos económicos.

La producción mundial de aceites esenciales es de miles de toneladas anuales. Se está ante un mercado de indudable importancia económica, si bien puede pasar inadvertido para el público general.

Los niveles de producción no son comparables para todos los aceites esenciales porque la producción de cada uno de ellos varía dependiendo de la planta de donde son extraídos. Guatemala, tiene participación a nivel mundial en las exportaciones e importaciones de aceites esenciales y resinoides.

Esto significa que estos productos tienen un beneficio significativo en la economía guatemalteca y que la utilización de estos productos ha ido incrementado a nivel nacional.

2.33. Calidad

Alrededor de la década de 1950 el cardamomo se exportó en oro hacia los Estados Unidos y Europa. Posteriormente la exportación hacia los países árabes y norte de Europa determinó las calidades de pergamino siguientes:

- Best Quality: es la calidad de primera que se exportaba hacia Arabia
- Mixed Green: es la calidad de segunda también exportable a países árabes.
- Mixed yellow: es la calidad tercera que se exportó a los países del norte de Europa.

Se tienen diferentes calidades de pergamino, como:

- Royal Green: que es superior a la primera calidad.
- Prima Green: calidad equivalente a la segunda.
- Baby: es el cardamomo de tamaño pequeño, pero de primera calidad.

Actualmente la calidad está determinada por el tamaño y color del pergamino, así como su densidad aparente. La cápsula más grande y de coloración verde oscuro uniforme es considerada de mejor calidad y alcanza los mejores precios en el mercado internacional.

Después de la ventilación el cardamomo sacado del horno, es pasado por una zaranda con cedazo de $\frac{1}{4}$ de pulgada para la separación del fruto pequeño y luego se procede a la selección por color y tamaño del fruto seco en pergamino.

La clasificación por tamaño del fruto obedece a las categorías de jumbo, mediano y baby. La clasificación del producto según calidad del proceso de transformación consiste en: primera, segunda y tercera y algunas veces llega a cuarta y quinta calidad.

2.34. Principales efectos

Los aromas en sus diversas aplicaciones brindan efectos en la vida del ser humano para ayudarlo a lograr el equilibrio emocional y físico.

Uno de los principios de la aromaterapia es que las plantas tienen su propia esencia, lo que al obtener la esencia se está tomando el alma de cada planta, porque tiene como función el provocar tranquilidad, estimulación, refresca, y otros.

Cuando se aplica la aromaterapia influye positivamente en el aspecto físico al estimular las hormonas y el metabolismo, lo cual es importante para que exista un equilibrio en el cuerpo.

3. METODOLOGÍA

3.1. Localización

Las instalaciones en las que se realizó la fase experimental del estudio incluyendo la extracción del aceite esencial y la caracterización fisicoquímica de este fue en las siguientes:

- 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.
- Laboratorio de Investigación de Productos Naturales (LIPRONAT), Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Laboratorio de Análisis Fisicoquímicos y Microbiológicos (LAFYM), Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala.

3.2. Variables

Dentro de la sección de variables estudiadas se incluyen las variables dependientes e independientes, las cuales influyen o no en los resultados que se desean esperar.

Tabla I. **Valores fijos en el proceso extractivo**

No.	Valor	Unidad	Descripción
1	Tiempo de extracción	s	El tiempo de extracción se mantendrá constante
2	Flujo de vapor	m ³ /s	El flujo de vapor se mantendrá constante
3	Presión de vapor	N/m ²	La presión de vapor se mantendrá constante
4	Temperatura de vapor	°C	La temperatura de vapor se mantendrá constante

Fuente: elaboración propia.

3.2.1. Variables independientes

Variable cuyo valor numérico no es afectado por factores externos en el estudio.

Tabla II. **Variables independientes de la investigación**

No.	Variable	Unidad	Descripción
1	Parte de la planta	No aplica	Se refiere a cardamomo de tercera calidad y cascarilla
2	Procedencia de la materia prima	No aplica	Los departamentos son Alta Verapaz y Quiché

Fuente: elaboración propia.

3.2.2. Variables dependientes

Variable cuyo valor numérico es afectado al cambiar la magnitud de la variable independiente.

Tabla III. Variables dependientes de la investigación

No.	Variable	Unidad	Descripción
1	% de rendimiento	%	Depende de la parte de la planta, tipo de nivel y lugar de procedencia
2	Densidad	g/ml	Depende de la parte de la planta, tipo de nivel y lugar de procedencia
4	Componentes activos del aceite esencial	%	Depende de la parte de la planta, tipo de nivel y lugar de procedencia

Fuente: elaboración propia.

3.2.3. Variable respuesta

Para los distintos tratamientos que se trabajó en la fase experimental, la variable respuesta fue el rendimiento extractivo del aceite esencial, contenido en el cardamomo en función de tres calidades de pergamino y con base al tiempo extractivo.

3.3. Delimitación del campo de estudio

La delimitación del campo de estudio consiste en colocar los alcances y límites que tendrá la investigación, y concretar las áreas de interés, para su desarrollo. En seguida se presenta esta delimitación.

3.3.1. Obtención de la materia prima

El cardamomo de tercera calidad y cascarilla (*Elettaria cardamomum L. Matton*), se recolectó en los departamentos de Alta Verapaz y Quiché.

3.3.2. Extracción del aceite esencial

Se utilizó el fruto de cardamomo pergamino de tercera calidad y su cascarilla reduciendo el tamaño con un molino de cuchillas, utilizando el método de Hidrodestilación a nivel laboratorio y extracción por arrastre de vapor directo a nivel planta piloto. Dicho procedimiento se llevó a cabo en el Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales (LIEXVE), de la sección de Química Industrial del Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos, ciudad universitaria zona 12.

3.3.3. Análisis fisicoquímico del aceite esencial

Los análisis de densidad, índice de refracción y solubilidad para el aceite esencial obtenido de las regiones de Alta Verapaz y Quiché, se realizaron en el Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales (LIEXVE), de la sección de Química Industrial del Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos, mientras que la medición del índice de refracción se efectuó en el

Laboratorio de Investigación de productos Naturales (LIPRONAT), Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala.

3.3.4. Análisis cuantitativo del aceite esencial

La cromatografía gaseosa con acoplamiento a espectrometría de masas se realizó en el Laboratorio de Análisis Físicoquímicos y Microbiológicos (LAFYM), Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala.

3.4. Recursos humanos disponibles

Los recursos humanos disponibles para el desarrollo del estudio fueron los siguientes:

- Investigador: Mirna Liseth Alvarez Véliz
- Asesores: Inga. Telma Maricela Cano Morales
Ing. Mario José Mérida Meré.

3.5. Recursos materiales disponibles

Los recursos materiales usados en el desarrollo del estudio se detallan a continuación.

Tabla IV. **Materia prima y reactivos**

Materia prima	Cardamomo de tercera calidad
	Cascarilla de cardamomo
Reactivos	Agua
	Agua desionizada

Fuente: elaboración propia.

Tabla V. **Equipo**

Equipo	Marmita
	Campana de extracción de gases
	Balanza analítica marca VWR
	Cromatógrafo de gases con acoplamiento a espectrometría de masas
	Refractómetro "Fisher Scientific" de 60 Hertz
	Plancha de calentamiento marca VWR de 60 Hertz
	Refrigeradora
	Homogeneizador
	Termómetro
	Bomba

Fuente: elaboración propia.

Tabla VI. **Cristalería y accesorios**

Cristalería	Neoclevenger
	Balón de 1000 mL
	Beaker de 800 mL
	Condensador
	Beaker de 250 mL
	Vial color ámbar
	Manta de calentamiento
	Reloj

Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. **Recursos generales**

Útiles de oficina	Papel bond
	Lapiceros
	Cuaderno de bitácora
	Cartucho para tinta
Vestimenta de seguridad	Zapatos industriales
	Bata
	Mascarilla
	Guantes de neopreno

Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. **Recursos generales II**

Artículos de limpieza	Jabón para manos
	Jabón en gel para limpieza de cristalería
	Papel mayordomo
	Botiquín de emergencias

Fuente: elaboración propia.

Tabla IX. **Otros recursos**

Otros	Diésel
	Mangueras
	Electricidad
	Impresora
	Cámara de teléfono celular
	Parafilm
	Mangueras

Fuente: elaboración propia.

3.6. **Técnica cualitativa o cuantitativa**

Para el presente estudio de investigación se utilizó una técnica cuantitativa, mediante la cual se determinó la densidad, índice de refracción, la solubilidad y la composición química del aceite esencial; como técnica cualitativa; el método convencional de secado de cardamomo, el tipo de materia prima y su procedencia.

3.6.1. Extracción del aceite esencial utilizando la técnica de hidrodestilación a nivel laboratorio

- Llevar el contenido de humedad a un valor menor al 10 % mediante el secado de la materia prima.
- Reducir el tamaño de la materia prima en un molino de cuchillas.
- Lavar las secciones de Neoclevenger con etanol y agua.
- Colocar 50 g de materia prima en un balón de 1000 mL.
- Agregar 500 mL de agua destilada al balón de 1000 mL.
- Acoplar el balón que contiene la materia prima y el agua con el Neoclevenger.
- Recircular el agua al condensador del Neoclevenger mediante una bomba, manteniendo el agua del mismo fría.
- Calentar el balón de 1000 mL mediante una manta de calentamiento.
- Realice la Hidrodestilación durante 4 horas.
- Completado el tiempo de la Hidrodestilación suspender el calentamiento.
- Utilizar una balanza analítica para medir la masa de un vial ámbar.
- Transferir el aceite esencial de la materia prima al vial.

- Utilizar una balanza analítica para medir la masa del vial con el aceite esencial.
- Repetir el mismo procedimiento con la materia prima del otro departamento.

3.6.2. Extracción del aceite esencial utilizando la técnica de arrastre con vapor a nivel de planta piloto

- Disminuir el porcentaje de humedad a un valor menor al 10 % mediante secado.
- Encender la caldera.
- Colocar 8 Kg de cardamomo pergamino.
- Colocar en la marmita de extracción previamente humedecida.
- Encender el sistema de enfriamiento.
- Colocar el vaso florentino.
- Pasar vapor directo a la marmita de extracción.
- Dejar trabajando el equipo de extracción por 4 horas.
- Transferir la mezcla de aceite esencial y hidrolato a una ampolla de decantación.

- Separar el aceite esencial.
- Colocar el aceite esencial en un frasco color ámbar, previamente tarado.
- Pesar el aceite esencial y el frasco ámbar.

3.6.3. Cálculo de la densidad del aceite esencial

- Limpiar con etanol el picnómetro y dejar secando
- Tarar el picnómetro de 10 mL
- Verter la muestra del aceite en el picnómetro mediante una micropipeta
- Pesar el picnómetro con la muestra

3.6.4. Medición de índice de refracción

- Limpiar el lente del prisma con agua destilada
- Agregar dos gotas de aceite esencial de cardamomo pergamino al prisma
- Encender la lámpara
- Ajustar el brillo para realizar una medición correcta
- Girar la perilla de compensación de color, hasta que aparezca una línea clara.

- Alinear la línea girando la perilla de medición.
- Leer en el nivel el índice de refracción.

3.6.5. Cromatografía gaseosa con acoplamiento de espectrometría de masas

- Inyectar dentro del espectrómetro 0.2 uL de aceite esencial diluido en 1 mL de metanol.
- Comparar el peso molecular de las especies.
- Asignar un área porcentual a cada pico del cromatograma.
- Identificar y nombrar cada componente del aceite según la librería del programa que contiene el cromatógrafo.

3.6.6. Determinación de la solubilidad en etanol al 95 %

- Colocar un beaker de 1000 mL con etanol al 95 %
- Tarar el *beaker* donde se depositará el aceite esencial de cardamomo pergamino.
- Agregar 10 g de aceite esencial de cardamomo pergamino en el *beaker*.
- Verter el aceite esencial de cardamomo pergamino en el etanol a 95 %.
- Medir la masa final del aceite esencial de cardamomo pergamino.

3.7. Recolección y ordenamiento de la información

Las técnicas de recolección y ordenamientos de datos se detallan a continuación.

3.7.1. Técnica de muestreo

Para el aceite esencial se realizaron 3 lotes de extracción por cada parte de la planta, por cada nivel y por cada departamento, esto se efectuó con la finalidad de determinar las propiedades fisicoquímicas y la composición de cada extracto, teniendo un total de 24 muestras de aceite esencial.

3.7.2. Ordenamiento de las muestras

Los resultados del ordenamiento de las muestras se detallan a continuación.

Tabla X. **Porcentaje de rendimiento obtenido del aceite esencial de cardamomo pergamino de tercera calidad y cascarilla (*Elettaria cardamomum* L. Matton) de Alta Verapaz a nivel laboratorio**

Parte de la planta	Rendimiento (%)
Fruto	3,099
	3,163
	2,735
Cascarilla	0,135
	0,108
	0,199

Fuente: elaboración propia.

Tabla XI. **Porcentaje de rendimiento obtenido del aceite esencial de cardamomo pergamino de tercera calidad y cascarilla (*Elettaria cardamomum* L. Matton) de Alta Verapaz a nivel planta piloto**

Parte de la planta	Rendimiento (%)
Fruto	2,180
	2,280
	2,290
Cascarilla	0,020
	0,067
	0,040

Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. **Porcentaje de rendimiento obtenido del aceite esencial del cardamomo pergamino de tercera calidad y cascarilla (*Elettaria cardamomum* L. Matton) de Quiché a nivel laboratorio**

Parte de la planta	Rendimiento (%)
Fruto	5,085
	4,744
	4,201
Cascarilla	0,387
	0,407
	0,325

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIII. **Porcentaje de rendimiento obtenido del aceite esencial del cardamomo pergamino y cascarilla de tercera calidad (*Elettaria cardamomum* L. Matton) de Quiché a nivel planta piloto**

Parte de la planta	Rendimiento (%)
Fruto	6,429
	5,938
	7,809
Cascarilla	0,037
	0,113
	0,043

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIV. **Densidad del aceite esencial del cardamomo pergamino y cascarilla de tercera calidad (*Elettaria cardamomum L. Matton*) de Alta Verapaz a nivel laboratorio**

Parte de la planta	Densidad (g/mL)
Fruto	0,920
	0,925
	0,921
Cascarilla	0,893
	0,853
	0,899

Fuente: elaboración propia.

Tabla XV. **Densidad del aceite esencial del cardamomo pergamino y cascarilla de tercera calidad (*Elettaria cardamomum L. Matton*) de Alta Verapaz a nivel planta piloto**

Parte de la planta	Densidad (g/mL)
Fruto	0,941
	0,904
	0,926
Cascarilla	0,852
	0,845
	0,810

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVI. **Densidad del aceite esencial del cardamomo pergamino y cascarilla de tercera calidad (*Elettaria cardamomum* L. *Matton*) de Quiché a nivel laboratorio**

Parte de la planta	Densidad (g/mL)
Fruto	0,983
	0,857
	0,926
Cascarilla	0,958
	0,890
	0,927

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVII. **Densidad del aceite esencial del cardamomo pergamino y cascarilla de tercera calidad (*Elettaria cardamomum* L. *Matton*) de Quiché a nivel planta piloto**

Parte de la planta	Densidad (g/mL)
Fruto	0,914
	0,754
	0,770
Cascarilla	0,999
	0,965
	0,967

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVIII. **Índice de refracción del aceite esencial del cardamomo pergamino y cascarilla de tercera calidad (*Elettaria cardamomum* L. Matton) de Alta Verapaz a nivel laboratorio**

Parte de la planta	Índice de refracción (adimensional)
Fruto	1,4736
	1,4736
	1,4737
Cascarilla	1,5056
	1,5066
	1,5067

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIX. **Índice de refracción del aceite esencial del cardamomo pergamino y cascarilla de tercera calidad (*Elettaria cardamomum* L. Matton) de Alta Verapaz a nivel planta piloto**

Parte de la planta	Índice de refracción (adimensional)
Fruto	1,4716
	1,4726
	1,4716
Cascarilla	1,5046
	1,5046
	1,5046

Fuente: elaboración propia.

Tabla XX.

Índice de refracción del aceite esencial del cardamomo pergamino y cascarilla de tercera calidad (*Elettaria cardamomum* L. Matton) de Quiché a nivel laboratorio

Parte de la planta	Índice de refracción (adimensional)
Fruto	1,4269
	1,4269
	1,4244
Cascarilla	1,4775
	1,4775
	1,4776

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXI.

Índice de refracción del aceite esencial del cardamomo pergamino y cascarilla de tercera calidad (*Elettaria cardamomum* L. Matton) de Quiché a nivel planta piloto

Parte de la planta	Índice de refracción (adimensional)
Fruto	1,4244
	1,4244
	1,4244
Cascarilla	1,5045
	1,5045
	1,5045

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXII. **Solubilidad en etanol del aceite esencial del cardamomo pergamino de tercera calidad (*Elettaria cardamomum L. Matton*) de Alta Verapaz a nivel laboratorio**

Parte de la planta	Solubilidad (mL/mL)
Fruto	6,98
	5,40
	3,66

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIII. **Solubilidad en etanol del aceite esencial del cardamomo pergamino y cascarilla de tercera calidad (*Elettaria cardamomum L. Matton*) de Alta Verapaz a nivel planta piloto**

Parte de la planta	Solubilidad (mL/mL)
Fruto	3,78
	3,32
	3,92
Cascarilla	5,18
	4,82
	4,98

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIV. **Solubilidad en Etanol del aceite esencial del cardamomo pergamino y cascarilla de tercera calidad (*Elettaria cardamomum* L. Matton) de Quiché a nivel planta piloto**

Parte de la planta	Solubilidad (mL/mL)
Fruto	2,96
	1,42
	2,54

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXV. **Composición química del aceite esencial de cascarilla de cardamomo (*Elettaria cardamomum* L. Matton) a nivel laboratorio de la región de Alta Verapaz**

No.	Tiempo de retención (min)	% de área	Componente químico	Número de CAS
1	0,83	65,06	2-(4H-[1,2,4]Triazol-3-ylsulfanyl)-1-(4,4,7-trimethyl-1-thioxo-1,4-dihydro-2,3-dithia-5-azacyclopenta[a]naphthalen-5-yl)-ethanone	333431-21-3
2	0,91	64,50	Stigmasterol trimethylsilyl ether	14030-29-6
3	1,65	35,97	Hydromorphone, trimethylsilyl ether	221209-08-1
4	4,98	20,08	Eucalyptol	470-82-6
5	5,01	13,24	Methylprednisolone	83-43-2
6	7,44	13,42	à-Terpineol	98-55-5
7	9,61	10,39	3-Cyclohexene-1-methanol, à, à,4-trimethyl-, acetate	80-26-2

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVI. **Composición química del aceite esencial de cardamomo de tercera calidad (*Elettaria cardamomum* L. Matton) a nivel laboratorio de la región de Alta Verapaz**

No.	Tiempo de retención (min)	% de área	Componente químico	Número de CAS
1	5,40	8,49	Eucalyptol	470-82-6
2	6,28	5,92	1,6-Octadien-3-ol, 3,7-dimethyl-	78-70-6
3	8,38	1,93	Linalyl acetate	115-95-7
4	10,23	0,76	3-Cyclohexene-1-methanol, 4-trimethyl-, acetate	80-26-
5	10,32	0,49	Geranyl acetate	105-87-3
6	10,39	0,60	9,12-Octadecadienoyl chloride, (Z,Z)-	7459-33-8
7	12,39	0,98	1,6,10-Dodecatrien-3-ol, 3,7,11-trimethyl-, (E)-	40716-66-3
8	14,12	0,08	trans-Farnesol	106-28-5
9	14,34	0,95	2,6,10-Dodecatrienal, 3,7,11-trimethyl-, (E,E)-	502-67-0
10	14,74	0,66	Linoleic acid ethyl ester	544-35-4

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVII. **Composición química del aceite esencial de cascarilla (*Elettaria cardamomum* L. Matton) a nivel planta piloto de la región de Alta Verapaz**

No.	Tiempo de retención (min)	% de área	Componente químico	Número de CAS
1	0,82	61,09	Benzbromarone	3562-84-3
2	1,12	5,02	Fluoxymesterone	76-43-7
3	3,69	15,11	Hexachlorophene	70-30-4
4	5,02	19,92	Eucalyptol	470-82-6
5	6,05	16,52	1,6-Octadien-3-ol, 3,7-dimethyl-	78-70-6
6	7,54	13,26	à-Terpineol	98-55-5
7	8,23	12,15	1,6-Octadien-3-ol, 3,7-dimethyl-, formate	115-99-1
8	9,77	10,22	3-Cyclohexene-1-methanol, à,à,4-trimethyl-, acetate	80-26
9	10,57	9,46	Caryophyllene	87-44-5
10	15,25	6,48	Esqualeno	111-02-4

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVIII. **Composición química del aceite esencial de cardamomo de tercera calidad (*Elettaria cardamomum* L. Matton) a nivel planta piloto de la región de Alta Verapaz**

No.	Tiempo de retención (min)	% de área	Componente químico	Número de CAS
1	3,55	17,49	à-Pinene	80-56-8
2	4,16	18,54	á-Phellandrene	555-10-2
3	5,40	16,88	Eucalyptol	470-82-6
4	6,23	11,02	1,6-Octadien-3-ol, 3,7-dimethyl-	78-70-6
5	8,42	9,33	Linalyl acetate	115-95-7
6	10,31	8,76	3-Cyclohexene-1-methanol, à,à,4-trimethyl, acetate	80-26-2
7	10,37	6,94	Geranyl acetate	105-87-3
8	12,39	5,38	1,6,10-Dodecatrien-3-ol, 3,7,11-trimethyl-	7212-44-4
9	14,33	5,20	á Carotene	7235-40-7
10	15,35	4,30	Digitoxigenin	143-62-4

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIX. **Composición química del aceite esencial de cascarilla (*Elettaria cardamomum* L. Matton) a nivel laboratorio de la región de Quiché**

No.	Tiempo de retención (min)	% de área	Componente químico	Número de CAS
1	3,51	18,91	(+)-4-Carene	29050-33-7
2	5,20	18,62	Eucalyptol	470-82-6
3	6,23	15,79	1,6-Octadien-3-ol, 3,7-dimethyl-	78-70-6
4	7,72	12,94	à-Terpineol	98-55-5
5	8,29	11,25	Linalyl acetate	115-95-7
6	10,06	9,83	3-Cyclohexene-1-methanol, à,à,4-trimethyl-, acetate	80-26-2
7	12,06	7,20	2-Butanone, 4-(2,6,6-trimethyl-1-cyclohexen-1-yl)-	17283-81-7
8	13,33	7,01	Betulin	473-98-3
9	15,19	6,33	4,8,13-Cyclotetradecatriene-1,3-diol, 1,5,9-trimethyl-12	7220-78-2
10	16,09	5,29	4,8,13-Cyclotetradecatriene-1,3-diol,1,5,9-	7220-78-2

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXX. **Composición química del aceite esencial de cardamomo de tercera calidad (*Elettaria cardamomum* L. Matton) a nivel laboratorio de la región de Quiché**

No.	Tiempo de retención (min)	% de área	Componente químico	Número de CAS
1	1,51	59,26	Cycloheptane	291-64-5
2	1,78	40,42	Heptane, 3,4-dimethyl-	922-28-1
3	2,08	37,84	Octane	111-65-9
4	2,77	26,06	Benzene, (3,3-dimethylbutyl)-	17314-92-0
5	3,55	19,93	(+)-4-Carene	29050-33-7
6	5,16	17,99	Eucalyptol	470-82-6
7	6,09	9,33	1,6-Octadien-3-ol, 3,7-dimethyl-	78-70-6
8	7,47	13,34	Lycopene	502-65-8
9	8,30	9,78	Linalyl acetate	115-95-7
10	9,87	9,22	à-Terpineol	98-55-5

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXI. **Composición química del aceite esencial de cascarilla (*Elettaria cardamomum* L. Matton) a nivel planta piloto de la región de Quiché**

No.	Tiempo de retención (min)	% de área	Componente químico	Número de CAS
1	0,82	61,09	Benzbromarone	3562-84-3
2	1,12	5,02	Fluoxymesterone	76-43-7
3	3,69	15,11	Hexachlorophene	70-30-4
4	5,02	19,92	Eucalyptol	470-82-6
5	6,05	16,52	1,6-Octadien-3-ol, 3,7-dimethyl-	78-70-6
6	7,54	13,26	à-Terpineol	98-55-5
7	8,23	12,15	1,6-Octadien-3-ol, 3,7-dimethyl-, formate	115-99-1
8	9,77	10,22	3-Cyclohexene-1-methanol, à,à,4-trimethyl-, acetate	80-26
9	10,57	9,46	Caryophyllene	87-44-5
10	15,25	6,48	Esqualeno	111-02-4

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXII. **Composición química del aceite esencial de cardamomo de tercera calidad (*Elettaria cardamomum* L. Matton) a nivel planta piloto de la región de Quiché**

No.	Tiempo de retención (min)	% de área	Componente químico	Número de CAS
1	1,01	58,75	Chloroquine	54-05-7
2	1,52	61,02	Cyclooctanone	502-49-8
3	1,79	43,76	Heptane, 3,4-dimethyl-	922-28-1
4	2,10	41,96	Hexane, 2,3,4-trimethyl-	921-47-1
5	2,38	35,33	1-Hexanol, 2-ethyl-	104-76-7
6	4,13	22,93	á-Phellandrene	555-10-2
7	5,15	18,02	Eucalyptol	470-82-6
8	6,08	16,18	1,6-Octadien-3-ol, 3,7-dimethyl-	78-70-6
9	8,31	12,03	Linalyl acetate	115-95-7
10	9,89	10,08	à-Terpineol	98-55-5

Fuente: elaboración propia.

3.8. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

En esta parte del informe se describe la tabulación y procesamiento de los datos de los rendimientos, propiedades fisicoquímicas y composición química del aceite esencial.

El ordenamiento de la información obtenida se realizó de la siguiente manera:

Tabla XXXIII. **Determinación del rendimiento del aceite esencial de cardamomo pergamino de tercera calidad y cascarilla (*Elettaria cardamomum* L. Matton) a nivel laboratorio**

Departamento	Parte de la planta	Rendimiento (%)	Media	Desviación Estándar
Alta Verapaz	Fruto	3,099	2,999	0,231
		3,163		
		2,735		
	Cascarilla	0,135	0,147	0,05
		0,108		
		0,199		
Quiché	Fruto	5,085	4,677	0,446
		4,744		
		4,201		
	Cascarilla	0,387	0,373	0,0426
		0,407		
		0,325		

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXIV. **Determinación del rendimiento del aceite esencial de cardamomo pergamino de tercera calidad y cascarilla (*Elettaria cardamomum* L. Matton) a nivel planta piloto**

Departamento	Parte de la planta	Rendimiento (%)	Media	Desviación Estándar
Alta Verapaz	Fruto	2,180	2,250	0,06
		2,280		
		2,290		
	Cascarilla	0,020	0,042	0,024
		0,067		
		0,040		
Quiché	Fruto	6,429	6,725	0,970
		5,938		
		7,809		
	Cascarilla	0,037	0,064	0,0423
		0,113		
		0,043		

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXV. **Determinación de la densidad del aceite esencial de cardamomo pergamino de tercera calidad y cascarilla (*Elettaria cardamomum* L. Matton) a nivel laboratorio**

Departamento	Parte de la planta	Densidad (g/mL)	Media	Desviación Estándar
Alta Verapaz	Fruto	0,920	0,922	2,65E-03
		0,925		
		0,921		
	Cascarilla	0,893	0,882	0,0250
		0,853		
		0,899		
Quiché	Fruto	0,983	0,922	0,0628
		0,857		
		0,926		
	Cascarilla	0,958	0,925	0,0340
		0,890		
		0,927		

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVI. **Determinación de la densidad del aceite esencial de cardamomo pergamino de tercera calidad y cascarilla (*Elettaria cardamomum L. Matton*) a nivel planta piloto**

Departamento	Parte de la planta	Densidad (g/mL)	Media	Desviación Estándar
Alta Verapaz	Fruto	0,983	0,924	0,019
		0,857		
		0,926		
	Cascarilla	0,958	0,836	0,0225
		0,890		
		0,927		
Quiché	Fruto	0,914	0,813	0,088
		0,754		
		0,770		
	Cascarilla	0,999	0,98	0,0191
		0,965		
		0,967		

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVII. **Determinación del índice de refracción del aceite esencial de cardamomo pergamino de tercera calidad y cascarilla (*Elettaria cardamomum* L. Matton) a nivel laboratorio**

Departamento	Parte de la planta	Índice de refracción (adimensional)	Media	Desviación Estándar
Alta Verapaz	Fruto	1,4736	1,4736	2,54034E-05
		1,4736		
		1,4737		
	Cascarilla	1,5056	1,5063	5,764E-04
		1,5066		
		1,5067		
Quiché	Fruto	1,4269	1,4261	0,00145
		1,4269		
		1,4244		
	Cascarilla	1,4775	1,4775	2,54034E-05
		1,4775		
		1,4776		

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVIII. **Determinación del índice de refracción del aceite esencial de cardamomo pergamino de tercera calidad y cascarilla (*Elettaria cardamomum* L. Matton) a nivel planta piloto**

Departamento	Parte de la planta	Índice de refracción (adimensional)	Media	Desviación Estándar
Alta Verapaz	Fruto	1,4716	1,4719	6,0564E-04
		1,4726		
		1,4716		
	Cascarilla	1,5046	1,5046	2,54034E-05
		1,5046		
		1,5046		
Quiché	Fruto	1,4244	1,4257	0,00234
		1,4244		
		1,4244		
	Cascarilla	1,5045	1,5045	5,08068E-05
		1,5045		
		1,5045		

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXIX. **Determinación de la solubilidad en etanol del aceite esencial de cardamomo pergamino de tercera calidad y cascarilla (*Elettaria cardamomum L. Matton*) a nivel laboratorio**

Departamento	Parte de la planta	Solubilidad (mL/mL)	Media	Desviación Estándar
Alta Verapaz	Fruto	6,98	0,2006	0,0663
		5,40		
		3,66		

Fuente: elaboración propia.

Tabla XL. **Determinación de la solubilidad en etanol del aceite esencial de cardamomo pergamino de tercera calidad y cascarilla (*Elettaria cardamomum L. Matton*) a nivel planta piloto**

Departamento	Parte de la planta	Solubilidad (mL/mL)	Media	Desviación Estándar
Alta Verapaz	Fruto	3,78	0,2736	0,0244
		3,32		
		3,92		
	Cascarilla	5,18	0,2004	0,0072
		4,82		
		4,98		
Quiché	Fruto	2,96	0,4786	0,1974
		1,42		
		2,54		

Fuente: elaboración propia.

3.9. Análisis estadístico

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

Se realizó un análisis estadístico para determinar si existe diferencia significativa entre dos factores independientes los cuales afectan directamente el resultado obtenido del estudio, llevando a cabo un análisis de varianza conocido como ANOVA.

3.9.1. Media muestral

Representa el centro de gravedad del conjunto de valores observados.

$$\underline{x} = \frac{\sum xi}{N} \quad \text{Ecuación No. 1}$$

Donde

\underline{x} = media

$\sum xi$ = sumatoria de valores

N = número de datos

3.9.2. Desviación estándar

Indica el grado de dispersión que tiene un conjunto de datos de la media.

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

σ = desviación estándar

\underline{x} = media

x_i = valor de la muestra

N= número de datos

3.9.3. Análisis de varianza

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

$$S_2^2 = \sum_i \sum_j \frac{(x_{ij} - \underline{x}_i)^2}{h(n-1)} \quad \text{Ecuación No. 3}$$

Donde:

S_2^2 = media cuadrática dentro de la muestra

x_{ij} = repetición j de la muestra i

\underline{x}_i = media de la muestra i

n = número de repeticiones

h = número de muestras

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

La variación entre muestras se define mediante la siguiente ecuación:

$$S_1^2 = \frac{n \sum_i (\underline{x}_i - \underline{x})^2}{h-1} \quad \text{Ecuación No. 4}$$

Donde:

S_1^2 = media cuadrática entre muestras

n = número de repeticiones

\underline{x}_i = media de la muestra i

\underline{x} = media global

h = número de muestras

$(h - 1)$ = grados de libertad

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

$$F = \frac{S_1^2}{S_2^2} \quad \text{Ecuación No. 5}$$

Donde:

S_2^2 = media cuadrática dentro de la muestra

S_1^2 = media cuadrática entre muestras

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

Tabla XLI. **Datos de rendimiento para ANOVA del aceite esencial de cardamomo pergamino de tercera calidad y cascarilla (*Elettaria cardamomum* L. Matton) de Alta Verapaz a nivel laboratorio**

Parte de la planta	Rendimiento (%)	Suma	Promedio (%)	Varianza (%)
Fruto	3,099	8,997	2,999	0,35
	3,163			
	2,735			
Cascarilla	0,135	0,442	0,147	0,001450
	0,108			
	0,199			

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLII. **ANOVA de rendimiento a nivel laboratorio de la región de estudio**

Origen de la variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Prob.	Valor crítico para F
Entre grupos	7,8155 191	1	7,815519 1	163, 625 09	0,0060 560	18,512 82
Dentro de los grupos	0,0955 295	2	0,047764 7			
Total	7,9110 487	3				

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLIII. **Datos de rendimiento para ANOVA obtenido del aceite esencial de cardamomo pergamino de tercera calidad y cascarilla (*Elettaria cardamomum* L. Matton) de Alta Verapaz a nivel planta piloto**

Parte de la planta	Rendimiento (%)	Suma	Promedio (%)	Varianza (%)
Fruto	2,180	6,750	2,250	0,002
	2,280			
	2,290			
Cascarilla	0,020	0,193	0,064	0,00119
	0,067			
	0,040			

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLIV. **ANOVA de rendimiento a nivel planta piloto de la región de estudio**

Origen de la variación	Suma del cuadrado	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Prob.	Valor crítico para F
Entre grupos	4,870849	1	4,870849	3896,679	0.0002565	18,5128205
Dentro de los grupos	0.0025	2	0,00125			
Total	4,873349	3				

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLV. **Datos de rendimiento para ANOVA obtenido del aceite esencial del cardamomo pergamino de tercera calidad y cascarilla (*Elettaria cardamomum* L. Matton) de Quiché a nivel laboratorio**

Parte de la planta	Rendimiento (%)	Suma	Promedio (%)	Varianza (%)
Fruto	5,085	14,030	4,677	0,1325
	4,744			
	4,201			
Cascarilla	0,387	1,118	0,373	0,00121
	0,407			
	0,325			

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLVI. **ANOVA de rendimiento a nivel laboratorio de la región de estudio**

Origen de la variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Prob.	Valor crítico para F
Entre grupos	16,865395	1	16,865395	223,735447	0,00443982	18,512820
Dentro de los grupos	0,1507619	2	0,0753809			
Total	17,016157	3				

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLVII. **Datos de rendimiento para ANOVA obtenido del aceite esencial del cardamomo pergamino y cascarilla de tercera calidad (*Elettaria cardamomum L. Matton*) de Quiché a nivel planta piloto**

Parte de la planta	Rendimiento (%)	Suma	Promedio (%)	Varianza (%)
Fruto	6,429	20,176	6,725	0,6274
	5,938			
	7,809			
Cascarilla	0,037	0,193	0,064	0,00119
	0,113			
	0,043			

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLVIII. **ANOVA de rendimiento a nivel planta piloto de la región de estudio**

Origen de la variación	Suma de cuadrados	Grado de libertad	Promedio del cuadrado	F	Prob.	Valor crítico para F
Entre grupos	46,178820	1	46,17882	52,6 9237	0,018 4543	18,5128 20
Dentro de los grupos	1,752770	2	0,87638			
Total	47,931590	3				

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLIX. **Datos de densidad para ANOVA del aceite esencial del cardamomo pergamino y cascarilla de tercera calidad (*Elettaria cardamomum L. Matton*) de Alta Verapaz a nivel laboratorio**

Parte de la planta	Densidad (g/mL)	Suma	Promedio (%)	Varianza (%)
Fruto	0,920	2,766	0,992	4,67E-06
	0,925			
	0,921			
Cascarilla	0,893	2,645	0,882	4,17E-04
	0,853			
	0,899			

Fuente: elaboración propia.

Tabla L. **ANOVA de densidad a nivel laboratorio de la región de estudio**

Origen de la variación	Suma del cuadrado	Grado de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Prob.	Valor crítico para F
Entre grupos	0,002209	1	0,002209	4,44652	0,1787181	18,512820
Dentro de los grupos	0,001066	2	0,000533			
Total	0,003275	3				

Fuente: elaboración propia.

Tabla LI. **Datos de densidad para ANOVA del aceite esencial del cardamomo pergamino y cascarilla de tercera calidad (*Elettaria cardamomum L. Matton*) de Alta Verapaz a nivel planta piloto**

Parte de la planta	Densidad (g/mL)	Suma (g/mL)	Promedio (g/mL)	Varianza (g/mL)
Fruto	0,941	2,771	0,924	2,31E-04
	0,904			
	0,926			
Cascarilla	0,852	2,507	0,836	3,38E-04
	0,845			
	0,810			

Fuente: elaboración propia.

Tabla LII. **ANOVA de densidad a nivel planta piloto de la región de estudio**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Prob.	Valor crítico para F
Entre grupos	0,007656	1	0,0076562	17,91 98	0,051 5288	18,5128 20
Dentro de los grupos	0,000854	2	0,000427			
Total	0,008510	3				

Fuente: elaboración propia.

Tabla LIII. **Datos de densidad para ANOVA del aceite esencial del cardamomo pergamino y cascarilla de tercera calidad (*Elettaria cardamomum* L. Matton) de Quiché a nivel laboratorio**

Parte de la planta	Densidad (g/mL)	Suma (g/mL)	Promedio (g/mL)	Varianza (g/mL)
Fruto	0,983	2,765	0,992	2,63E-03
	0,857			
	0,926			
Cascarilla	0,958	2,775	0,925	7,73E-04
	0,890			
	0,927			

Fuente: elaboración propia.

Tabla LIV. **ANOVA de densidad a nivel laboratorio de la región de estudio**

Origen de la variación	Suma del cuadrado	Grado de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Prob.	Valor crítico para F
Entre grupos	0,0002941	1	0,0002941	0,193 225	0,703181	18,512 820
Dentro de los grupos	0,0030443	2	0,0015221			
Total	0,0033384	3				

Fuente: elaboración propia.

Tabla LV. **Datos de densidad para ANOVA del aceite esencial del cardamomo pergamino y cascarilla de tercera calidad (*Elettaria cardamomum L. Matton*) de Quiché a nivel planta piloto**

Parte de la planta	Densidad (g/mL)	Suma (g/mL)	Promedio (g/mL)	Varianza (g/mL)
Fruto	0,914	2,438	0,813	5,17E-03
	0,754			
	0,770			
Cascarilla	0,999	2,931	0,997	2,43E-04
	0,965			
	0,967			

Fuente: elaboración propia.

Tabla LVI. **ANOVA de densidad a nivel planta piloto de la región de estudio**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Prob.	Valor crítico para F
Entre grupos	0,0415548	1	0,0415548	663,57	0,001503	18,51282
Dentro de los grupos	0,0001252	2	6,2622E-05			
Total	0,0416800	3				

Fuente: elaboración propia.

4. RESULTADOS

A continuación, se presentan las tablas con los resultados obtenidos de la experimentación realizada.

Tabla LVII. **Rendimiento del aceite esencial de cardamomo pergamino de tercera calidad y cascarilla (*Elettaria cardamomum* L. *Matton*) a nivel laboratorio**

Departamento	Parte de la planta	Rendimiento (%)
Alta Verapaz	Fruto	2,99 ± 0,231
	Cascarilla	0,147 ± 0,05
Quiché	Fruto	4,677 ± 0,446
	Cascarilla	0,372 ± 0,0426

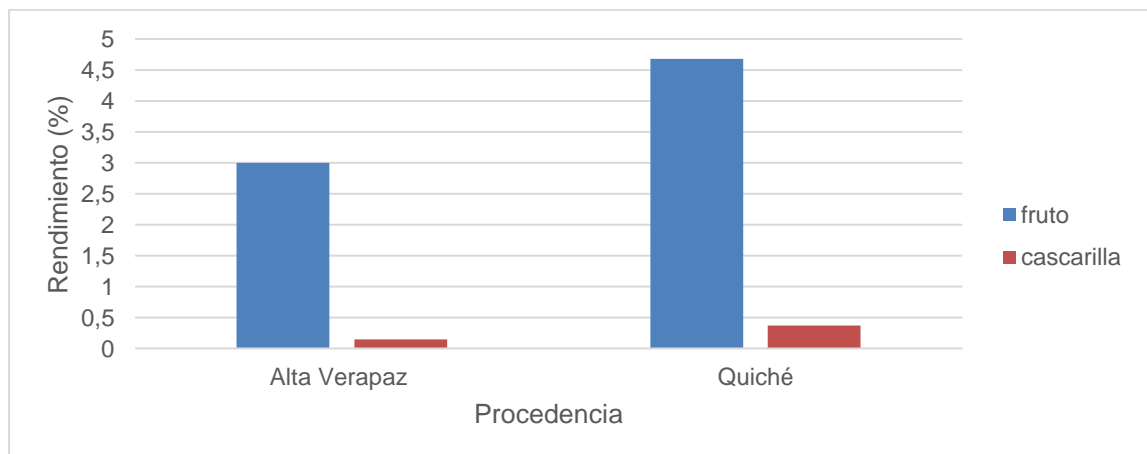
Fuente: datos experimentales, Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Tabla LVIII. **Rendimiento del aceite esencial de cardamomo pergamino de tercera calidad y cascarilla (*Elettaria cardamomum* L. *Matton*) a nivel planta piloto**

Departamento	Parte de la planta	Rendimiento (%)
Alta Verapaz	Fruto	2,250 ± 0,06
	Cascarilla	0,042 ± 0,024
Quiché	Fruto	6,725 ± 0,970
	Cascarilla	0,064 ± 0,0423

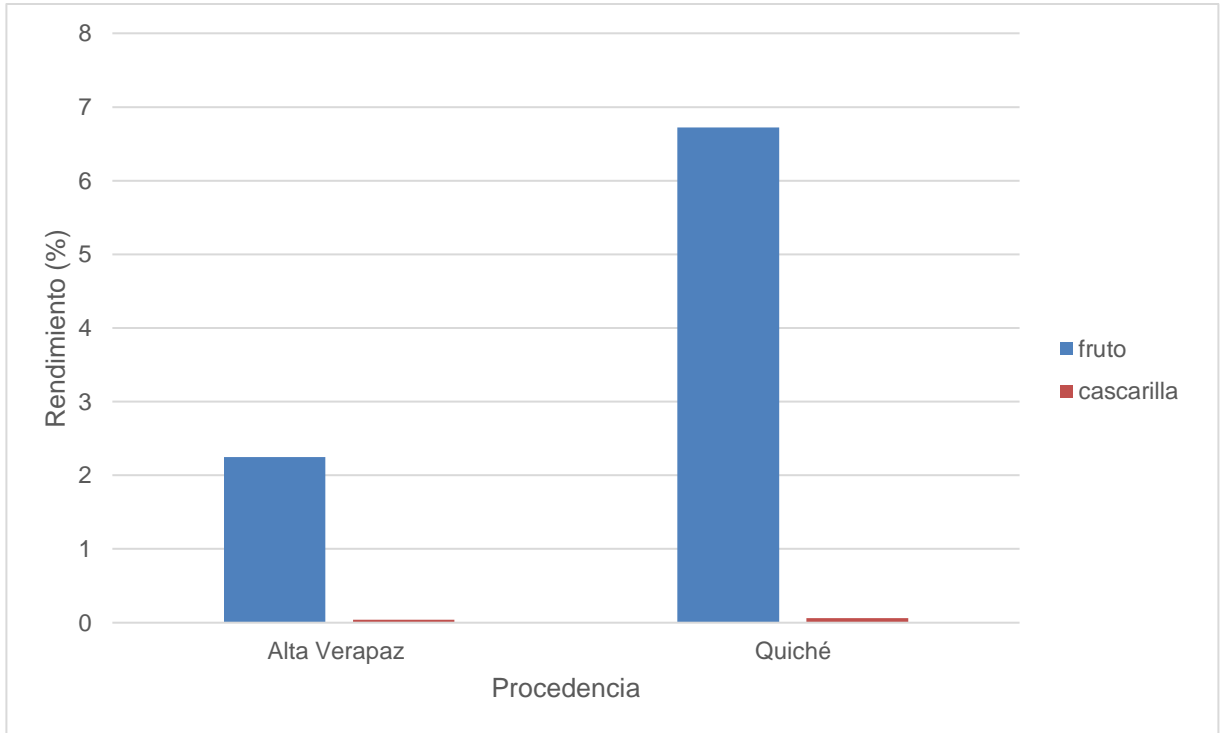
Fuente: datos experimentales, Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Figura 5. **Rendimiento extractivo del aceite esencial, a nivel laboratorio**



Fuente: datos experimentales, Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Figura 6. **Rendimiento extractivo del aceite esencial, a nivel planta piloto**



Fuente: datos experimentales, Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Tabla LIX. **Densidad del aceite esencial de cardamomo pergamino de tercera calidad y cascarilla (*Elettaria cardamomum* L. *Matton*) a nivel laboratorio**

Departamento	Parte de la planta	Densidad (g/mL)
Alta Verapaz	Fruto	$0,922 \pm 2,65E - 03$
	Cascarilla	$0,882 \pm 0,0250$
Quiché	Fruto	$0,922 \pm 0,628$
	Cascarilla	$0,925 \pm 0,0340$

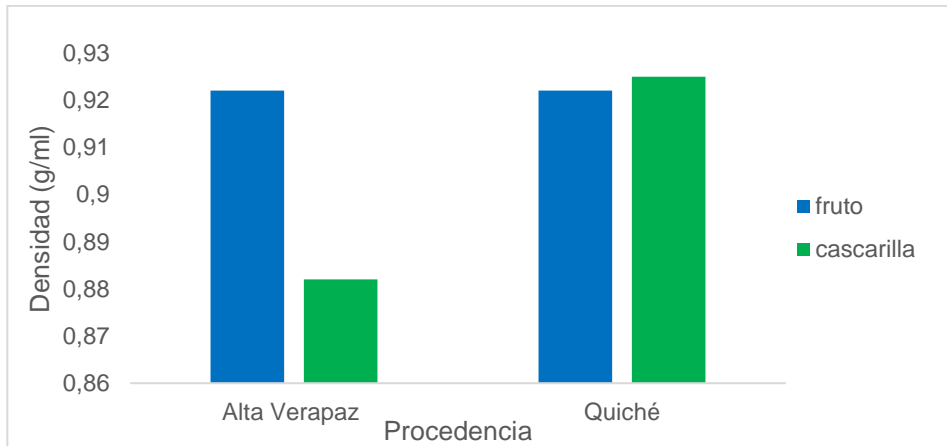
Fuente: datos experimentales, Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Tabla LX. **Densidad del aceite esencial de cardamomo pergamino de tercera calidad y cascarilla (*Elettaria cardamomum* L. Matton) a nivel planta piloto**

Departamento	Parte de la planta	Densidad (g/mL)
Alta Verapaz	Fruto	0,924 ± 0,019
	Cascarilla	0,836 ± 0,0225
Quiché	Fruto	0,813 ± 0,088
	Cascarilla	0,98 ± 0,0191

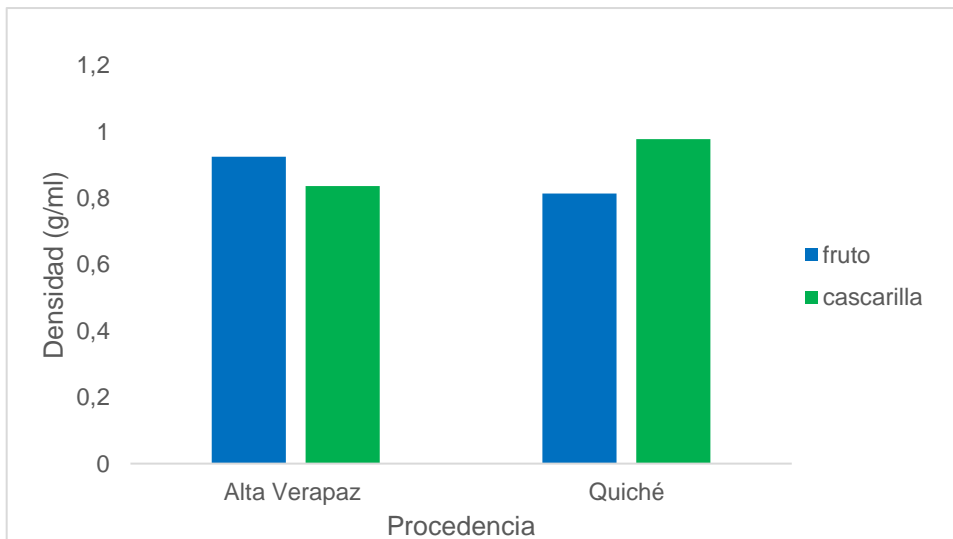
Fuente: datos experimentales, Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Figura 7. **Densidad del aceite esencial, a nivel laboratorio**



Fuente: datos experimentales, Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Figura 8. **Densidad del aceite esencial, a nivel planta piloto**



Fuente: datos experimentales, Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Tabla LXI. **Índice de refracción del aceite esencial de cardamomo pergamino de tercera calidad y cascarilla (*Elettaria cardamomum* L. Matton) a nivel laboratorio**

Departamento	Parte de la planta	Índice de refracción (adimensional)
Alta Verapaz	Fruto	$1,4736 \pm 2,540E - 05$
	Cascarilla	$1,5063 \pm 5,764E - 04$
Quiché	Fruto	$1,4261 \pm 0,00145$
	Cascarilla	$1,4775 \pm 2,540E - 05$

Fuente: datos experimentales, Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Tabla LXII. **Índice de refracción del aceite esencial de cardamomo pergamino de tercera calidad y cascarilla (*Elettaria cardamomum* L. Matton) a nivel planta piloto**

Departamento	Parte de la planta	Índice de refracción (adimensional)
Alta Verapaz	Fruto	$1,4719 \pm 6,05E - 04$
	Cascarilla	$1,5046 \pm 2,540E - 05$
Quiché	Fruto	$1,4257 \pm 0,00234$
	Cascarilla	$1,5045 \pm 5,080E - 05$

Fuente: datos experimentales, Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Tabla LXIII. **Solubilidad en etanol del aceite esencial de cardamomo pergamino de tercera calidad y cascarilla (*Elettaria cardamomum* L. Matton) a nivel laboratorio**

Departamento	Parte de la planta	Solubilidad (mL/mL)
Alta Verapaz	Fruto	0,2006 ± 0,0663

Fuente: datos experimentales, Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Tabla LXIV. **Solubilidad en etanol del aceite esencial de cardamomo pergamino de tercera calidad y cascarilla (*Elettaria cardamomum* L. Matton) a nivel planta piloto**

Departamento	Parte de la planta	Solubilidad (mL/mL)
Alta Verapaz	Fruto	0,2736 ± 0,0244
	Cascarilla	0,2004 ± 0,0072
Quiché	Fruto	0,4786 ± 0,1974

Fuente: datos experimentales, Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Tabla LXV. **Contenido de 1,8-cineol (eucaliptol) en el aceite esencial de cardamomo (*Elettaria cardamomum* L. Matton) a nivel laboratorio**

Departamento	Parte de la planta	Contenido de 1,8-cineol (% Área)
Alta Verapaz	Fruto	18,49
	Cascarilla	20,08
Quiché	Fruto	17,99
	Cascarilla	18,62

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXVI. **Contenido de 1,8-cineol (eucaliptol) en el aceite esencial de cardamomo (*Elettaria cardamomum* L. Matton) a nivel planta piloto**

Departamento	Parte de la planta	Contenido de 1,8-cineol (% Área)
Alta Verapaz	Fruto	16,88
	Cascarilla	19,92
Quiché	Fruto	18,02
	Cascarilla	17,53

Fuente: elaboración propia.

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En la tabla LVII se muestran los valores medios del rendimiento extractivo del aceite esencial de cardamomo (*Elettaria cardamomum* L. Matton), a nivel laboratorio según su procedencia, donde se observa que los valores difieren significativamente entre ellos, comprobando así los valores en la tabla XLII.

Se realizó un análisis estadístico para verificar si existe diferencia significativa entre el rendimiento extractivo másico, la calidad del cardamomo y el nivel de extracción, se puede decir que para un F calculado a un 95 por ciento de confianza existe diferencia significativa del rendimiento extractivo másico en función de la calidad del cardamomo y también existe diferencia significativa en el nivel de extracción del cardamomo. Lo que quiere decir que el rendimiento extractivo másico se ve afectado por ambos factores la calidad del cardamomo y el nivel de extracción.

Para el nivel planta piloto se muestran los valores medios del rendimiento extractivo en la tabla LVIII, con su respectiva procedencia, en la cual los valores difieren significativamente entre ellos, comprobando así los valores de la tabla XLIV, mostrando una gran diferencia de rendimiento extractivo, tanto en cascarilla como en cardamomo pergamino. Demostrando que la cascarilla contiene un porcentaje menor de aceite esencial en ambos métodos de extracción.

En la figura 5 se observa la diferencia de valores de rendimiento del aceite esencial a nivel laboratorio, en este el cardamomo pergamino de Quiché tiene mayor rendimiento, al igual que su cascarilla. Esto se debe a que la planta de cardamomo (*Elettaria cardamomum* L. Matton), se desarrolla mejor en climas fríos con una temperatura optima entre los 18 °C y los 22 °C lo que normalmente se obtiene a alturas entre 800 y 1300 msnm, por lo que el departamento de Quiché es el óptimo para su siembra y posterior cosecha.

Sin embargo, el departamento de Alta Verapaz tiene bosques y clima nuboso, la siembra y cosecha de cardamomo se ha hecho cada vez más recurrente y expansivo en las comunidades, la comercialización y la adquisición es más fácil y factible.

El rendimiento extractivo del aceite esencial de cascarilla proveniente de Alta Verapaz, como lo muestra dicha figura, es muy insignificante en comparación con el rendimiento extractivo del aceite esencial de cardamomo pergamino, por lo que no se recomienda la extracción de dicha materia prima, porque lo que se obtiene es mínimo.

En la tabla LVII se muestran los valores medios de los porcentajes de extracción del aceite esencial a nivel planta piloto en este el rendimiento extractivo de cardamomo pergamino procedente de Alta Verapaz es mucho menor que el cardamomo pergamino procedente de Quiché, y difieren significativamente entre ellos como se muestra en la tabla XLIV, esta muestra que existe diferencia significativa en el rendimiento del aceite esencial de cascarilla y de cardamomo pergamino en función del nivel en el que se realizó la extracción.

Se obtuvo mayores rendimientos a nivel laboratorio para la cascarilla, este era el comportamiento esperado debido a que en el nivel planta piloto hay una mayor cantidad de variables de operación que afectan el rendimiento de la extracción. En la figura 6 se observa el comportamiento de extracción del aceite esencial, y se determinó que el cardamomo pergamino de Quiché tiene mayor porcentaje de rendimiento.

Los resultados de las tablas L y LII muestran que, sí existe diferencia significativa en la densidad del aceite esencial de cascarilla a nivel laboratorio en función de la región de procedencia, siendo éste el mismo comportamiento para el aceite esencial del cardamomo pergamino. Los resultados de la tabla LIV permiten confirmar que no existe diferencia significativa en la densidad del aceite esencial de cascarilla a nivel planta piloto en función de la región de procedencia.

Los resultados de la tabla LVI muestran que la densidad del aceite esencial de cardamomo pergamino a nivel planta piloto no difieren significativamente en función de la región de procedencia. Esto indica que la técnica de extracción no afecta esta propiedad fisicoquímica, como lo confirman las figuras 7 y 8, en donde se muestra el comportamiento de la densidad según el tipo de materia prima y su procedencia, siendo la cascarilla en nivel laboratorio proveniente de Alta Verapaz la que tiene menor densidad.

El índice de refracción es un valor que relaciona la velocidad de la luz en el vacío y la velocidad en el medio dado, estos valores se observan en las tablas LXI para los valores de índice de refracción para la nivel laboratorio con su respectiva procedencia, siendo el aceite esencial de cascarilla proveniente de Alta Verapaz con mayor índice de refracción, en la tabla LXII para los valores de índice de refracción para nivel planta piloto con su respectiva procedencia, se

observa que el aceite esencial de cascarilla proveniente de Alta Verapaz tiene un mayor índice de refracción.

Esto confirma que la densidad del aceite esencial de cascarilla proveniente de Alta Verapaz tanto en nivel laboratorio como nivel planta piloto tiene una densidad menor en comparación a los demás aceites esenciales, el índice de refracción en el vacío es la unidad y a medida que el material es menos denso, el valor del índice aumenta.

En la tabla LXIII se muestra la solubilidad del cardamomo pergamino a nivel laboratorio procedente de Alta Verapaz, este indica la capacidad que el aceite esencial tiene para disolverse, en este estudio de investigación, en etanol al 95 %.

La solubilidad del aceite esencial de cardamomo pergamino y su cascarilla a nivel planta piloto se observa en la tabla LXIV siendo el aceite esencial de cardamomo pergamino procedente de Quiché con mayor solubilidad en etanol al 95 %.

Se evaluó el contenido de 1,8-cineol (eucaliptol) en el aceite esencial de cardamomo realizando una GC-MS, que permitió conocer la composición química de cada aceite esencial obtenido, de esta manera se logra un cromatograma que es el resultado de la descomposición química para distintos tiempos de retención para la detección en el espectro de masa a través de picos y realizar una cuantificación por integración de áreas, y el mayor porcentaje de área lo tendrá el compuesto mayoritario.

El 1,8-cineol es uno de los compuestos mayoritarios del aceite esencial de cardamomo, se le atribuye distintas aplicaciones entre la más conocida está

ser un descongestionante y expectorante en contra de infecciones respiratorias. En la tabla LXV se encuentran los valores del contenido de 1,8-cineol presente en cada aceite esencial, se obtiene como resultado que el aceite esencial de cascarilla proveniente de Alta Verapaz a nivel laboratorio contiene un porcentaje mayor. Su olor característico es mucho más fuerte que el de las demás muestras de aceite esencial.

El contenido de 1,8-cineol a nivel planta piloto se encuentran en la tabla LXVI, esta muestra que el aceite esencial de cascarilla proveniente de Quiché contiene un porcentaje mayor respecto a los demás, y su olor característico es mucho más perceptible en el ambiente. La cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas permite confirmar que no importa el método de extracción el contenido será casi igual.

CONCLUSIONES

1. El rendimiento del aceite esencial de cardamomo (*Elettaria cardamomum* L. Matton), en función de la región de procedencia de la materia prima fue de 2,99 % para Alta Verapaz y 4,67 % para Quiché a nivel laboratorio y 2,25 % para Alta Verapaz y 6,72 % para Quiché a nivel planta piloto.
2. El rendimiento del aceite esencial de cardamomo (*Elettaria cardamomum* L. Matton), en función del tipo de subproducto del beneficiado del cardamomo cascarilla proveniente de Alta Verapaz fue de 0,14 % y para Quiché fue de 0,37 % a nivel laboratorio y 0,04 % proveniente de Alta Verapaz y 0,06 % para la cascarilla de Quiché a nivel planta piloto.
3. Se caracterizó fisicoquímicamente el aceite esencial de cardamomo (*Elettaria cardamomum* L. Matton), con base al índice de refracción de 1,47, solubilidad de 0,200ml/ml y densidad de 0,92g/ml para Alta Verapaz y con índice de refracción de 1,42 y densidad de 0,92g/ml para Quiché a nivel laboratorio y con base al índice de refracción de 1,47, solubilidad de 0,27 y densidad de 0,92g/ml para Alta Verapaz y con índice de refracción de 1,42, solubilidad de 0,47ml/ml y densidad de 0,81g/ml para Quiché a nivel planta piloto.

4. Se caracterizó fisicoquímicamente el aceite esencial de cardamomo (*Elettaria cardamomum* L. Matton), con base al índice de refracción de 1,50 y densidad de 0,88g/ml de cascarilla procedente de Alta Verapaz y con índice de refracción de 1,47 y densidad de 0,92g/ml de cascarilla procedente de Quiché a nivel laboratorio, con base al índice de refracción de 1,50, solubilidad de 0,200 ml/ml y densidad de 0,83g/ml para el subproducto del beneficiado del cardamomo cascarilla procedente de Alta Verapaz y con índice de refracción de 1,50 y densidad de 0,98g/ml para el subproducto del beneficiado del cardamomo cascarilla procedente de Quiché a nivel planta piloto.
5. El contenido de 1,8-cineol (eucaliptol), del aceite esencial de cardamomo (*Elettaria cardamomum* L. Matton), en función de la región de procedencia de la materia prima la cual para Alta Verapaz es de 18,49 % en nivel laboratorio y 16,88 % en nivel planta piloto, para Quiché es de 17,99 % en nivel laboratorio y 18,02 % en nivel planta piloto.
6. El contenido de 1,8-cineol (eucaliptol), del aceite esencial de cardamomo (*Elettaria cardamomum* L. Matton), en función del tipo de subproducto del beneficiado del cardamomo, cascarilla es de 20,08 % para nivel laboratorio y 19,92 % para nivel planta piloto procedente de Alta Verapaz y 18,62 % para nivel laboratorio y 17,53 % para nivel planta piloto procedente de Quiché.

RECOMENDACIONES

1. Desarrollar un estudio de investigación para la extracción de aceite esencial de cardamomo (*Elettaria cardamomum L. Matton*), obtenida a nivel laboratorio utilizando materia prima sana y materia prima infestada con trips.
2. Realizar un estudio de investigación con extracciones de aceite esencial de cardamomo (*Elettaria cardamomum L. Matton*), oro a nivel laboratorio y nivel planta piloto para realizar una comparación con este estudio.
3. Elaborar un estudio de investigación de extracción de aceite esencial de cardamomo (*Elettaria cardamomum L. Matton*), con el método de extracción con fluidos supercríticos.
4. Efectuar un estudio del aceite esencial de cardamomo (*Elettaria cardamomum L. Matton*), del primer corte con el segundo corte de la cosecha para ver la eficiencia en la extracción de aceite Esencial que existe.
5. Hacer extracciones de aceite esencial de cardamomo (*Elettaria cardamomum L. Matton*), con trampa de hexano a nivel laboratorio para lograr una comparación con este estudio.

6. Crear un estudio de extracción de aceite esencial de cardamomo (*Elettaria cardamomum* L. Matton), con otras materias primas compatibles a nivel laboratorio.

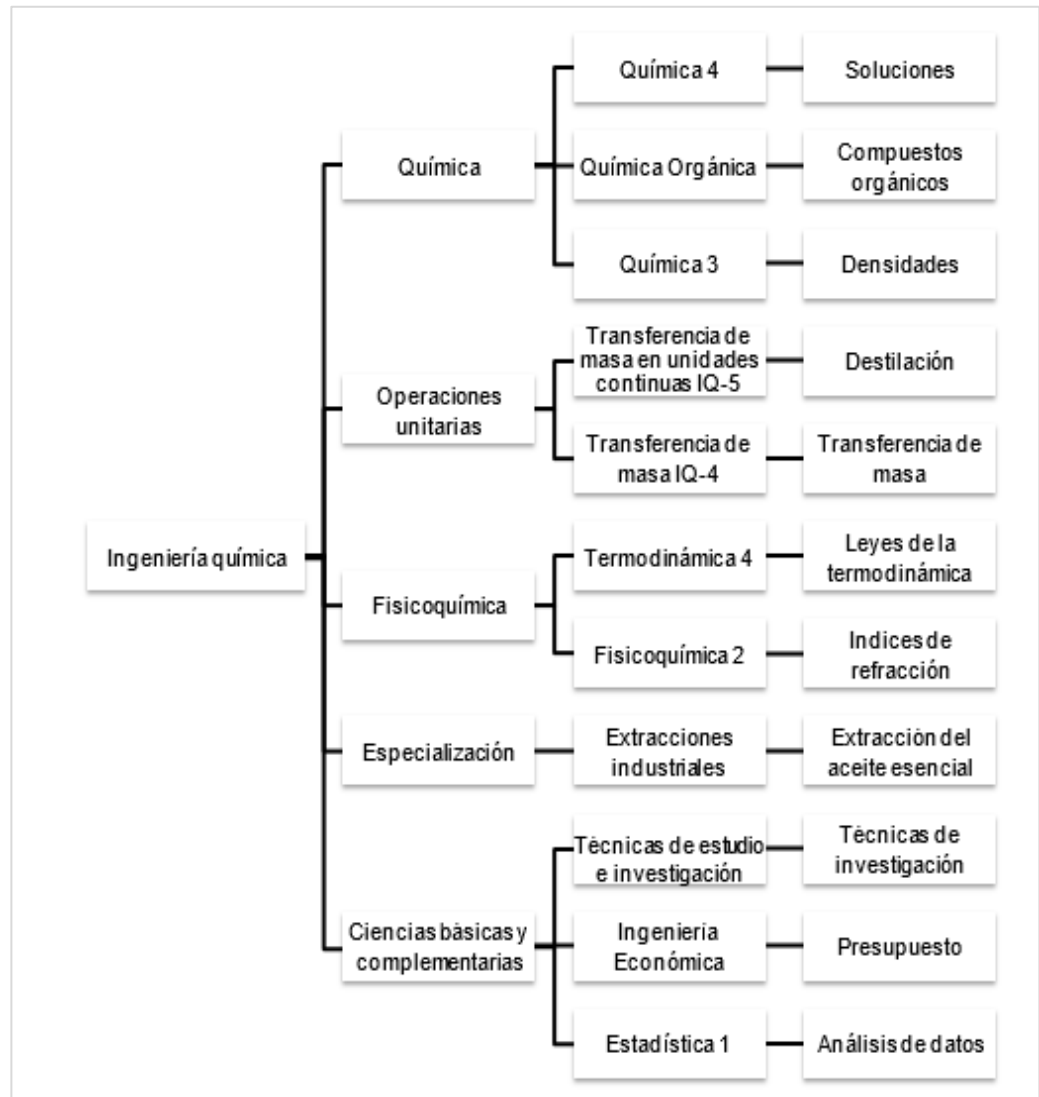
REFERENCIAS

1. AGUSTYN, Adam. *Refractive Index*. [en línea]. <<http://www.britannica.com/science/refractive-index>>. [Consulta: 31 de agosto del 2021].
2. ARIAS, Maria. *Aceites esenciales*. [en línea]. <http://www.ecured.cu/Aceites_esenciales>. [Consulta: 14 de mayo del 2021].
3. DE SILVA, Tuyel. *Manual on the essential oil industry*. United Nations Industrial development organization Vienna, Austria, 1995. 156 p.
4. ESPINA, Stephany Michelle. *Evaluación del rendimiento extractivo y caracterización fisicoquímica del aceite esencial de cardamomo (*Elettaria Cardamomum* L. Matton) de primera, segunda y tercera calidad mediante el método de hidrodestilación a nivel laboratorio*. Trabajo de graduación de Ingeniería Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2014. 275 p.
5. GARZONA, Edwin. *Plant classification, anatomy and function*. [en línea]. <<http://www.cobalt-group.com/frontpagewebs/Content/Classify/classifi.html>>. [Consulta: 26 de junio del 2021].

6. QUIMINET. *Aceites esenciales: obtención y aplicaciones*. [en línea]. <<http://www.quiminet.com/articulos/aceites-esenciales-obtencion-y-aplicaciones-2676632.html>>. [Consulta: 23 de abril del 2021].
7. TISSERAND, Robert. *El arte de la aromaterapia (aceites esenciales y masajes para la cura del cuerpo y la mente)*. España: Paidós Ibérica, 2007. 334 p.
8. TRETIAK, Anastaisa. *What are essential oils*. [en línea]. <<https://www.verywell.com/what-are-essential-oils-88807>>. [Consulta: 14 de mayo del 2021].
9. ULLENHAU, Mathew. *The chemistry of essential oils, and their chemical components*. [en línea]. <<http://www.essentialoils.co.za/components.htm>>. [Consulta: 23 de julio del 2021].
10. Vademecum de Prescripción. *Plantas medicinales*. 3a ed. Barcelona, España: Masson, 1998. 1092 p.
11. WORWOOD, Valerie Ann. *The complete book of essential oils and aromatherapy*. Reino Unido: New World Library, 1990. 423 p.

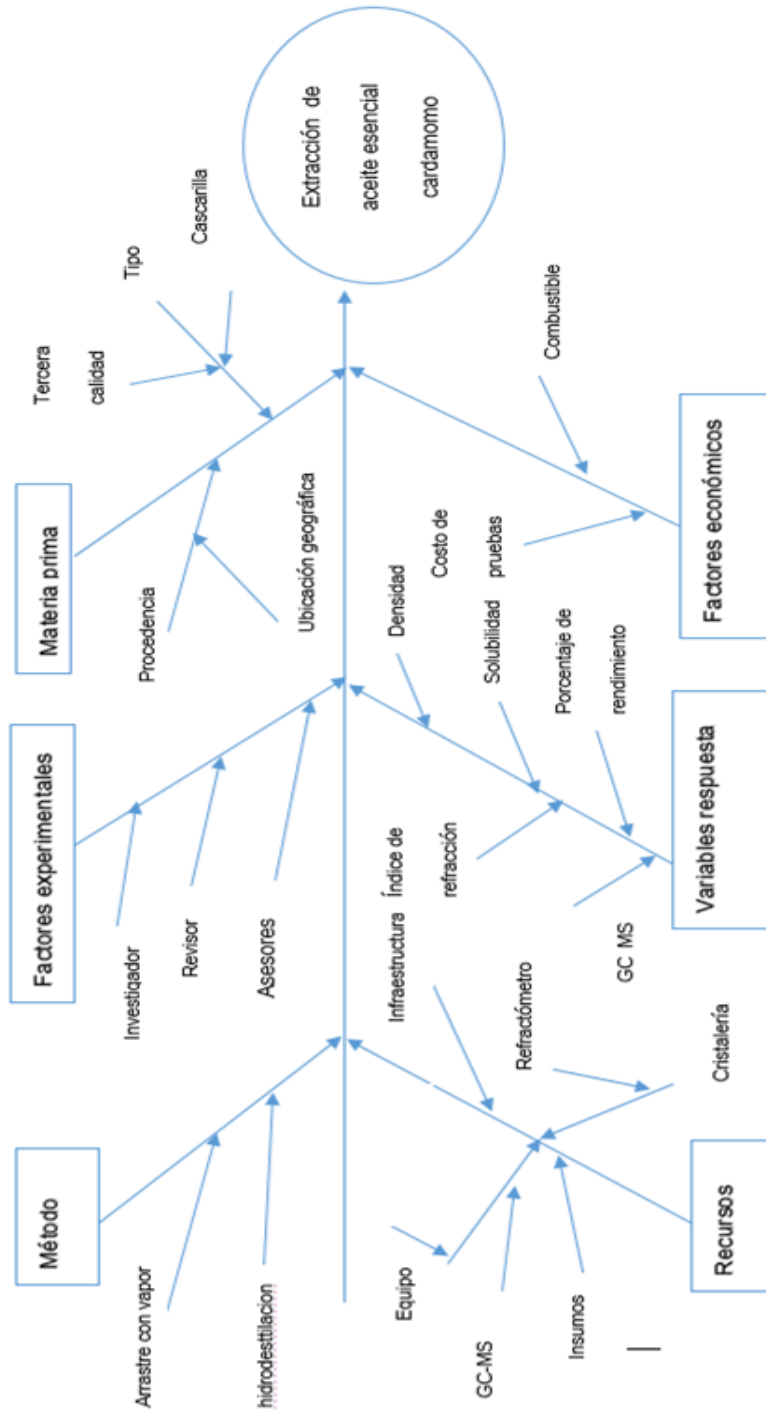
APÉNDICES

Apéndice 1. Requisitos académicos



Fuente: elaboración propia.

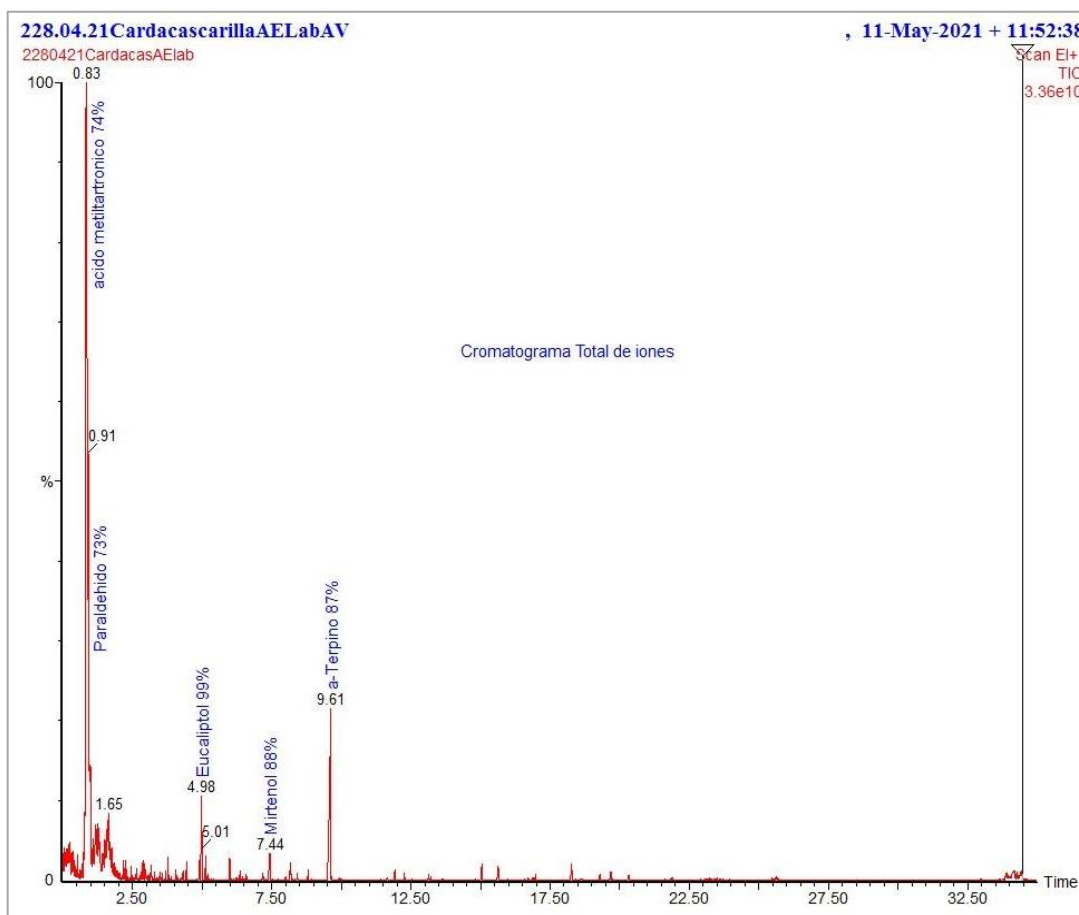
Apéndice 2. Diagrama de Ishikawa



Fuente: elaboración propia.

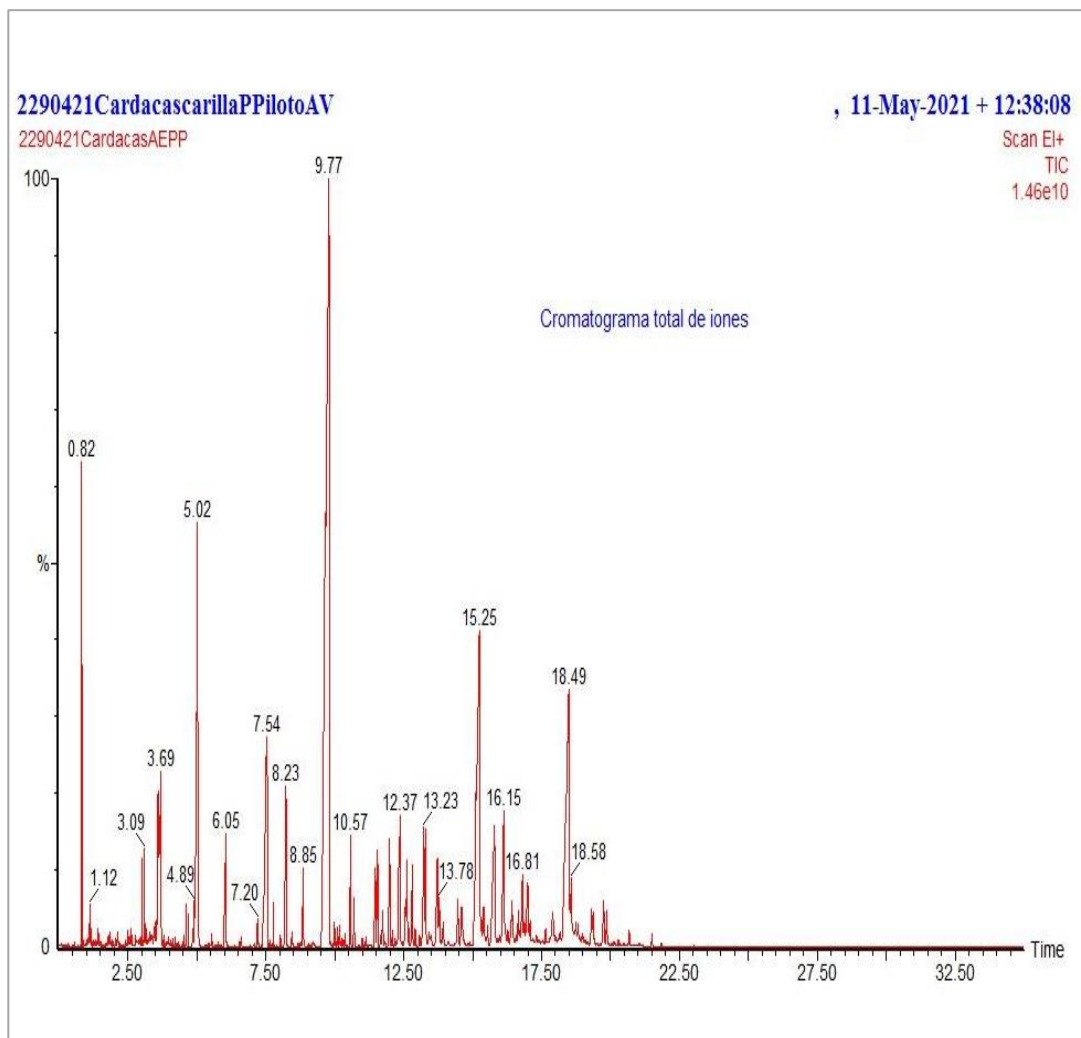
ANEXOS

Anexo 1. Cromatograma de aceite esencial de cardamomo (*Elettaria cardamomum* L. Matton) de cascarilla proveniente de Alta Verapaz a nivel laboratorio



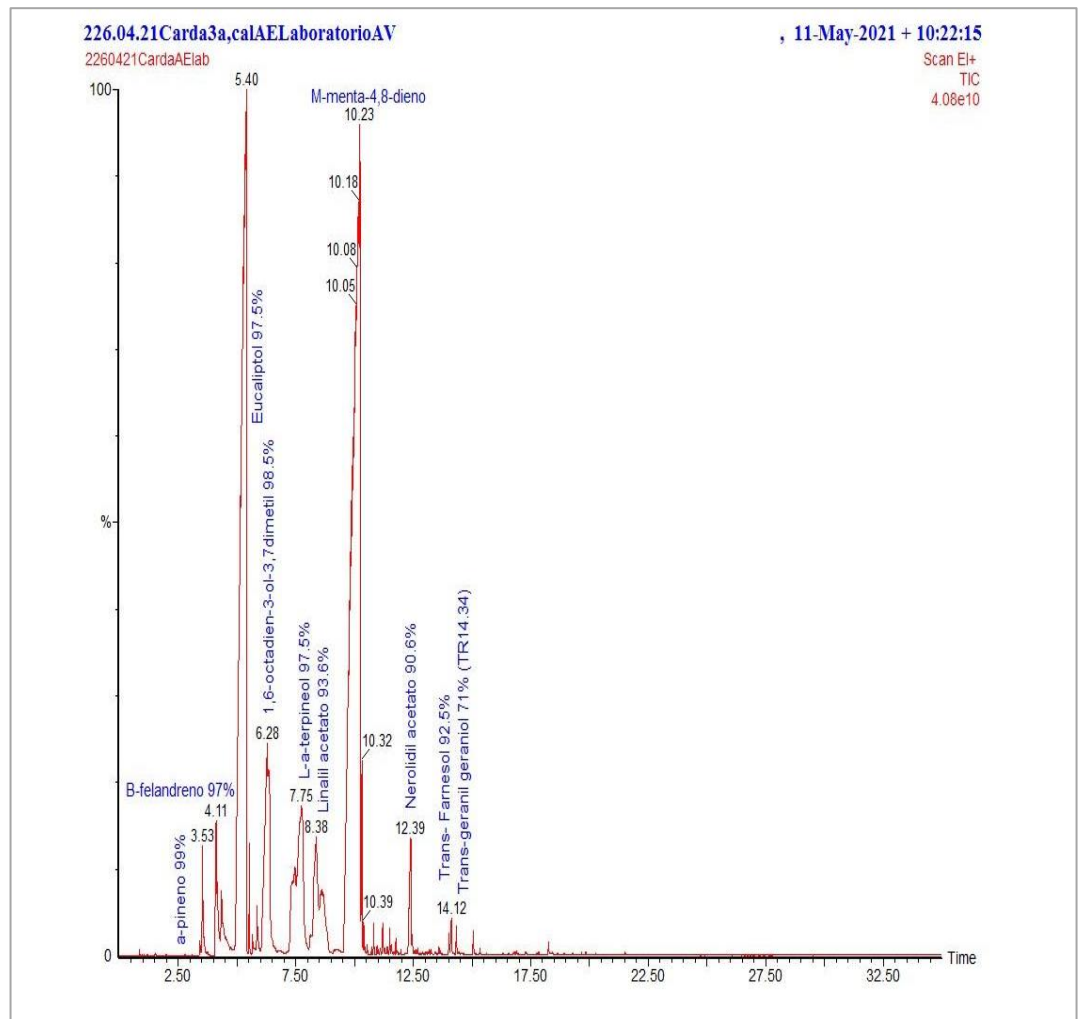
Fuente: datos experimentales, Laboratorio de Análisis Físicoquímicos y Microbiológicos, LAFYM, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Anexo 2. **Cromatograma de aceite esencial de cardamomo (*Elettaria cardamomum* L. Matton) de cascarilla proveniente de Alta Verapaz a nivel planta piloto**



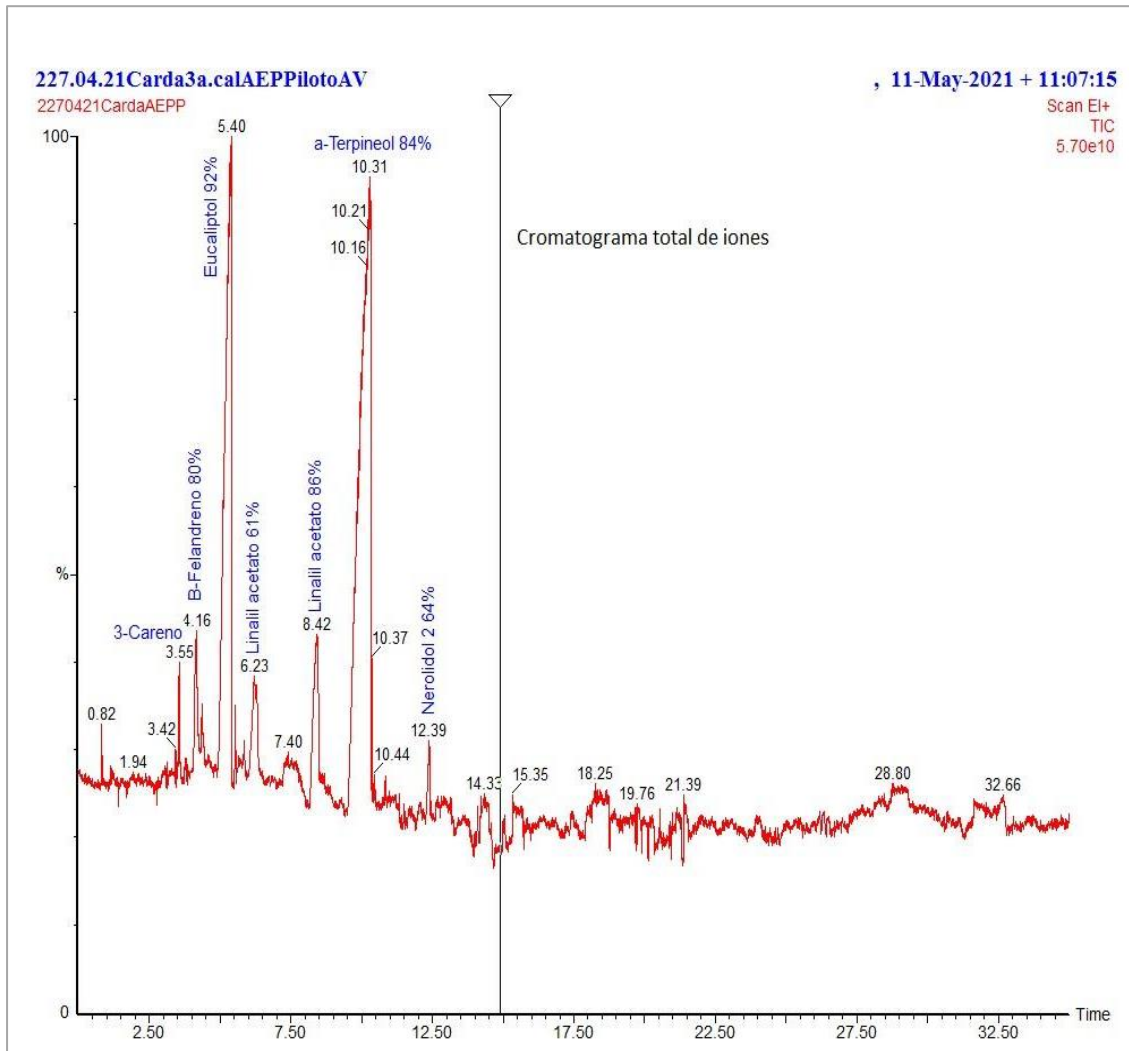
Fuente: datos experimentales, Laboratorio de Análisis Físicoquímicos y Microbiológicos, LAFYM, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Anexo 3. **Cromatograma de aceite esencial de cardamomo (*Elettaria cardamomum* L. Matton) de tercera calidad proveniente de Alta Verapaz a nivel laboratorio**



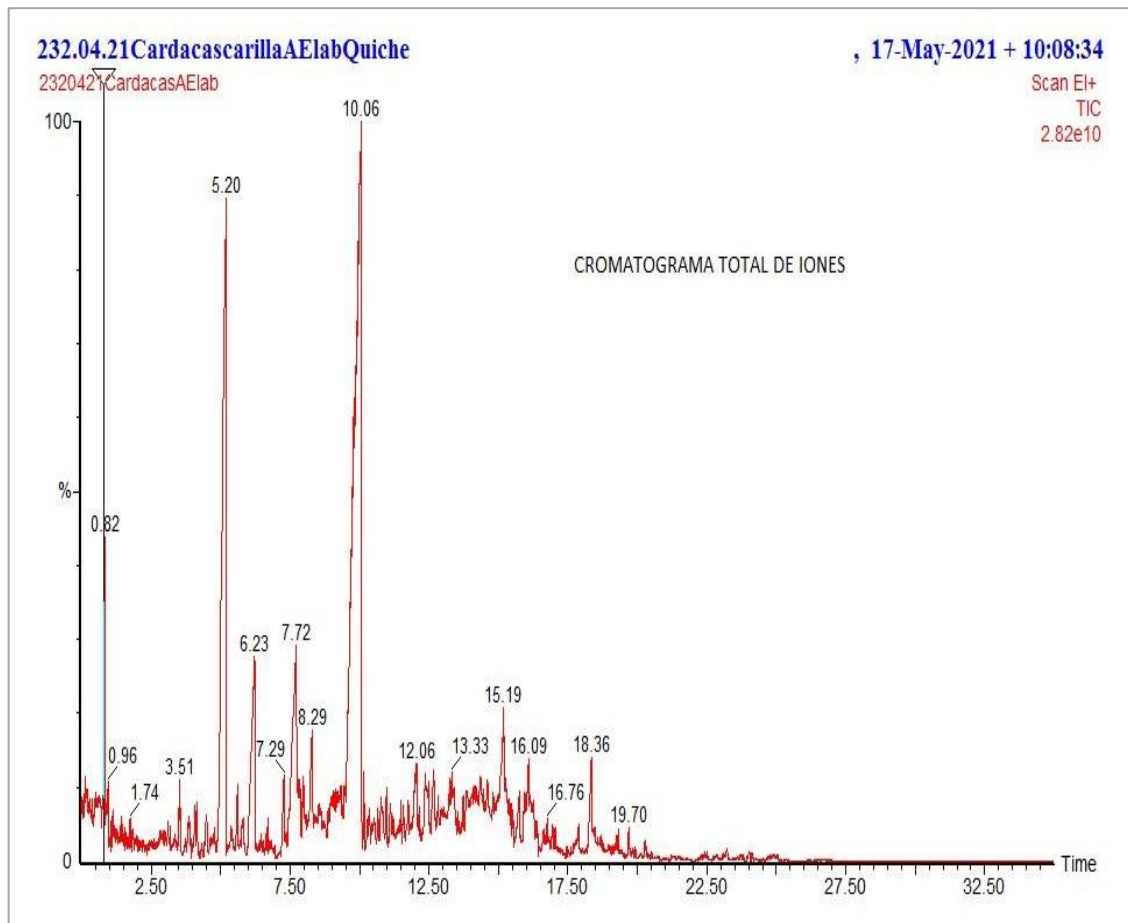
Fuente: datos experimentales, Laboratorio de Análisis Físicoquímicos y Microbiológicos, LAFYM, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Anexo 4. **Cromatograma de aceite esencial de cardamomo (*Elettaria cardamomum* L. Matton) de tercera calidad proveniente de Alta Verapaz a nivel planta piloto**



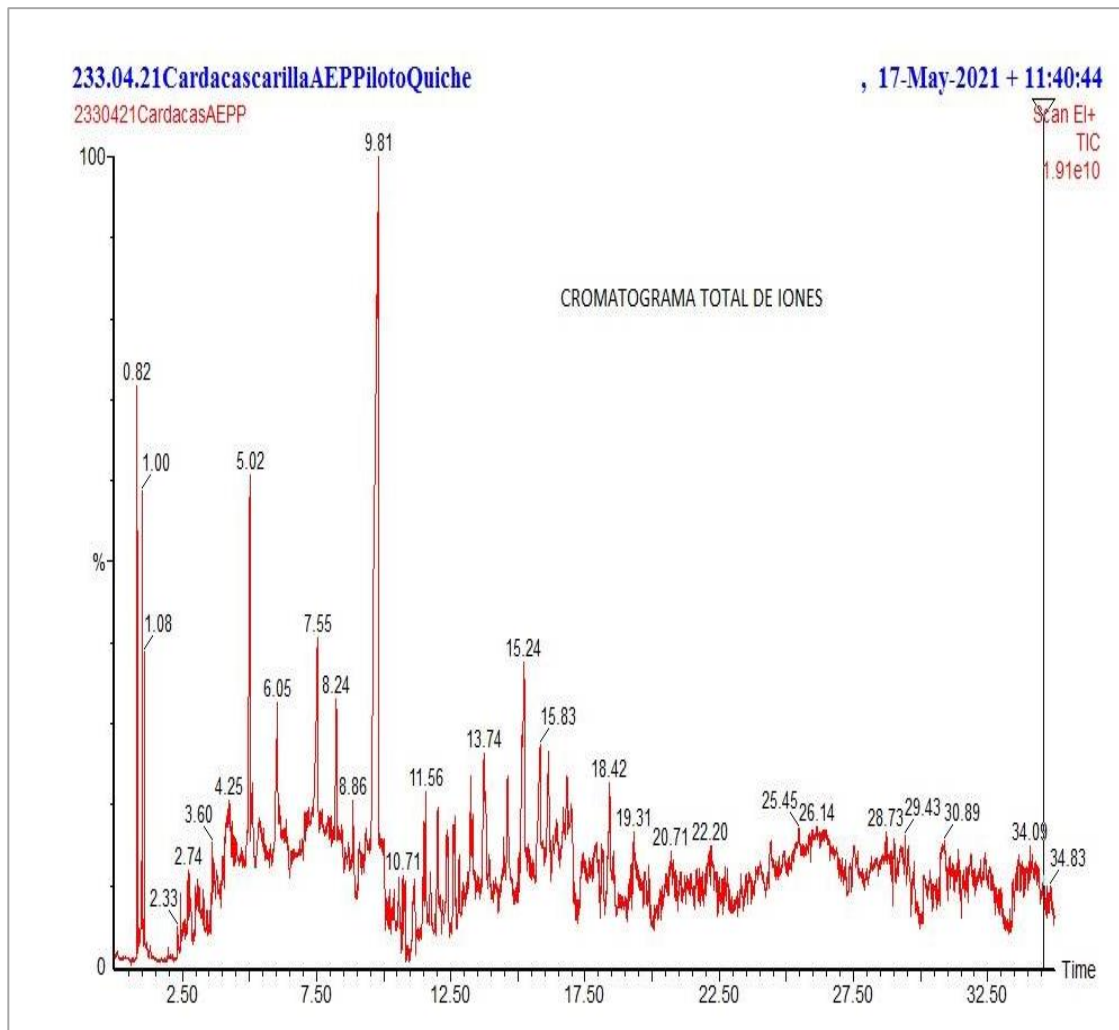
Fuente: datos experimentales, Laboratorio de Análisis Físicoquímicos y Microbiológicos, LAFYM, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Anexo 5. **Cromatograma de aceite esencial de cardamomo (*Elettaria cardamomum* L. Matton) de cascarilla proveniente de Quiché a nivel laboratorio**



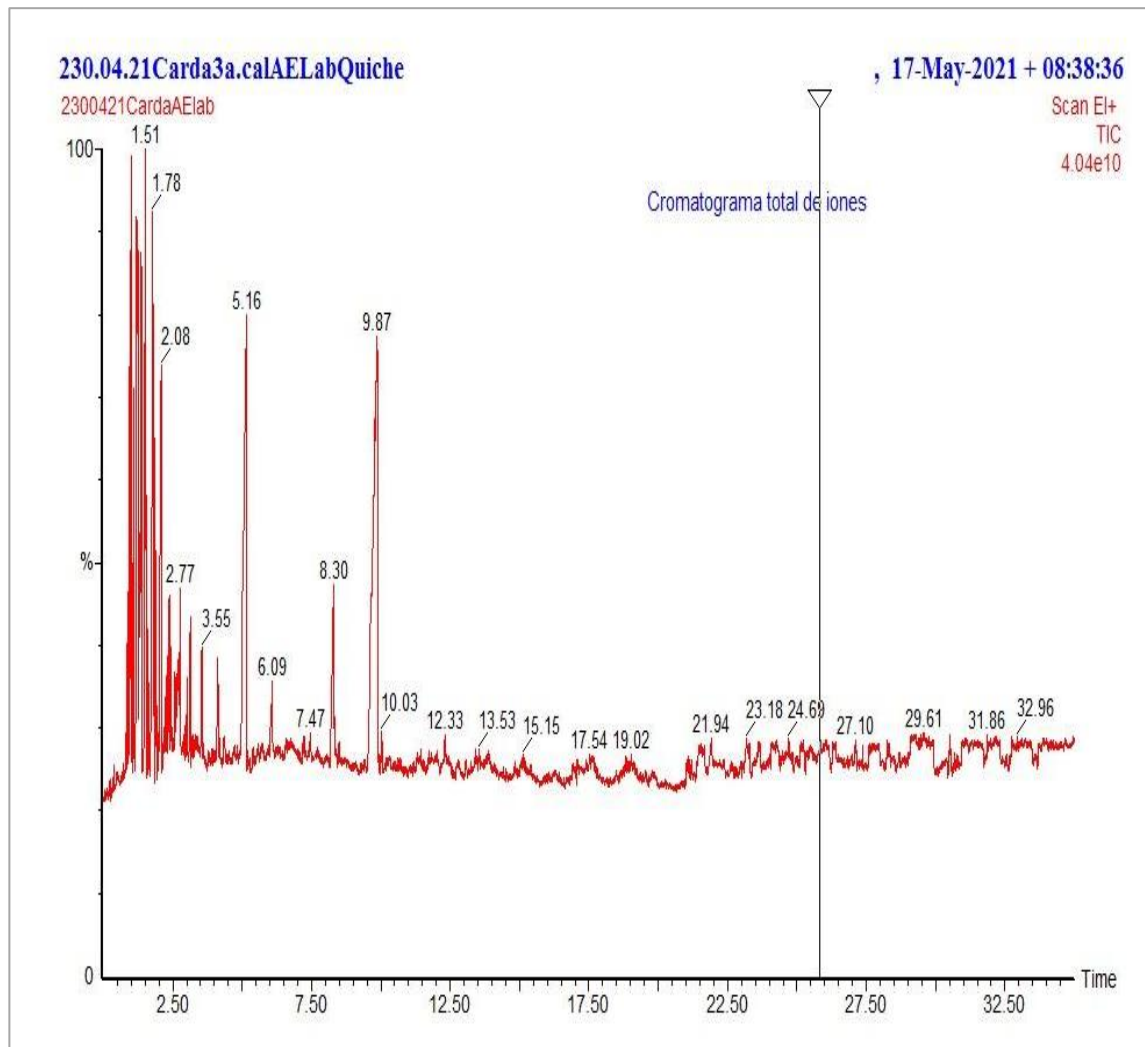
Fuente: datos experimentales, Laboratorio de Análisis Físicoquímicos y Microbiológicos, LAFYM, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Anexo 6. **Cromatograma de aceite esencial de cardamomo (*Elettaria cardamomum* L. Matton) de cascarilla proveniente de Quiché a nivel planta piloto**



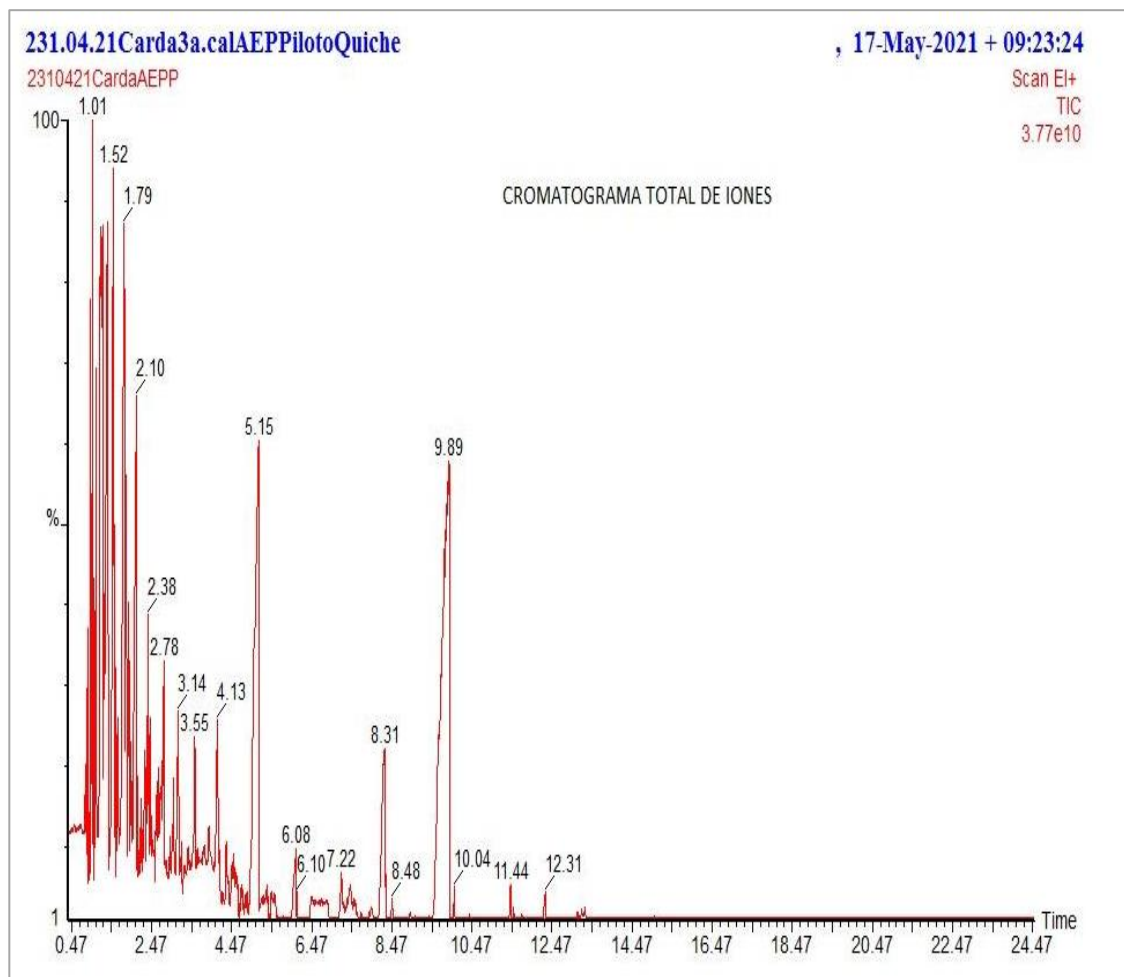
Fuente: datos experimentales, Laboratorio de Análisis Físicoquímicos y Microbiológicos, LAFYM, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Anexo 7. **Cromatograma de aceite esencial de cardamomo (*Elettaria cardamomum* L. Matton) de tercera calidad proveniente de Quiché a nivel laboratorio**



Fuente: datos experimentales, Laboratorio de Análisis Físicoquímicos y Microbiológicos, LAFYM, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Anexo 8. **Cromatograma de aceite esencial de cardamomo (*Elettaria cardamomum* L. Matton) de tercera calidad proveniente de Quiché a nivel planta piloto**



Fuente: datos experimentales, Laboratorio de Análisis Físicoquímicos y Microbiológicos, LAFYM, Universidad de San Carlos de Guatemala.