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

EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA CALIDAD Y RENDIMIENTO DE LA OLEORRESINA DE CARDAMOMO (*Elettaria cardamomum)* OBTENIDA A NIVEL LABORATORIO UTILIZANDO MATERIA PRIMA SANA Y MATERIA PRIMA INFESTADA CON TRIPS (*Frankliniella occidentalis*)

Kimberlin Yolanda Ramírez Pérez
Asesorada por la Inga. Telma Maricela Cano Morales
Asesorada por el Ing. Mario José Mérida Meré

Guatemala, noviembre de 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA

EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA CALIDAD Y RENDIMIENTO DE LA OLEORRESINA DE CARDAMOMO (*Elettaria cardamomum)* OBTENIDA A NIVEL LABORATORIO UTILIZANDO MATERIA PRIMA SANA Y MATERIA PRIMA INFESTADA CON TRIPS (*Frankliniella occidentalis*)

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

KIMBERLIN YOLANDA RAMÍREZ PÉREZ
ASESORADA POR LA INGA. TELMA MARICELA CANO MORALES
ASESORADA POR EL ING. MARIO JOSÉ MÉRIDA MERÉ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA QUIMICA

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2019

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. Luis Diego Aguilar Ralón
VOCAL V	Br. Christian Daniel Estrada Santizo
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Manuel Gilberto Galván Estrada
EXAMINADOR	Ing. Adolfo Narciso Gramajo Antonio
EXAMINADOR	Ing. Dinna Lissette Estrada Moreira de Rossal
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López.

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA CALIDAD Y RENDIMIENTO DE LA OLEORRESINA DE CARDAMOMO (*Elettaria cardamomum)* OBTENIDA A NIVEL LABORATORIO UTILIZANDO MATERIA PRIMA SANA Y MATERIA PRIMA INFESTADA CON TRIPS (*Frankliniella occidentalis*)

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química con fecha 31 de octubre de 2014.

Kimberlin Yolanda Ramírez Pérez

Guatemala, 27 de abril de 2018

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

Estimado Ingeniero Wong:

Por medio de la presente HACEMOS CONSTAR que hemos revisado y dado nuestra aprobación al Informe Final del trabajo de graduación titulado **"EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA CALIDAD Y RENDIMIENTO DE LA OLEORRESINA DE CARDAMOMO (*Elettaria cardamomum*) OBTENIDA A NIVEL LABORATORIO UTILIZANDO MATERIA PRIMA SANA Y MATERIA PRIMA INFESTADA CON TRIPS (*Frankliniella occidentalis*)"**, de la estudiante de Ingeniería Química Kimberlin Yolanda Ramírez Pérez quien se identifica con CUI No. 2129293480101 y registro académico número 2009-14968

Sin otro particular me suscribo de usted.

Atentamente,

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

INGENIERO QUÍMICO
Mario José Mérida Meré
Colegiado 1411

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

INGENIERA QUÍMICA
Telma Maricela Cano M.
Colegiada 433

Guatemala, 19 de septiembre de 2019.
Ref. EIQ.TG-IF.033.2019.

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

Estimado Ingeniero Álvarez:

Como consta en el registro de evaluación del informe final correlativo **029-2014** le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

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

Solicitado por la estudiante universitaria: **Kimberlin Yolanda Ramírez Pérez.**
Identificada con número de carné: **2129293480101.**
Identificada con registro académico: **2009-14968.**
Previo a optar al título de **INGENIERA QUÍMICA.**

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 COMPARATIVA DE LA CALIDAD Y RENDIMIENTO DE LA OLEORRESINA DE CARDAMOMO (*Elettaria cardamomum*) OBTENIDA A NIVEL LABORATORIO UTILIZANDO MATERIA PRIMA SANA Y MATERIA PRIMA INFESTADA CON TRIPS (*Frankliniella occidentalis*)

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

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

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Ing. César Ariel Villela Rodas
COORDINADOR DE TERNA
Tribunal de Revisión
Trabajo de Graduación

C.c.: archivo

Ref.EIQ.TG.071.2019

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Trabajo de Graduación, de la carrera de Ingeniería Química, del estudiante, **KIMBERLIN YOLANDA RAMÍREZ PÉREZ** titulado: **"EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA CALIDAD Y RENDIMIENTO DE LA OLEORRESINA DE CARDAMOMO (*Elettaria cardamomum*) OBTENIDA A NIVEL LABORATORIO UTILIZANDO MATERIA PRIMA SANA Y MATERIA PRIMA INFESTADA CON TRIPS (*Frankliniella occidentalis*)"**. Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.

"Id y Enseñad a Todos"

FACULTAD DE INGENIERÍA DIRECCIÓN ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

Ing. Williams G. Álvarez Mejía, M.I.Q., M.U.I.E.
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química

Guatemala, noviembre de 2019

Cc: Archivo
WGAM/ale

USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Decanato
24189102 - 24189103

DTG.566.2019

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al Trabajo de Graduación titulado: **EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA CALIDAD Y RENDIMIENTO DE LA OLEORRESINA DE CARDAMOMO (*Elettaria cardamomum*) OBTENIDA A NIVEL LABORATORIO UTILIZANDO MATERIA PRIMA SANA Y MATERIA PRIMA INFESTADA CON TRIPS (*Frankliniella occidentalis*),** presentado por la estudiante universitaria: **Kimberlin Yolanda Ramírez Pérez,** y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Inga. Anabela Cordova Estrada
Decana

Guatemala, noviembre de 2019

/gdech

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por haberme brindado la sabiduría, las fuerzas y la dirección para lograr un objetivo más en mi vida.
Mis padres	Noé Ramírez e Ilcy Pérez de Ramírez por haberme apoyado, sostenido e incentivado en cada etapa de mi vida, enseñándome con amor y esfuerzo a cumplir mis sueños y metas.
Mis hermanos	Allan y Marcos Ramírez por motivarme a ser un ejemplo de superación, mostrándoles que con perseverancia los sueños se alcanzan.
Mis abuelos	Marco Aurelio Ramírez y Yolanda Contreras por ser personas admirables que lucharon por brindarles a sus generaciones una vida mejor.
Mis tíos	Osberto de León, Angelica Rodas, Liseth Ramírez y Marco Aurelio Ramírez hijo por siempre preocuparse por el bienestar de mi familia.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser mi casa de estudios y brindarme la oportunidad de cursar la educación superior permitiéndome crecer como profesional.
Facultad de Ingeniería	Por darme las herramientas y lineamientos necesarios para ejercer una profesión con ética y competivismo.
Mis asesores	Ing. Telma Cano e Ing. Mario Merida por compartir sus conocimientos y dedicarme su tiempo para culminar con éxito este trabajo de graduación.
Mi revisor	Ing. Cesar Villela por su tiempo y paciencia.
Mis amigos	Esther López, Ana Sylvia Ávila, Gabriela Coyoy, Celeste Rodríguez, Julio Carias por tantos momentos acumulados y por acompañarme a lo largo de la carrera.
Mis compañeros de trabajo	Julio Carrión, Lizy Montes, Jorge Velázquez, Deric Cuyán y Luisa Vásquez por compartirme de sus experiencias y enseñarme a ser mejor profesional.

Las familias	Julio Ac, Rosario Dardón, Dan Arredondo y familia y José Luis Vega y familia por sus oraciones y apoyo hacia mi familia.
Mis primas	Maribel y Violeta Pérez por ser como hermanas para mi e incentivarme a graduarme.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES V
LISTA DE SÍMBOLOS XI
GLOSARIO XIII
RESUMEN XVII
OBJETIVOS XIX
HIPÓTESIS XXI
INTRODUCCIÓN XXIII

1. ANTECEDENTES 1

2. MARCO TEÓRICO 5
2.1. Cardamomo 5
2.1.1. Variedades 5
2.1.2. Grados comerciales 6
2.1.3. Cultivo 7
2.1.3.1. Condiciones apropiadas para el cultivo 8
2.1.4. Proceso 10
2.1.5. Calidades de cardamomo 11
2.1.6. Rendimiento 13
2.1.7. Beneficios 14
2.1.8. Usos del cardamomo 15
2.2. Plagas y enfermedades del cardamomo 15
2.2.1. Enfermedades 15
2.2.2. Plagas 17

2.3. trips 19
2.4. Las oleorresinas 22
2.4.1. Ventajas de las oleorresinas 23
2.5. Metodologías de análisis 24
2.5.1. Análisis físico-químicos 24
2.6. Métodos de extracción 25
2.6.1. Maceración 25
2.6.1.1. Tipos de maceración 25
2.6.2. Percolación 27
2.6.3. Extracto seco 29
2.6.4. Extracto blando 29
2.6.5. Extracto fluido 30
2.7. Análisis instrumental 31
2.7.1. Métodos de separación cromatográficos 31
2.7.2. Índice de refracción 33
2.7.3. Densidad 33
2.8. Operaciones unitarias 34
2.8.1. Transferencia de masa 34
2.8.2. Lixiviación 35
2.8.2.1. Ley de Fick 36

3. DISEÑO METODÓLOGICO 39
3.1. Localización 39
3.2. Variables 39
3.2.1. Variables independientes 39
3.2.2. Variables dependientes 40
3.2.3. Variables respuesta 41
3.3. Delimitación del campo de estudio 41
3.3.1. Extracción de la oleorresina 41

3.3.2. Análisis cuantitativo de la oleorresina 41
3.3.3. Análisis cualitativo de la oleorresina.....41
3.4. Obtención de la materia prima 42
3.5. Recursos humanos.....42
3.6. Recursos materiales disponibles 42
3.7. Técnica cuantitativa.....43
3.7.1. Análisis estadístico de los datos 45
3.8. Recolección y ordenamiento de la información.....46
3.9. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.....61
3.10. Análisis estadístico 67

4. RESULTADOS.....77

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....89

CONCLUSIONES.....97
RECOMENDACIONES.....99
BIBLIOGRAFÍA.....101
APÉNDICES.....105
ANEXOS 107

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1. Semilla de cardamomo.....5
2. Regiones en donde se cosecha cardamomo.....12
3. Trips (Frankliniella occidentalis) 20
4. Fundamentos de la difusión y de la transferencia de masa 37
5. Linealidad del porcentaje de rendimiento en función del tipo de grano.....73
6. Linealidad del contenido de eucaliptol de la oleorresina de cardamomo en función del tipo de grano y solvente.....74
7. Linealidad del contenido de 1,6-Octadieno-3-ol, 3,7-dimetil en función del tipo de grano y solvente 75
8. Porcentaje de rendimiento en función del tipo de grano 77
9. Contenido de eucaliptol de la oleorresina de cardamomo en función del tipo de grano y solvente 78
10. Contenido de 1,6-Octadieno-3-ol, 3,7-dimetil en función del tipo de grano y solvente.....79

TABLAS

I. Descripción de variables dependientes, factores químicos 40
II. Materiales disponibles.....43
III. Codificación 47
IV. Rendimientos de la oleorresina de cardamomo con trips 47
V. Rendimientos de la oleorresina de cardamomo de 1ra calidad 48

VI. Rendimientos de la oleorresina de cardamomo de 2da calidad 48
VII. Rendimientos de la oleorresina de cardamomo de 3ra calidad 48
VIII. Índices de refracción de la oleorresina de cardamomo de 1ra, 2da, 3ra calidad y cardamomo con trips 49
IX. Densidades de la oleorresina de cardamomo de primera, segunda, tercera calidad y cardamomo con trips (g/mL) 50
X. Resultados de cromatografía gaseosa con acoplamiento a espectrometría de masas GC-MS de oleorresina de cardamomo de primera calidad 51
XI. Resultados de cromatografía gaseosa con acoplamiento a espectrometría de masas GC-MS de oleorresina de cardamomo de segunda calidad 52
XII. Resultados de cromatografía gaseosa con acoplamiento a espectrometría de masas GC-MS de oleorresina de cardamomo de tercera calidad 53
XIII. Resultados de cromatografía gaseosa con acoplamiento a espectrometría de masas GC-MS de oleorresina de cardamomo con trips 54
XIV. Rendimientos de la oleorresina de cardamomo con trips 55
XV. Rendimientos de la oleorresina de cardamomo de 1ra calidad 55
XVI. Rendimientos de la oleorresina de cardamomo de 2da calidad 55
XVII. Rendimientos de la oleorresina de cardamomo de 3ra calidad 56
XVIII. Índices de refracción de la oleorresina de cardamomo de primera, segunda, tercera calidad y cardamomo con trips 56
XIX. Densidades de la oleorresina de cardamomo de primera, segunda, tercera calidad y cardamomo con trips(g/mL) 57
XX. Resultados de cromatografía gaseosa con acoplamiento a espectrometría de masas GC-MS de la oleorresina de cardamomo de primera calidad 58

XXI. Resultados de cromatografía gaseosa con acoplamiento a espectrometría de masas GC-MS de la oleorresina de cardamomo de segunda calidad 59
XXII. Resultados de cromatografía gaseosa con acoplamiento a espectrometría de masas GC-MS de la oleorresina de cardamomo de tercera calidad 60
XXIII. Resultados de cromatografía gaseosa con acoplamiento a espectrometría de masas GC-MS de la oleorresina de cardamomo con trips 61
XXIV. Rendimientos extractivos de la oleorresina de cardamomo de primera, segunda, tercera calidad y cardamomo con trips utilizando etanol como solvente 62
XXV. Rendimientos extractivos de la oleorresina de primera, segunda, tercera calidad y cardamomo con trips utilizando hexano como solvente 62
XXVI. Índices de refracción de la oleorresina de cardamomo de primera, segunda, tercera calidad y cardamomo con trips utilizando etanol como solvente 63
XXVII. Índices de refracción de la oleorresina de cardamomo de primera, segunda, tercera calidad y cardamomo con trips utilizando hexano como solvente 64
XXVIII. Densidades de la oleorresina de cardamomo de primera, segunda, tercera calidad y cardamomo con trips utilizando etanol como solvente 65
XXIX. Densidades de la oleorresina de cardamomo de primera, segunda, tercera calidad y cardamomo con trips utilizando hexano como solvente 66

XXX. Porcentaje de rendimiento extractivo de oleorresina de cardamomo de primera, segunda, tercera calidad y cardamomo con trips extraído con etanol al 95 % y hexano 66
XXXI. Contenido de Eucaliptol en la oleorresina de cardamomo en función del tipo de grano y solvente 67
XXXII. Contenido de 1,6-Octadieno-3-ol, 3,7-dimetil en la oleorresina de cardamomo en función del tipo de grano y solvente 67
XXXIII. Análisis de varianza para el rendimiento de oleorresina de cardamomo..... 68
XXXIV. Análisis de varianza por tipo para el rendimiento de la oleorresina de cardamomo..... 68
XXXV. Comparación de medias entre calidades para el rendimiento de la oleorresina de cardamomo 68
XXXVI. Comparación de medias entre solventes para el rendimiento de la oleorresina de cardamomo 69
XXXVII. Comparación de medias entre calidades y solventes para el rendimiento de la oleorresina de cardamomo 69
XXXVIII. Análisis de varianza para el índice de refracción de la oleorresina de cardamomo..... 69
XXXIX. Análisis de varianza por tipo para el índice de refracción 70
XL. Comparación de medias entre calidades para el índice de refracción de la oleorresina de cardamomo 70
XLI. Comparación de medias entre solventes para el índice de refracción de la oleorresina de cardamomo 70
XLII. Comparación de medias entre calidades y solventes para el índice de refracción de la oleorresina de cardamomo 71
XLIII. Análisis de varianza para la densidad de la oleorresina de cardamomo..... 71
XLIV. Análisis de varianza por tipo para la densidad 71

XLV. Comparación de medias entre calidades para la densidad de la oleorresina de cardamomo 72
XLVI. Comparación de medias entre solventes para la densidad de la oleorresina de cardamomo 72
XLVII. Comparación de medias entre calidades y solventes para la densidad de la oleorresina de cardamomo 72
XLVIII. Modelo matemático para la linealidad del porcentaje de rendimiento de la oleorresina de cardamomo en función del tipo de grano y solvente 73
XLIX. Modelo matemático para la linealidad del contenido de eucaliptol en función del tipo de grano y solvente 74
L. Modelo matemático para la linealidad del contenido de 1,6-Octadieno-3-ol, 3,7-dimetil de la oleorresina de cardamomo en función del tipo de grano y solvente 75
LI. Modelo matemático para el porcentaje de rendimiento de la oleorresina de cardamomo en función del tipo de grano y solvente 77
LII. Modelo matemático para el contenido de eucaliptol en función del tipo de grano y solvente 78
LIII. Modelo matemático para el contenido de 1,6-Octadieno-3-ol, 3,7-dimetil de la oleorresina de cardamomo en función del tipo de grano y solvente 79
LIV. Porcentaje de humedad de la materia prima 80
LV. Índice de refracción de la oleorresina de cardamomo de primera, segunda, tercera calidad y cardamomo con trips 80
LVI. Densidades de la oleorresina de cardamomo de primera, segunda, tercera calidad y cardamomo con trips 80
LVII. Resultados de cromatografía para oleorresina de cardamomo de 1ra calidad extraída con etanol al 95 % 81

LVIII. Resultados de cromatografía para oleorresina de cardamomo de 2da calidad extraída con etanol al 95 % 82
LIX. Resultados de cromatografía para oleorresina de cardamomo de 3ra calidad extraída con etanol al 95 % 83
LX. Resultados de cromatografía para oleorresina de cardamomo con trips extraída con etanol al 95 %..... 84
LXI. Resultados de cromatografía para oleorresina de cardamomo de 1ra calidad extraída con hexano 85
LXII. Resultados de cromatografía para oleorresina de cardamomo de 2da calidad extraída con hexano 86
LXIII. Resultados de cromatografía para oleorresina de cardamomo de 3ra calidad extraída con hexano 87
LXIV. Resultados de cromatografía para oleorresina de cardamomo con trips extraída con hexano..... 88

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
R^2	Coeficiente de correlación
Cv	Coeficiente de variación
Cm	Cuadrado medio
σ	Desviación estándar
EE	Error estándar
F	F de Fisher
Fv	Factor de varianza
°C	Grados centígrados
Gl	Grados de libertad
g	Gramo
X	Media aritmética
µ	Micro
mL	Mililitro
mm	Milímetro
min	Minutos
P	Nivel de significancia
N	Número de tratamientos
%	Porcentaje
Aj	Sucesos elementares
Sc	Suma de cuadrados
∑	Sumatoria

GLOSARIO

Cromatografía Método de análisis que permite la separación de gases o líquidos de una mezcla por adsorción selectiva, produciendo manchas diferentemente coloreadas en el medio adsorbente.

Espectrometría Los métodos espectrométricos son métodos instrumentales empleados en química analítica basados en la interacción de la radiación electromagnética, u otras partículas, con un analito para identificarlo o determinar su concentración.

Etanol Es un alcohol que se presenta en condiciones normales de presión y temperatura como un líquido incoloro e inflamable con un punto de ebullición de 78,4 C.

Extracto Sustancia muy concentrada que se obtiene de una planta, semilla u otro material por diversos procedimientos.

Grano Tipo de fruto simple, típico de los cereales.

Hexano Es un hidrocarburo alifático alcano, con seis átomos de carbono, un líquido incoloro, fácilmente

	inflamable y con un olor característico a disolvente.
Maceración	Es un proceso de extracción sólido-líquido. El producto sólido (materia prima) posee una serie de compuestos solubles en el líquido extractor que son los que se pretende extraer.
Materia prima	Sustancia natural o artificial que se transforma industrialmente para crear un producto.
Metabolito	Es cualquier sustancia producida durante el metabolismo (digestión u otros procesos químicos).
Metabolito primario	Son los compuestos químicos que intervienen en forma directa en la supervivencia, crecimiento y reproducción de las plantas.
Metabolito secundario	Son los compuestos químicos sintetizados por las plantas que cumplen funciones no esenciales en ellas, de forma que su ausencia no es letal para el organismo. Los metabolitos secundarios intervienen en las interacciones ecológicas entre la planta y su ambiente.
Molienda	Proceso que consiste en desmenuzar una materia sólida, especialmente granos o frutos, golpeándola con algo o frotándola entre dos piezas duras hasta

	reducirla a trozos muy pequeños, a polvo o a líquido.
Oleorresina	Jugo líquido, procedente de algunas plantas, formado por resina disuelta en aceite volátil.
Plaga	Colonia de organismos animales o vegetales que ataca y destruye los cultivos y las plantas.
Porcentaje de rendimiento	Describe la relación del rendimiento real y el rendimiento teórico.
Propiedades fisicoquímicas	Son aquellas que se pueden medir sin que se afecte la composición o la identidad de la sustancia.
Rota evaporación	Es un proceso de separación con membranas aplicado a mezclas líquidas de compuestos miscibles, en el que a partir de una corriente de alimentación se obtienen dos corrientes líquidas, cada una de ellas más concentrada en sus componentes que la alimentación inicial.
Solvatación	Es el proceso de formación de interacciones atractivas entre moléculas de un disolvente con moléculas o iones de un soluto.
Tamaño de partícula	El tamaño del grano o partícula puede ir desde lo más pequeño, como ser unos pocos nanómetros,

hasta varios milímetros, pero nunca se excede de esta media.

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se obtuvo y comparó la calidad y el rendimiento de la oleorresina de cardamomo (*Elettaria cardamomum)* obtenida a nivel laboratorio de dos materias primas distintas una de grano sano y otra de grano infestado con la plaga llamada trips, se tuvo como objetivo realizar el análisis fisicoquímico de densidad, porcentaje de humedad, índice de refracción y contenido de metabolitos secundarios por medio de una cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas para ambas oleorresinas de cardamomo (*Elettaria cardamomum)*, y comparar el rendimiento de la oleorresina en función de la materia prima utilizada.

Para la obtención de la oleorresina se utilizó el método de maceración dinámica utilizando etanol al 95 % y hexano como solventes, se disminuyó el tamaño del grano hasta un diámetro no mayor de 0.1 mm, la maceración se realizó a temperatura ambiente.

A las oleorresinas obtenidas se les realizaron análisis para obtener sus propiedades fisicoquímicas como la densidad utilizando una relación de peso – volumen de la oleorresina de cardamomo, el índice de refracción obtenida por medio del refractómetro ubicado en el Laboratorio de Extractos Vegetales de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, el porcentaje de humedad se obtuvo de la medición en la balanza de humedad del Laboratorio Instrumental de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia también ubicada en la Universidad de San Carlos de Guatemala y se analizó la composición química por medio de la cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas analizado en el Laboratorio de Química Industrial de

la Facultad de Farmacia de la Universidad del Valle de Guatemala en donde se detalla el porcentaje de cada uno de los metabolitos secundarios obtenidos en la oleorresina de cardamomo.

Se realizó una comparación del rendimiento de las oleorresinas obtenidas en función de la materia prima utilizada. También se realizó un análisis estadístico usando la comparación de medias de para lograr concluir o no alguna diferencia en utilizar cualquiera de las dos materias primas.

Se evidenció que existe una diferencia significativa en el rendimiento de la oleorresina en función del solvente utilizado para la extracción, el rendimiento más alto fue de 11,34 % obtenido a partir de cardamomo de primera calidad utilizando etanol al 95 %.

El metabolito secundario obtenido en mayor cantidad fue el eucaliptol, este se recuperó en mayores cantidades utilizando hexano como solvente, la mayor recuperación se obtuvo del cardamomo de primera calidad con un valor de 19,19 %.

Las extracciones de ambas materias primas, cardamomo sano y cardamomo infestado con trips, con ambos solventes, etanol al 95 % y hexano, se realizaron con una velocidad de rotación de 150 rpm, a presión y temperatura ambiente.

OBJETIVOS

General

Evaluar comparativamente la oleorresina de cardamomo obtenida a nivel laboratorio utilizando materia prima sana y materia prima infestada con trips en función de la calidad y el rendimiento.

Específicos

1. Comparar el rendimiento de la oleorresina de cardamomo en función de la materia prima utilizada.

2. Comparar la calidad de la oleorresina de cardamomo en función de las características fisicoquímicas de ambas oleorresinas evaluando la densidad, índice de refracción y porcentaje de humedad.

3. Comparar la calidad de la oleorresina de cardamomo en función de la composición química de ambas oleorresinas por medio de cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas.

HIPÓTESIS

El porcentaje de rendimiento de la oleorresina de cardamomo obtenida a nivel laboratorio de un grano sano es igual a la oleorresina obtenida de un cardamomo infestado con trips.

- **Hipótesis nula**

El porcentaje de rendimiento de la oleorresina de cardamomo es el mismo para el cardamomo sano que para el cardamomo infestado.

$$\alpha 1 = \alpha 2 = 0$$

Donde αi= representa el porcentaje de rendimiento del cardamomo en función de si la materia prima esta infestada con trips o no.

- **Hipótesis alternativa**

El porcentaje de rendimiento de la oleorresina de cardamomo es distinto y menor para un cardamomo infestado que la de un cardamomo sano.

$$\alpha 1 \neq \alpha 2 \neq 0$$

Donde αi= representa el porcentaje de rendimiento del cardamomo en función de si la materia prima esta infestado con trips o no.

La calidad de la oleorresina de cardamomo obtenida a nivel laboratorio de un grano sano es igual a la oleorresina obtenida de un cardamomo infestado con trips.

- **Hipótesis nula**

La calidad de la oleorresina de cardamomo es el mismo para el cardamomo sano que para el cardamomo infestado.

$$\alpha 1 = \alpha 2 = 0$$

Donde αi= representa la calidad de la oleorresina de cardamomo en función de si la materia prima esta infestada con trips o no.

- **Hipótesis alternativa**

La calidad de la oleorresina de cardamomo es distinto y menor para un cardamomo infestado que la de un cardamomo sano.

$$\alpha 1 \neq \alpha 2 \neq 0$$

Donde αi= representa la calidad de la oleorresina de cardamomo en función de si la materia prima esta infestado con trips o no.

INTRODUCCIÓN

En Guatemala la semilla de cardamomo se exporta a diferentes países en el extranjero, sin embargo, esto tendría mucho más valor si se exportara en forma de oleorresina, aceite esencial o absoluto de cardamomo. Es por tales motivos que se debe evaluar el rendimiento de la extracción de los subproductos del cardamomo para poder obtener un valor agregado de la exportación del mismo.

No se lleva a cabo el proceso de extracción de oleorresina de cardamomo en Guatemala. En el área rural, por lo general solo se dedican a la siembra, cosecha y secado del cardamomo, esto para poder venderlo a comercializadores en el país, quienes los venden a entidades extranjeras que consumen los subproductos del cardamomo, para los cuales les es conveniente y más barato comprar la materia prima que el cardamomo ya procesado.

Sin embargo, durante los últimos años se ha detectado una plaga que ataca los cultivos de cardamomo, esta plaga es llamada trips y hace que el grano de cardamomo se torne de un color oscuro y de una textura porosa.

El grano infestado con trips se obtuvo del mismo proveedor con la salvedad que esta plaga afecta a plantaciones completas, por lo que no se mezcla con grano sano y a pesar de tener manchas o estar de color café en esta mezcla se encuentran granos de las tres calidades. Es por esto que se observó el rendimiento de la extracción de la oleorresina de cardamomo infestado con trips a nivel laboratorio, comparándola con la oleorresina obtenida

de la extracción de un cardamomo sano y así lograr observar si existe diferencia entre ellas.

En la presente investigación, se evaluó el porcentaje de rendimiento, calidad y caracterización fisicoquímica de la oleorresina obtenida a partir de cuatro tipos de cardamomo, primera calidad, segunda calidad, tercera calidad y grano infestado con trips mediante el método de maceración dinámica a nivel laboratorio.

La materia prima se obtuvo de la cosecha de cardamomo ubicada en Cobán, Alta Verapaz, en Guatemala el Cardamomo se encuentra como una mezcla de granos de primera, segunda y tercera calidad las cuales se separaron basándose en el tamaño del grano, el color y la rugosidad.

Existen empresas que se dedican a la separación de este grano mediante la técnica separación por color y tamaño, pero para fines investigativos el cardamomo se separó de forma manual.

Para lograr la extracción de la oleorresina se llevaron a cabo varios procesos, el primero de ellos fue el proceso de molienda del grano que consistió en la disminución del tamaño de partícula por medios mecánicos, esto se hizo con el objetivo de homogenizar el tamaño de partícula para toda la materia prima, aumentar el área superficial del grano y favorecer el área de contacto soluto – solvente.

Al terminar la disminución del tamaño del grano, este se sometió a una extracción utilizando el método de maceración dinámica. La maceración como tal es un proceso que consiste en colocar el soluto en contacto directo con un

solvente por un tiempo óptimo para lograr la extracción de todos los componentes lixiliables del grano.

Durante la maceración se extraen los principios activos del solido (soluto) hacia el líquido (solvente), es por ello que el solvente a utilizar debe elegirse considerando que los activos que se desean extraer del solido sean solubles en el mismo y que este sirva de medio de transporte para que con procesos posteriores se puedan recuperar las resinas o aceites esenciales.

Existen dos tipos de maceración son: la maceración estática y la dinámica, el método utilizado para la extracción de oleorresina de cardamomo analizada en este trabajo fue la maceración dinámica, este tipo de maceración tiene ventajas sobre la estática, porque el movimiento del soluto dentro del solvente genera choques entre las partículas generando que estas formen grietas en su estructura y facilite al solvente atrapar los componentes activos de la materia prima.

Al cumplirse el tiempo de maceración, se procedió a filtrar el obtenido de la maceración, y consistió en hacer pasar el contenido de la maceración por medio de una membrana o papel filtro que retuvo el soluto dejando pasar el solvente con los activos contenidos.

El obtenido de la maceración después del filtrado es una fase liquida que debido a la utilización de un solvente se logra realizar una separación por medio del proceso de rota evaporación.

La rota evaporación se basa en el principio de la destilación, y es una operación unitaria en donde se da la separación de dos o más compuestos de una fase liquida por medio de la aplicación de calor, los componentes deben

tener puntos de ebullición diferentes para poder evaporarse a diferentes presiones de vapor, regularmente el solvente se evapora a un punto de ebullición más bajo lo que permite evaporarlo quedando como producto final la resina o aceite deseado.

Al haber obtenido las resinas se les realizó un análisis fisicoquímico, que se hace para poder garantizar su calidad, cuantificar la proporción en que se encuentra el principio activo y detectar alguna irregularidad en el producto. Como parámetros físicos establecidos para esta investigación fueron la densidad, el índice de refracción y el porcentaje de humedad; y para el análisis químico se asignó la cuantificación del porcentaje de metabolitos secundarios mediante una determinación espectrométrica.

La determinación de metabolitos secundarios se llevó a cabo mediante un análisis de cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas, esta técnica separa las sustancias dentro de una mezcla volatilizando los componentes que contiene y transportándolos por medio de un fluido o corriente de gas que funciona como fase móvil a lo largo de una columna que funciona como fase estacionaria, una vez separadas compara los espectros obtenidos contra los espectros de patrones estandarizados obteniendo la mayor coincidencia y cuantificarlo contra el porcentaje total de compuestos en la mezcla.

Lo que se busca al someter a un análisis instrumental es cuantificar la proporción de los metabolitos secundarios dentro de las resinas, los metabolitos secundarios son aquellos que no son primordiales para el desarrollo de una planta, grano o fruto pero que le dan las características propias de los mismos y que regularmente son los que contienen las características medicinales, aromáticas, colorantes, entre otros.

1. ANTECEDENTES

En la sección de Química Industrial del Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala se han realizado varios proyectos de investigación en extracción de aceites esenciales y oleorresinas principalmente de varias especies vegetales.

A lo largo de la última década varios estudiantes han realizado trabajos de graduación acerca del cardamomo en cualquiera de sus presentaciones aceite esencial, oleorresina y absoluto. Evaluando las características fisicoquímicas y composición química utilizando varios solventes, métodos de extracción y temperaturas.

Desde el año 2010 el cultivo de cardamomo ha sido afectado por una plaga de insectos llamados *trips.* estos afectan principalmente la flor del cultivo y por ende el fruto; esta plaga ha venido en aumento, afectando principalmente a los productores de este cultivo, quienes viven de la recolección del fruto de éste, la cual inicia desde los meses de septiembre y termina a finales de enero.

En 2006 la Ingeniera Química Dora Deulofeu realizó su trabajo de graduación titulado Determinación del rendimiento de la oleorresina de tres distintas clases de cardamomo cultivado en Alta Verapaz extraída por maceración dinámica y dos solventes distintos a nivel laboratorio, en donde comparó los rendimientos al utilizar distintas clases de cardamomo concluyendo que no existe mayor diferencia entre las oleorresinas obtenidas, en función del tipo de cardamomo y del solvente utilizado.

En el 2008 el Ingeniero Químico Adrián Soberanis realizó su trabajo de graduación titulado Evaluación de propiedades fisicoquímicas de la oleorresina de cardamomo (Elletteria cardamomum, L. Matton), obtenida a nivel laboratorio utilizando dos métodos de lixiviación a tres diferentes temperaturas en donde utilizó maceración dinámica y estática variando las temperaturas siendo estas 25°, 50° y 78 °C llegando a la conclusión que se logró el mayor rendimiento a la temperatura de 25 °C con un porcentaje de rendimiento de 20,97 % utilizando etanol al 95 % como solvente.

En el 2009 la Ingeniera Química Industrial Verónica Maldonado Suarez realizó su trabajo se graduación titulado Comparación del rendimiento en la extracción de aceite esencial de cuatro tipos de semillas de cardamomo utilizando el método de destilación por arrastre con vapor, en donde evaluó el rendimiento del aceite esencial basándose en el grado de secado utilizando destilación por arrastre de vapor a nivel planta piloto, encontrando que el cardamomo oro (Porcentaje de humedad entre 12 % - 15 %) tuvo mayor rendimiento con un valor de 4,42 % utilizando agua como solvente.

En el año 2015 el Ingeniero Químico Andrés Puac realizó su trabajo de graduación titulado Evaluación de rendimiento y calidad de oleorresina de cardamomo (Elettaria cardamomum L.Maton) a escala planta piloto para la formulación de mermelada casera de pera, en donde comparó los rendimientos al utilizar diferentes métodos de extracción obteniendo el mayor rendimiento del cardamomo de primera calidad siendo 15,795 % con maceración dinámica y concluyendo que si existe diferencia en utilizar maceración estática o maceración dinámica.

En el 2015 el Ingeniero Químico Jorge Gálvez en su trabajo de graduación titulado Evaluación del rendimiento extractivo y caracterización del absoluto de

cardamomo (elettaria cardamomum, l. maton) obtenido de la oleorresina de cardamomo de primera, segunda y tercera calidad a nivel laboratorio y planta piloto y su aplicación en un producto de perfumería, basó su investigación en la extracción de absoluto de cardamomo, el primer paso para la obtención de absoluto fue la extracción de la oleorresina por medio de maceración dinámica utilizando hexano como solvente obteniendo el mayor rendimiento del cardamomo presentación oro de primera calidad siendo este 3,79 %.

Esta plaga actualmente ha afectado a un promedio de 70 % de los productores del área de las Verapaces, y según los expertos, se debe al cambio climático y las temperaturas altas, aunado con la humedad que impera en la región de las Verapaces, favorecen la proliferación de los pequeños insectos llamados trips, que mastican la flor, el fruto cuando está en desarrollo y la espiga del cardamomo.

Esto lleva a que el fruto del cardamomo forme una costra café sobre ella y tenga una baja formación de semillas maduras al momento del corte y se convierta en una nueva clasificación según comentan algunos expertos en la selección del cardamomo beneficiado. La plaga del cardamomo ha venido a afectar grandemente la economía de las familias del área rural, de las zonas productoras de este cultivo, ya que el precio del cardamomo disminuye.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Cardamomo

Planta Zingiberáceas, constituida por una fruta madura y seca o por los granos de *elettaria cardamomum,* de hojas grandes, tallos gruesos y carnosos, flores blancas, algo verdes, agrupadas en racimos; Se presentan bajo la forma de cápsulas o granos de cardamomo. Es una planta arbustiva propia de regiones montañosas y húmedas, así como de sitios sombríos.

Figura 1. **Semilla de cardamomo**

Fuente: *Cardamomo.* https://www.cardamomo.info/. Consulta: 23 de octubre de 2019.

2.1.1. Variedades

De la especie se reconocen dos variedades de importancia en el comercio: El Malabar, que se distingue por desarrollar sus racimos sobre el suelo en forma horizontal y su fruto es pequeño y la variedad Misore que a

diferencia de la malabar, desarrolla los racimos arqueados y el fruto es más grande.

El cardamomo que se encuentra en el comercio es el de Malabar formado por las capsulas maduras y secas o solo el grano, el cual contiene dos variedades: La “Minúscula” que es la más pequeña y apreciada y la Elettaria Major o cardamomo grueso que se da en forma salvaje y es poco explotada.

“El INTECAP señala como variedades comerciales más importantes las siguientes:

- Majus de hoja ancha llamada cardamomo de Ceilan
- Minus de hoja estrecha llamada cardamomo de Malabar
- La Misore y Laxiflor, de las que se obtienen las clases llamadas cortas (capsulas de 6 a 12 mm), cortas largas y largas (capsulas de 20 a 25 mm).”[1]

2.1.2. Grados comerciales

El cardamomo en el comercio se clasifica en grados, señalándose como los más importantes:

- Cardamomo verde, vainas verdes secadas artificialmente en hornos o en cuartos calientes.
- Cardamomo en vainas secadas al sol las cuales son altamente coloreadas.
- Cardamomo de semillas descascaradas.

[1] AMEZQUITA ROBLEDO, Miguel Abdulio. *Técnicas de producción utilizadas en el cultivo del cardamomo (Elataria cardamomun) según tamaño de explotación agrícola, en Alta Verapaz.* p. 4.

- Cardamomo en vainas blanqueadas, que han sido blanqueadas químicamente fumigándolas con sulfuro caliente o agregándoles peróxido de hidrogeno.

En el extranjero se prefieren las de grado verde y el de las vainas secadas al sol.

En el comercio se exige los grados de cardamomo largos o redondos, se le denomina FAQ (calidad promedio común), al bulto de cardamomo verde que pesa 420 gramos o 14,6 onzas por litro, el cual es tomado como el mejor cardamomo guatemalteco de calidad verde. Actualmente en el comercio se reconocen por dos categorías el llamado *"Short"* caracterizado por ser grueso y redondeado y el "*Short longs"* de finas nervaduras y más claras que los anteriores.

Comercialmente se distingue el cardamomo en semilla utilizado en Suecia como aromatizante el cardamomo verde para la extracción de aceites esenciales y el cardamomo blanco que se clasifica de acuerdo al tamaño. La semilla de cardamomo también se clasifica por calidades, siendo la mejor calidad la semilla prima con sus grados blanqueado, medio blanqueado A y medio blanqueado B.

2.1.3. Cultivo

El cardamomo se propaga en forma sexual y asexual. Tiene mayor ventaja el sistema de propagación asexual que se realiza por medio de rizomas. De esta última forma de planta produce a los 3 años de sembrada, mientras que las obtenidas por semilla empiezan a producir hasta los 5 años después de la siembra.

El método de propagación asexual es el más utilizado y se recomienda en base a experiencias obtenidas en la India, rizomas de 20 centímetros de largo con bastantes yemas desarrollan mejores resultados que brotes de 3 o 4 centímetros de largo. También se recomienda buscar rizomas de mata entre 8 y 10 años de edad, cada rizoma con 3 brotes o yemas y el tallo de 84 centímetros de largo.

Una de las desventajas de la propagación por semilla es su bajo porcentaje de germinación, pues en semillero germinan del 11 al 15 %. En estudios realizados en la India, los resultados indican que las semillas de frutos recién cortados tienen un 75 % de generación, pero esta baja rápidamente. Si la semilla se siembra a los 15 días después de cortada, presenta el 45 % de germinación y 105 días después ya solo conserva el 6 % de su poder germinativo.

2.1.3.1. Condiciones apropiadas para el cultivo

- Suelo

El cardamomo es una planta que responde perfectamente a los suelos ricos en materia orgánica, con gran cantidad de nutrientes disponibles, profundos, tropicales y sobre todo, una característica importante que debe tener el suelo es que contenga buena aireación y permeabilidad.

- Altura

El cardamomo es una planta regularmente de climas templados, no obstante, es importante hacer la aclaración de que no resiste las heladas. El cardamomo crece en un rango de 760 a 1400 msnm y se desarrollan y producen en forma excelente entre los 800 y los 1 300 msnm.

- Precipitación pluvial

Este cultivo tiene la capacidad de ser muy tolerante al excesos de lluvias y niveles de agua caídos durante estos excesos, siempre y cuando se mantenga buena ventilación entre hojas y raíces, así como suelos permeables para evitar el encharcamiento.

Como el cultivo del cardamomo requiere de humedad, tanto en invierno como en verano, es recomendable que las lluvias sobrepasen los 3 000 mm. Bien distribuido en todo el año.

- Siembra

La siembra puede hacerse bajo sombra, bosque raleado con 50 a 60 % de sombra, o a pleno sol, junto con la siembra de árboles de sombra. Se debe tener presente que la sombra es un requisito indispensable para este cultivo.

La distancia de siembra recomendada es de 3 varas cuadradas, porque la planta crece de 3 a 5m y en tres años prácticamente cierra. Si se siembran árboles de sombra, se colocarán a una distancia de 5 a 6 m para luego ralear a la distancia de 10 m.

- Cosecha

La planta empieza a producir dos años y medio o tres años después de ser llevada al campo definitivo. Normalmente la floración empieza entre marzo y abril y se prolonga el resto del año. La cosecha se inicia cinco meses después de la floración o sea en agosto o septiembre y se prolonga hasta mayo. Los

frutos deben cosecharse a mano cuando se desprenden con facilidad y su color es de un verde intenso.

Se deberían hacer seis cortes en cada planta, en ciclos de 35 a 40 días. De una cosecha oportuna y un secado adecuado, depende la calidad y precio del producto.

2.1.4. Proceso

- Deshidratación

El secado se efectúa a través de aire caliente que es alimentado por leña, gas o diesel, lo más común en la actualidad es la leña.

- Maquinaria beneficiado

El proceso de beneficiado lleva varios pasos, entre ellos los que se pueden mencionar: Pesado, lavado (cuando el caso lo amerite), secado, descolado, segunda pesa, clasificación y empaque.

- Proceso de exportación

En primer lugar compra el producto a granel sin escoger descolado, de los beneficios, revisando la calidad y punto de secado. Siguiendo con la comercialización, las empresas dedicadas a la intermediación del pergamino son las que venden a las casas exportadoras, algunas de estas empresas están ubicadas en Cobán y otras en la ciudad capital.

Estas al recibir el producto inician el proceso de limpieza quitando las impurezas que este lleve del campo, luego proceden a la clasificación por colores y tamaños y a realizar la homogenización de los mismos, para luego proceder al empaque y embalaje en bolsas de polietileno, y cajas de cartón corrugado.

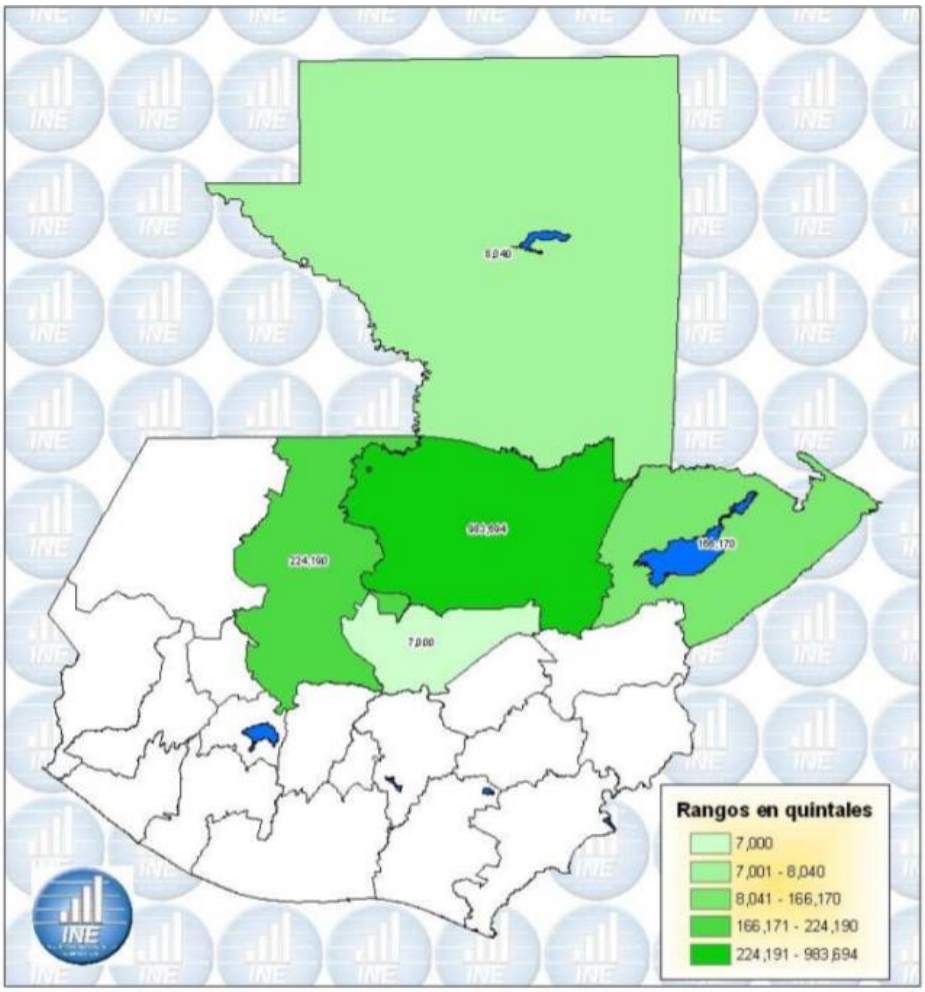
- Producción

En Guatemala, en los departamentos de Alta Verapaz, Quiché, Huehuetenango, Izabal.

2.1.5. Calidades de cardamomo

Normalmente se clasifican las calidades de Primera, Segunda, Tercera, Amarillos, Abiertos y Oro. Dentro de estas calidades se sacan diferentes tamaños, cada exportador hace sus propias calidades con respecto a tamaño y color como se lo requiera el mercado.

Figura 2. **Regiones en donde se cosecha cardamomo**



Fuente: DE PAZ SOTO, José Fernando. *Fortalecimiento de la cadena productiva de cardamomo (Elettaria cardamomum L. Maton) con énfasis en el asocio de la entomofauna, especies arvenses y fitopatógenos, en la aldea Campur, San Pedro Carchá, Alta Verapaz.* p.9.

- Comercialización

En Guatemala existen varias empresas exportadoras (pueden referirse a la gremial de exportadores de cardamomo.

- Países exportadores

Entre los países exportadores están Guatemala, India, Ceilán, Honduras y otros que están iniciándose en este cultivo.

- Países importadores: (consumidores)

Arabia Saudita, Singapur, Líbano, Alemania, Kuwait, Pakistán, Jordania, Reino Unido, Emiratos Árabes Unidos, Siria, Egipto, Suiza, Inglaterra, India y otros.

2.1.6. Rendimiento

Los rendimientos varían de acuerdo a la región en donde se cultivan, variedades usadas y cuidados que se le dan a la plantación, se pueden tener rendimientos con un rango de 3 a 12 quintales pergamino por manzana.

Se establece que en su primera cosecha una planta puede producir de 4 a 6 onzas cereza, llegando a producir de 300 a 400 libras cereza por manzana. Después de la primera cosecha la producción aumenta progresivamente, alcanzando a los 3 o 4 años producciones de 500 a 800 libras de cereza por manzana.

Las conversiones de cereza a pergamino y de pergamino a oro se establecen así:

- 4 quintales de cereza a 1 quintal de pergamino
- 1,7 quintales pergamino a 1 quintal de oro
- 6,8 quintales de cereza a 1 quintal de oro
- 1 quintal de pergamino da de 75 a 70 libras de cardamomo oro

Por otra parte, se dice que el pergamino equivale al 22 % del peso en cereza.

2.1.7. Beneficios

Después que se recolectan los frutos sometidos a un proceso de secado, el que se realiza de diferentes formas: al sol, en secadores por medio de aire caliente que circula dentro de tubos o plataformas con fuego por debajo.

Seguidamente se pasa a la limpieza donde se separan los frutos enteros para su clasificación según tamaño. Hecho esto se empaca en cajas de madera o estaño para preservar su aroma.

El punto de secamiento de las capsulas está determinado por una coloración pajiza y un aroma característico, o que constituye el cardamomo en pergamino. Al someterlo a un retrillado y una nueva limpia se obtiene el cardamomo oro.

2.1.8. Usos del cardamomo

El cardamomo es exportado en oro y en pergamino hacia los países europeos y los Estado Unidos, donde se le procesa para la extracción de aceites esenciales que se usan como materia prima en la cosmetología. También se utiliza en la medicina, panificación, para aromatizar licores y otras bebidas.

En Arabia Saudita es muy difundido el uso del cardamomo como especia. El “Gawa” es café hecho con cardamomo el cual es símbolo de amistad entre los árabes.

Las semillas contienen aceite esencial que es extraído por destilación. A la cápsula con todo y semillas se le extrae del 3,5 al 7 % de aceite; solo la cápsula permite la extracción del 0,5 al 1 % de aceite esencial.

2.2. Plagas y enfermedades del cardamomo

El cardamomo es atacado por varios factores que dañan su calidad por lo que debe considerarse desde su siembra hasta su almacenamiento.

2.2.1. Enfermedades

- Pudrición basal

Estos dos hongos causan marchitamiento de la cepa, una clorosis eventual, baja la producción de hojas y provoca la caída prematura de los frutos. Por lo general estos patógenos se encuentran asociados con los ataques producidos por el picudo.

Como medida preventiva se tiene que escoger un terreno con buen drenaje y con una pendiente adecuada. Si el lugar posee mal drenaje, hay que mejorarlo y regular la sombra, realizar limpieza de malezas y rondas en las macollas para evitar excesos de humedad. En casos severos, con plantas afectadas se deben eliminar y desinfectar el área con formalina. Al resto de la plantación se le aplicaría un fungicida a base de cobre.

- Virus del mosaico del cardamomo

Es una de las enfermedades más importantes del cardamomo. Inicialmente las plantas adultas infectadas no aparentan estarlo, pues mantienen su desarrollo y producción, sin embargo, en los siguientes años, los nuevos brotes no se desarrollan normalmente. Por lo que la producción se reduce cada año y el fruto empieza a tornarse amarillo.

Si la infección llega a ser severa la planta deja de producir y reduce el follaje drásticamente. El virus puede afectar a plantas de cualquier etapa o edad. Cuando son jóvenes o plántulas éstas no desarrollan, las hojas se rizan y los tallos se doblan hacia abajo.

Los síntomas son visibles en las hojas jóvenes, las cuales empiezan a mostrar manchas o rayas paralelas de color verde claro hasta blanco y a veces verde oscuro. Las manchas llegan a prolongarse desde la vena principal hacia la orilla. Los tallos nuevos muestran manchas verde oscuro, pero luego estas manchas no se notan porque el tallo naturalmente toma el mismo color. Dado a que la enfermedad es sistémica se recomienda aplicar un herbicida sistémico a las plantas enfermas, o hacer aplicaciones a los tallos cortados a unos 30 cm del suelo cuando éstos empiezan a brotar.

Cabe destacar que el virus no se transmite sexualmente, es decir son más propensas las plantas reproducidas por medio de rizomas, aunque si provienen de una planta sana y bien desarrollada esto puede contrarrestar lo anterior. Los principales vectores de esta enfermedad son los ácidos, lo cual limita su control dado el complejo biótico que conforman, por lo que hay que tomar medidas preventivas.

- Mancha Foliar:

Los síntomas presentados son lesiones de tejido foliar, con muerte posterior del mismo, formando áreas bien delimitadas, con frecuencia parda o negra. Conforme la enfermedad progresa, las manchas se vuelven más numerosas y llegan a unirse formando áreas de tejido muerto más grande. La enfermedad se puede controlar con aplicaciones de fungicidas foliares.

- Manchas del fruto:

Los hongos pueden atacar también a los frutos tiernos, lo que les provoca manchas que deterioran la calidad. El Fusarium ataca las espigas cuando están floreando y formando frutos. Para controlarlo hay que aplicar fungicidas al inicio del invierno, que es cuando hay mayor floración y formación de frutos.

2.2.2. Plagas

- Picudo *Cholus (subcaudata)*

El insecto, adulto es un picudo de color café claro que mide aproximadamente 1,5 cm. La larva se alimenta en la base del tallo y la raíz y hace túneles que debilitan la planta, los que sirven como puerta de entrada para

pudriciones ocasionadas por patógenos como Erwinia carotovora y Fusarium spp. Sin embargo, el adulto es el que produce el mayor daño porque se alimenta de las bellotas tiernas y les extrae todo su contenido, lo que impide la formación de las semillas.

El combate de esta plaga puede hacerse, mediante la recolección de los insectos adultos cuando la población no es muy alta, en las horas del día más calientes. Es muy importante mantener la plantación libre de malezas, especialmente las que son hospederas de esta plaga como el heliotropo.

Para el combate químico, hacer aspersiones con endosulfan (Thiodan 35 % CE, 375 cc/100 l), dirigidas a la base de la planta, siempre que el ataque sea muy serio, porque se pueden eliminar los insectos polinizadores y los enemigos naturales, lo cual agravaría la situación. Se debe considerar que la última aplicación de este producto sea hecha un y medio mes antes de la cosecha.

- *Trips Taeniotrips cardamoni (Thysanoptera: Thripidae)*

Son insectos pequeños de aproximadamente 1,5 mm de longitud que producen un raspado en las hojas y atacan sobre todo, cuando las condiciones ambientales son secas.

Hacer aspersiones con alguno de los siguientes insecticidas, máximo un mes antes de la cosecha: monocrotofos (Nuvacron 60 % CE, 1 1/ha), acefate (Orthene 75 %, 1 kg/ha) o dimetetoato (Perfektion 50 % CE, 1-1,5 l/ha).

- *Zompopa Atta (Hymenoptera: Formicidae)*

Son hormigas grandes de color café o rojizo, con espinas en el dorso de la cabeza que cortan las hojas donde crece un hongo del que se alimentan. Cuando las colonias se empiezan a establecer, se puede destruir con aradas profundas. También puede utilizarse entre 25 y 50 gramos de mirex en la entrada de los hormigueros o caminos por donde pasan. Estos productos no se deben aplicar poco tiempo antes de que llueva, ni inmediatamente después del aguacero.

- Arañita roja *Tetranychus urticae (Acarina: Tetranychidae)*

Esta plaga provoca un amarillamiento fuerte en las hojas y necrosis en las partes afectadas. Atacan principalmente en época seca, pero si en el cultivo se mantiene la humedad relativa alta, esta plaga no es problema. Si el ataque es muy fuerte, aplique un producto acaricida como por ejemplo azociclopin o binapacryl).

- Ratas *Rattus spp*

Atacan los frutos y se comen las semillas. Para combatirla, use cebos envenenados a base de algún grano como maíz o arroz, en mezcla con un producto químico como warfarina, clorofacinona o racumín.

2.3. trips

Frankliniella occidentalis (Pergande) es un insecto que puede en muchos casos ser una plaga muy importante en cultivos con fertilización nitrogenada. Esta especie de trips es originaria de América del Norte pero en la actualidad se

ha extendido a otros continentes, incluida Europa, Australia, y América del Sur principalmente debido al transporte de material vegetal infectado. Tiene más de 500 plantas huésped, entre las que se incluyen un gran número de frutales, hortalizas y plantas ornamentales.

Figura 3. ***Trips (Frankliniella occidentalis*)**

Fuente: AXAYACATL, Olmo. *Plagas de cultivos agrícolas: trips (Frankliniella occidentalis).* https://blogagricultura.com/plagas-agricolas-trips/. Consulta: 23 de octubre de 2019.

El macho adulto es de un milímetro de longitud aproximadamente; la hembra es un poco mayor. La mayoría de estos trips suelen ser hembras y reproducirse por partenogénesis. Su color es variado, con algunos colores más abundantes en ciertas épocas. El color varía del rojo al amarillo y el marrón.

El adulto es alargado y delgado, con dos pares de largas alas. Los huevos son ovales o arriñonados, blancos y de unos 0,2 mm de longitud. Las ninfas son amarillentas con ojos rojos.

Este insecto puede vivir en su fase adulta de dos a cinco semanas e incluso más y la ninfa puede vivir unos 20 días. Cada hembra puede poner de 40 a 100 huevos en los tejidos vegetales, a menudo en las flores, pero también en los frutos o en el follaje.

- Descripción

    - Pequeños insectos que miden entre 1 y 2 mm de longitud con una coloración que varía del marrón oscuro al amarillo claro.
    - Saltan, vuelan y se desplazan con gran agilidad de un lugar a otro.
    - Generalmente ponen los huevos en las flores donde nacen las primeras larvas que se alimentan picando los tejidos, para extraer los jugos celulares.
    - Tienen varias generaciones por año.

- Daños directos

    - Al picar los tejidos y succionar el contenido de las células vegetales, la zona afectada adquiere primero un color plateado y posteriormente muere.
    - Cuando la hembra coloca los huevos en el interior de los tejidos vegetales, provoca pequeñas heridas que secan la zona afectada.

- Daños indirectos

    - La *Frankliniella occidentalis* transmite el virus del bronceado del tomate (TSWV). Se manifiesta en forma de manchas circulares con muerte del tejido, tanto en hojas, flores y frutos. Posteriormente, las plantas dejan de crecer, pierden su coloración natural y se deforman.
    - La magnitud del daño puede variar entre pérdida de rendimiento hasta destrucción total del cultivo.

- Medidas preventivas

    - No asociar cultivos en la misma parcela
    - Eliminar malas hierbas y restos de cultivos porque pueden actuar como reservorios de la plaga.

2.4. Las oleorresinas

Las oleorresinas son mezclas homogéneas de resinas y aceites esenciales, que se obtienen a partir de especias y otros vegetales (plantas aromáticas), obtenidos mediante el uso de solventes, los cuales deben estar libres de los solventes orgánicos de extracción.

Por tal razón, se utilizan extensamente para la sustitución de especias de uso alimenticio y farmacéutico por sus ventajas (estabilidad, uniformidad química e inocuidad microbiológica, facilidad de incorporar al producto terminado). Están constituidas en general por una mezcla entre resinas (principios aromatizantes no volátiles, aceites grasos, ingredientes picantes) y aceite esencial, este contiene principios odoríferos volátiles.

Las proporciones en la mezcla dependen fuertemente de la técnica de extracción y el órgano, tejido o fruto de la planta donde se obtengan. Cuando se realiza la extracción, se debe seleccionar un solvente, generalmente de punto de ebullición bajo, esto permite eliminarlo en forma sencilla. Son varias las ventajas que poseen las oleorresinas frente a vegetales crudos, cuando se utilizan en alimentos:

- Económicamente es rentable ya que se sustituye sobradamente al vegetal, en cuanto a características de olor y sabor.

- Son uniformes en sus características.
- Presentan una alta pureza.

Las especias naturales, así como la tecnología aplicada para la extracción, cumplen un papel esencial para la obtención de los extractos de especias. El contenido de los aceites esenciales es el único criterio de aplicación general para el análisis de dichos extractos, los cuales se obtienen por medio de una destilación continua de vapor de agua.

2.4.1. Ventajas de las oleorresinas

- Economía: Dependiendo de la concentración de la oleorresina, pueden sustituirse hasta 100 Kg. del producto en polvo por uno o dos Kg. de oleorresina.
- Uniformidad. Los ingredientes activos color, sabor y propiedades físicas son estandarizadas, lo que garantiza la uniformidad entre lotes.
- Natural: Es un producto 100 % natural libre de residuos de solvente y de residuos de pesticidas.

    - Pureza: Son productos libres de impurezas y materia extraña
    - Esterilidad: no presentan contaminación microbianaLas oleorresinas cumplen con las especificaciones de la FDA y están clasificadas como GRAS (*Generally Recognise as Safe),* lo que permite su libre adición dentro de las formulaciones.
    - La alta concentración de las oleorresinas y el estar prácticamente libres de agua, asegura una mayor vida de anaquel debido a la baja degradación por oxidación o pérdida de sabor, y se elimina el deterioro debido a plagas y microbios.

- El extracto concentrado puede ser diluido para obtener diferentes concentraciones a fin de adecuar el producto a las necesidades del cliente.

2.5. Metodologías de análisis

La amplia utilización de extractos, aceites esenciales y oleorresinas provenientes de diversas fuentes, en algunas industrias como es el caso de la alimentaria, exige que dichos materiales sean caracterizados, para concluir sobre aspectos como su identidad, composición (pureza, autenticidad) y calidad (frescura, vida útil).

2.5.1. Análisis físico-químicos

- Porcentaje de humedad: El agua es el único ingrediente de los alimentos que está prácticamente presente en todos ellos y su cantidad, estado físico y dispersión afectan el aspecto, olor, sabor y textura.
- Densidad: La densidad de una sustancia es la masa de un mililitro de la misma. Se obtiene dividiendo la masa de cierto volumen de sustancia entre la masa del volumen similar de agua. El resultado depende de la temperatura. Normalmente, la densidad se determina a 20 ºC.
- Índice de refracción: Se define como el cociente entre el seno del ángulo de incidencia y el seno del ángulo de refracción de la luz monocromática al pasar del aire a un medio ópticamente más denso.

2.6. Métodos de extracción

Las oleorresinas se obtienen de plantas y compuestos orgánicos por lo que a lo largo de la historia la forma de obtenerlos ha ido perfeccionando basados en diferentes métodos.

2.6.1. Maceración

La maceración es un proceso de extracción sólido-líquido. El producto sólido (materia prima) posee una serie de compuestos solubles en el líquido extractante que son los que se pretende extraer.

En general en la industria química se suele hablar de *extracciones*, mientras que cuando se trata de alimentos, hierbas y otros productos para consumo humano se emplea el término *maceración*. En este caso el agente extractante (la fase líquida) suele ser agua, pero también se emplean otros líquidos como vinagre, jugos, alcoholes o aceites aderezados con diversos ingredientes que modificarán las propiedades de extracción del medio líquido.

2.6.1.1. Tipos de maceración

Existen, básicamente, dos tipos de maceración:

- Maceración en frío

Consiste en sumergir el producto a macerar en un líquido y dejarlo una determinada cantidad de tiempo, para transmitir al líquido características del producto macerado. Los productos a macerar son varios, y en la gastronomía se puede destacar la infusión de especies varias en aceite de oliva extra virgen.

También se podrá añadir a un recipiente con la menor cantidad de agua posible, sólo lo suficiente como para cubrir totalmente lo que se desea macerar. Esto se hace por un lapso más o menos largo, dependiendo de lo que se vaya a macerar.

La ventaja de la maceración en frío consiste en que al ser sólo con agua se logran extraer todas las propiedades de lo que se macera, es decir, toda su esencia sin alterarla en lo más mínimo.

- Maceración con calor

El proceso a ejecutar en este tipo de maceración es el mismo que en la maceración en frío, sólo que en este caso puede variar el medio por el cual se logra la maceración. El tiempo que se desea macerar varía mucho de la maceración en frío ya que al utilizar calor se acelera el proceso tomando como referencia que 3 meses de maceración en frío, es igual a 2 semanas en maceración con calor, esto es en el caso de las plantas y hierbas medicinales.

La desventaja de la maceración en calor es que no logra extraer totalmente pura la esencia del producto a macerar, ya que siempre quema o destruye alguna pequeña parte de esta (muchas veces se trata de compuestos termolábiles). Pero muchas veces, para acortar más los tiempos de extracción y que las substancias pasen el menor tiempo posible a elevadas temperaturas, se hacen extracciones con corriente de vapor.

Este proceso, también conocido como maceración simple o estática es sumamente lento. Para abreviar el tiempo de operación, la droga y el solvente deben mantenerse en movimiento constante.

Este procedimiento es conocido como maceración dinámica. Tanto la maceración simple como la maceración dinámica pueden ser ejecutadas a una temperatura ambiente o a temperaturas más elevadas. En este último caso el procedimiento es conocido como digestión.

Las grandes desventajas del proceso de maceración son la lentitud del proceso y el hecho de no ser posible alcanzar la extracción completa de la droga. Para disminuir las pérdidas del extracto en el residuo de la extracción, la operación de maceración (estática o dinámica) puede repetirse dos o tres veces, después de haber escurrido el solvente de la extracción anterior. Este procedimiento disminuye la cantidad del extracto retenido en el residuo, pero aumenta a la cantidad de solvente a ser recuperado. Este inconveniente puede superarse, adoptándose el esquema de procesamiento en serie.

Este proceso es utilizado para las preparaciones en pequeña escala; el uso industrial de la maceración se limita a la fabricación de extractos a partir de drogas vegetales ricas en mucilagos. Las drogas que contienen mucilagos se hinchan, de manera tal que puede aumentar hasta 4 veces su volumen original y dificultan el paso del solvente, lo que contraindica el uso de procesos de percolación o extracción en contracorriente. La etapa final del proceso es el prensado o centrifugación del residuo para la recuperación de la parte del extracto retenido en él.

2.6.2. Percolación

La percolación consiste en hacer pasar el solvente a través de la droga, hasta su extracción exhaustiva completa. La percolación simple, comprende la extracción exhaustiva de la droga con el solvente siempre renovado.

En pequeñas escalas, la percolación se realiza en aparatos, denominados percoladores, de cuerpo cilíndrico o cónico provistos de un grifo en la parte inferior, para regular el flujo del solvente. Según la farmacopea alemana, la capa de droga debe ser igual a 5 veces el diámetro medido del equipo.

La percolación, en pequeña escala o en escala industrial, comprende una etapa preliminar de humedecimiento de la droga, fuera del cuerpo del percolador. Este procedimiento tiene como objetivo aumentar el contacto, facilitando el paso del solvente y no permitiendo la formación de falsas vías, que perjudican la eficiencia del proceso. El humedecimiento de la droga aumento la porosidad de la pared celular y facilita la difusión de las sustancias extraíbles hacia el exterior de las células. El humedecimiento debe ser realizado fuera del percolador, ya que la droga puede hincharse excesivamente, principalmente cuando el solvente es acuoso, y comprimirse contra las paredes del percolador, no permitiendo el paso del solvente. La percolación simple presenta, como desventaja, el alto consumo de solvente. Por esta razón, en condiciones industriales, es preferible usar la técnica de la repercolación. La repercolación consiste en hacer re circular el mismo solvente a través de la droga, por intermedio de bombas.

Este procedimiento aumenta el tiempo de contacto de la droga con el solvente y aumenta la eficiencia del proceso. En la repercolación se utiliza una batería de repercoladores y los extractos menos ricos en sustancias extraíbles son utilizados para extraer nuevas porciones de la droga.

El número de extracciones, así como el tiempo de extracción, la temperatura, la concentración alcohólica del solvente y otras variables deben determinarse experimentalmente. Los estándares de las variables para la percolación son:

- Temperatura: 60 ºC
- Concentración alcohólica: 70 %
- Tiempo de extracción: 1 hora

2.6.3. Extracto seco

La determinación del residuo sólido vegetal mediante la evaporación total del solvente del extracto fluido. Esto permite el cargado sobre el excipiente inerte de tal manera que se puedan obtener distintas relaciones material vegetal-excipiente, según la cantidad de extracto fluido que se utilice. Posteriormente se procede a pesar una cantidad predeterminada de dióxido de silicio coloidal y es dispersada en un volumen medido de extracto líquido. El solvente es gradualmente evaporado a temperatura ambiente con constante agitación.

Cuando la mezcla adquiere características semisólidas, el solvente remanente es eliminado a 40ºC hasta obtener un producto de peso constante. El polvo obtenido se somete a molienda y tamizado.

2.6.4. Extracto blando

La técnica es sencilla, consiste en evaporar el alcohol que tiene la tintura. Se coloca a la misma en una fuente de vidrio tipo pirex, algo playa, lo más grande posible dentro de la lógica y según la cantidad a preparar. Se utilizó una asadera de vidrio de 30 cm por 45 cm aproximadamente.

Se colocó el líquido en la asadera en un lugar sombreado y se sopló con un ventilador para evaporar más rápido el alcohol. Cuando la tintura toma una

consistencia parecida a la miel y sobrenada un líquido blanquecino sobre el mismo, es señal de que el proceso concluyó.

Para evaporar más el alcohol se puede revolver una o dos veces el extracto antes dar por finalizado. Hay que retirar el líquido sobrenadante y guardarlo en heladera para usarlo oportunamente, es el agua que quedó de la evaporación del alcohol y tiene las mismas propiedades terapéuticas que el extracto.

La goma que queda es el extracto blando y se puede retirar con cuidado, raspando con una espátula de madera y ponerlo en algún recipiente de vidrio que resulte cómodo para su posterior extracción. Tener la precaución de no dejar evaporar más el extracto blando porque se seca y después cuesta volver a solubilizarlo en alcohol.

2.6.5. Extracto fluido

Según la farmacopea los extractos líquidos, se preparan por percolación por tres métodos de la misma técnica.

- El proceso A es un método de percolación que puede modificarse para extractos fluidos que deben ser sometidos a ensayos.

- El proceso E es una alternativa al proceso A en el cual la percolación se efectúa sobre una columna de droga mucho más larga que ancha.

- El proceso D se utiliza para preparar extractos fluidos con agua hirviente como menstruo y el agregado de alcohol como conservador al percolado concentrado.

2.7. Análisis instrumental

Tiene como objetivo el estudio de los componentes químicos de una muestra mediante la medición de concentración de moléculas.

2.7.1. Métodos de separación cromatográficos

Los procedimientos cromatográficos en general, son procesos de separación que consisten en obligar a la sustancia problema a sufrir una migración diferencial entre dos fases: fase móvil y fase estacionaria. Durante la separación, la fase móvil atraviesa la fase estacionaria. La fase estacionaria es un sólido (adsorbente o sorbente) o un líquido. La fase móvil es un gas insoluble o un líquido inmiscible con la fase estacionaria. Existe también una nueva variante denominada gas supercrítico. Los procedimientos cromatográficos se clasifican de acuerdo a los siguientes principios:

- Según la constitución física del soporte
- Según la combinación de los diferentes tipos de fases
- Según el tipo de separación
- Cromatografía de gases

Se constituye en un procedimiento de separación para los compuestos volátiles, los cuales fluyen en una corriente gaseosa sobre o a través de una fase estacionaria fijada en el interior de un tubo largo y fino, esta puede ser un sólido adsorbente de empaquetamiento, o un líquido viscoso no volátil que recurre las paredes internas de la columna. El gas portador es un gas inerte (nitrógeno, helio, hidrogeno, argón) y transporta una muestra respectiva de la sustancia inyectada. Los diversos componentes son retenidos o retrasados por la fase estacionaria con mayor o menor fuerza, y alcanzaran

correspondientemente el final de la columna donde se encuentra el detector. Los tiempos de flujo del gas portador son relativamente largos.

- Espectrometría de masas

Es una de las herramientas analíticas de mayor aplicación, es capaz de proporcionar información acerca de la composición elemental de las muestras, estructura de las moléculas orgánicas, inorgánicas y biológicas, composición cualitativa y cuantitativa de las muestras complejas, estructura y composición de superficies sólidas, y relaciones isotópicas de las muestras, entre otros.

En forma general, la MS consiste en introducir una cantidad de muestras (igual o inferior a un micromol) por medio de un sistema de entrada, donde los componentes se convierten en uniones gaseosas (muestras solidas o liquidas), en un proceso llamado volatilización. Por medio de una fuente de iones, los átomos se convierten en iones, normalmente positivos acelerados hacia el interior del analizador de masas. El analizador de masas mide la relación masa/carga de los iones del analito, así mismo el detector convierte al haz de iones en una señal eléctrica que puede ser procesada y almacenada en la memoria de un ordenador, mostrada o registrada de diferentes maneras.

- Cromatografía de gases - espectrometría de masas

Una de las mejores herramientas para el análisis de mezclas orgánicas y bioquímicas complejas es la cromatografía de gases/espectrometría de masas (GC - MS), método de análisis acoplado en el cual se toma el espectro de masas de cada uno de los compuestos que salen de la columna cromatográfica; siendo estos guardados en un ordenador para su subsiguiente procesado.

Así mismo, la espectrometría de masas se puede acoplar a la cromatografía liquida para el análisis de muestras que contienen componentes no volátiles.

2.7.2. Índice de refracción

El fenómeno de la refracción consiste en la desviación de trayectoria que sufre un haz de radiación monocromática al pasar desde el vacío a otro medio material de distinta densidad. A nivel molecular este fenómeno se debe a la interacción entre el campo eléctrico de la radiación y los electrones de las moléculas, originándose temporalmente momentos dipolares inducidos.

Se cumple la siguiente relación, conocida como ley de Snell, que define el llamado índice de refracción “n”:

$$n=(\text{sen } i)/(\text{sen } r)$$

Donde “i” y “r” son los ángulos de incidencia y refracción que forma el haz con la normal a la superficie de separación.

2.7.3. Densidad

La determinación de la densidad de un cuerpo mediante el picnómetro se basa en el principio de Arquímedes según el cual, todo cuerpo sumergido en un fluido experimenta un empuje hacia arriba igual al peso del volumen de fluido desalojado. Además de la relación entre la masa de un volumen de la sustancia a ensaya a 25 ºC y la masa de un volumen igual al agua.

La densidad de un cuerpo viene dada por:

$$\rho = m/v$$

Donde m es la masa del cuerpo y V su volumen.

2.8. Operaciones unitarias

Son procesos básicos que implican cambios físicos o químicos cuyo fin es transformar la materia prima en un producto terminado.

2.8.1. Transferencia de masa

El tercer proceso fundamental de transferencia, esto es, la transferencia de masa, interviene en la destilación, absorción, secado, extracción líquido-líquido adsorción y procesos de membrana. Cuando se transfiere masa de una fase a otra o a través de una sola fase el mecanismo básico es el mismo, ya sea que se trate de gases, líquidos o sólidos. Esto también se demostró para la transferencia de calor, en ella el transporte de calor por conducción obedece la ley de Fourier en gases, líquidos y sólidos. La transferencia de masa es la tendencia de uno o más componentes de una mezcla a transportarse desde una zona de alta concentración del o de los componentes a otra zona donde la concentración es menor.

Por ejemplo, si se echa un cristal de sulfato cúprico en agua el cristal se disolverá, alrededor de la superficie del cristal la coloración del agua toma un color azul, que es más intenso mientras más cerca se esté de dicha superficie. A medida que transcurre el tiempo, se observa como la coloración de las zonas alejadas se vuelve más azul, mientras que el cristal desaparece

paulatinamente, hasta que si se deja el tiempo suficiente, toda el agua muestra un tono de azul uniforme. El sulfato viaja de una zona donde la concentración es más alta a la zona de menor concentración. Dicha tendencia permite la disolución del sulfato cúprico en el agua. La diferencia de concentración es la que constituye la fuerza motriz (o directora) de la transferencia de masa.

Ecuación general de transporte molecular

Velocidad de un proceso de transferencia = Fuerza impulsora / Resistencia

2.8.2. Lixiviación

La lixiviación, o extracción sólido-líquido, es un proceso en el que un disolvente líquido pasa a través de un sólido pulverizado para que se produzca la disolución de uno o más de los componentes solubles del sólido. La lixiviación es una operación de transferencia de masa por lo que es indispensable que exista un contacto íntimo entre el solvente y el soluto contenido en el sólido.

La lixiviación es un proceso por el cual se extrae uno o varios solutos de un sólido, mediante la utilización de un disolvente líquido. Ambas fases entran en contacto íntimo y el soluto o los solutos pueden difundirse desde el sólido a la fase líquida, lo que produce una separación de los componentes originales del sólido.

Industrialmente la lixiviación se utiliza para preparar pociones, para ello se toma la droga (generalmente una planta medicinal) se pulveriza, y se mezcla con el menstruo (alcohol), se coloca en un lixiviador y se deja macerando el

tiempo requerido. La lixiviación es un proceso en el cual se extrae uno o varios solutos de un sólido, mediante la utilización de un disolvente líquido.

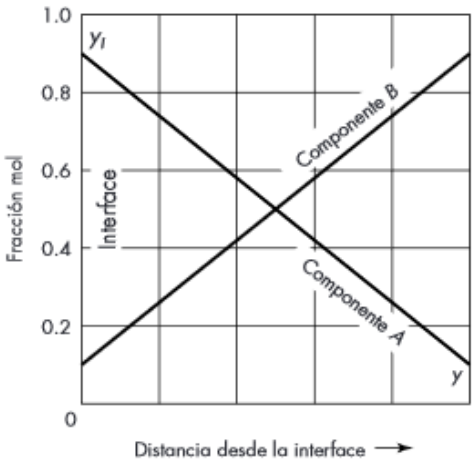
Ambas fases entran en contacto íntimo y el soluto o los solutos pueden difundirse desde el sólido a la fase líquida, lo que produce una separación de los componentes originales del sólido. Actualmente existe una creciente demanda por alimentos de alto valor añadido, en donde ya sea que se: incorporen principios activos, tales como vitaminas, aceites esenciales, agentes antioxidantes, aromas o bien que se eliminen sustancias del producto, tales como cafeína, lactosa, colesterol, grasa, entre otros.

Los sistemas de extracción de componentes comprenden tanto las técnicas tradicionales de percolación e inmersión, como las nuevas tecnologías de extracción mediante fluidos supercríticos.

2.8.2.1. Ley de Fick

La ley de Fick indica que la rapidez de difusión por unidad de área de sección transversal en una dirección determinada es proporcional al cambio de la concentración del soluto en esa dirección.

Figura 4. **Fundamentos de la difusión y de la transferencia de masa**



Fuente: MCCABE, Warren; SMITH, Julian; HARRIOTT, Peter. *Operaciones unitarias en ingeniería química.* p. 562.

La ecuación para esta ley es:

$$\frac{\Delta m}{\Delta t} = -DA\frac{\Delta C}{\Delta x}$$

Donde:

$\Delta m/\Delta t$ es la masa del soluto que difunde a lo largo de esa dirección por unidad de tiempo

A es el área de la sección transversal

C es la concentración del soluto

D es el coeficiente de difusión

$\Delta C/\Delta x$ es el gradiente de concentración

Donde los valores típicos de D para la difusión en agua de moléculas en biología van desde $1 \cdot 10^{-11}$ a 100×10^{-11} m^2/s, para un rango de pesos moleculares de cerca de 10^4.

3. DISEÑO METODÓLOGICO

3.1. Localización

El procedimiento se realizó en el Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales (LIEXVE), ubicado en la sección de Química Industrial del Centro de investigaciones de la Facultad de Ingeniería Universidad de San Carlos de Guatemala.

3.2. Variables

Es importante basarse en una serie de datos recolectados llamados variables, las cuales deben ser medibles para ser analizadas posteriormente.

3.2.1. Variables independientes

El tipo de materia prima que se utilizó para la extracción de la oleorresina, los cuales son:

- Cardamomo de primera calidad
- Cardamomo de segunda calidad
- Cardamomo de tercera calidad
- Cardamomo sin trips

El solvente utilizado para la extracción de la oleorresina, los cuales son:

- Etanol
- Hexano

3.2.2. Variables dependientes

Son las que nacieron de una medición posterior al proceso basándose en dos o más variables independientes.

Tabla I. **Descripción de variables dependientes, factores químicos**

Núm.	Variable	Dimensional
1	Densidad	g/mL
2	Índice de refracción	adimensional
3	Porcentaje de rendimiento	%
4	Volumen de oleorresina extraído	mL
5	Porcentaje de humedad	%

Fuente: elaboración propia.

Para el ensayo de densidad se realizaron tres corridas por cada oleorresina recuperada de cada calidad, de igual manera que para el índice de refracción, en etanol y hexano.

Los componentes activos de la oleorresina se identificaron por medio de un análisis de cromatografía de gases acoplada a masas, una corrida por cada oleorresina recuperada y por cada solvente utilizado. El porcentaje de humedad se determinó en cada una de las calidades de materia prima.

3.2.3. Variables respuesta

Las variables respuesta para cada tratamiento, fue el rendimiento extractivo de cada oleorresina, y el contenido de eucaliptol en función del tipo de grano y el solvente utilizado para la extracción.

3.3. Delimitación del campo de estudio

Se utilizó grano de cardamomo de primera, segunda y tercera calidad y cardamomo infestado con trips a escala laboratorio para la obtención de la oleorresina.

3.3.1. Extracción de la oleorresina

Se utilizó únicamente la semilla de cardamomo seco con partículas de un diámetro no mayor a 1,0 mm, utilizando el método de maceración dinámica utilizando etanol al 95 % y hexano como solvente.

3.3.2. Análisis cuantitativo de la oleorresina

La cromatografía gaseosa con acoplamiento a espectrometría de masas se realizó en el Departamento de Toxicología de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia Universidad de San Carlos de Guatemala.

3.3.3. Análisis cualitativo de la oleorresina

Los análisis del tamaño del grano, densidad, viscosidad e índice de refracción se realizaron en el Laboratorio de Investigación de Extractos

Vegetales, ubicado en la sección de Química Industrial de la facultad de Ingeniería Universidad de San Carlos de Guatemala.

3.4. Obtención de la materia prima

La semilla de cardamomo que se utilizó para la extracción se recolectó a partir de varios proveedores que ofrezcan las distintas clases y calidades de cardamomo y que pertenezcan al departamento de Alta Verapaz.

3.5. Recursos humanos

- Investigadora Br. Kimberlin Yolanda Ramírez Pérez

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

Para la realización de este proyecto se trabajó en el Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales (LIEXVE), ubicado en el edificio T-5 Facultad de Ingeniería Universidad de San Carlos de Guatemala.

3.6. Recursos materiales disponibles

Durante la fase experimental fueron necesarios varios insumos que fueron proveidos por el Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales LIEXVE.

Tabla II. **Materiales disponibles**

Materia prima	Grano de cardamomo
Equipo	Balanza analítica
	Cromatógrafo de gases con acoplamiento a espectrometría de masas
	Plancha de calentamiento
	Refractómetro
	Termómetro
	Campana de extracción
	Horno
Cristalería	Balón de 250 mL
	Probetas diferentes volúmenes
	Pipeta
	Picnómetro
	Ampollas de decantación
	Varillas de agitación
	Beakers de distintos volúmenes
	Agitador magnético
	Balón aforado 100 mL

Fuente: elaboración propia.

3.7. Técnica cuantitativa

Para esta investigación se realizó una técnica cuantitativa para determinar el tamaño del grano, densidad, índice de refracción y viscosidad. Se utilizaron porcentajes para la determinación del porcentaje de rendimiento de la oleorresina y para cada uno de los componentes químicos resultantes de la cromatografía de gases acoplados a espectrometría de masas.

- Extracción de oleorresina utilizando la técnica de maceración dinámica a nivel laboratorio.
    - Preparar una solución acuosa al 4 % en peso del solvente a utilizar.

- Tomar 4 g de semilla de cardamomo tamizada, y colocarla en un *beaker* de 250 mL.
- Agregar un volumen adecuado de la solución de sulfito, hasta cumplir una relación 1:20.
- Calentar la mezcla durante 45 minutos con agitación a 23° C a 26° C, sin pasarse de dicho rango de temperatura.
- Colocar el *beaker* con la muestra homogenizada en una plancha con agitador magnético y mantener por un tiempo de 2 a 4 horas.
- Filtrar la muestra con una manta. Llevar el material soluble a un *beaker* de 600 mL y evaporar en un secador eléctrico, y se pesa hasta lograr peso constante.
- Llevar una bitácora del peso inicial de la materia prima.
- Tarar la cristalería en donde se pesó inicialmente la materia prima.
- Pesar el producto final y restarle el peso de la cristalería utilizada.

- Medición del índice de refracción
  - Limpiar el lente del prisma con agua desmineralizada
  - Colocar una gota de aceite esencial sobre la superficie del prisma
  - Encender la lámpara y ajustar el brillo para la medición
  - Girar la perilla de compensación, hasta que aparezca una línea clara y definida en el campo de visión.
  - Leer en la escala superior el índice de refracción.

- Cromatografía gaseosa con acoplamiento de espectrometría de masas
  - Inyectar dentro del espectrómetro 0,2 µL de aceite esencial diluido en 1 mL de metanol.
  - Comparar el peso molecular de las especies que se encuentran en el aceite a partir de un patrón por medio de iones.

- Asignar un área porcentual a cada pico del cromatograma que representa un tiempo de retención.
- Identificar y nombrar cada componente del aceite según la librería contenida en el programa del cromatografo.

3.7.1. Análisis estadístico de los datos

El análisis estadístico se realizó para los datos obtenidos de porcentaje de rendimiento de la oleorresina de cardamomo para ambas materias primas, la materia prima sana y la contaminada con trips y para cada solvente utilizado.

Cada tratamiento tiene tres corridas por lo que se calculó una media y posteriormente una desviación estándar para mostrar la tendencia superior e inferior para cada puntaje.

- Determinación de la media para cada tratamiento analizado

Para determinar la media de cada tratamiento analizado se debe hacer la sumatoria de los resultados de los análisis y esta sumatoria se divide entre el número de corridas.

$$P = \frac{\sum PT_n}{N}$$

Dónde

P = media para cada tratamiento analizado.

ΣPT_n = sumatoria de los resultados para cada corrida.

N = número de corridas.

- Determinación de desviación estándar

A la media calculada de cada tratamiento se le determina una desviación estándar para observar la repetibilidad del análisis y exactitud de un resultado con otro.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum \left(\overline{P} - \frac{PTn}{N} \right)^2}{n}}$$

Donde

σ = desviación estándar para cada tratamiento.

P = media para cada tratamiento

PT_n = resultado individual para cada corrida

N = número de corridas

n = número total de corridas para cada calidad

3.8. Recolección y ordenamiento de la información

Se realizaron 3 lotes de extracción clasificados por la clase de cardamomo y por el tipo de materia prima, de los cuales se obtiene un total de 8 tratamientos. La recolección de datos se obtuvo mediante la determinación de las propiedades fisicoquímicas y el análisis cuantitativo de los componentes de la oleorresina de cardamomo. Las muestras se clasifican según la calidad de la materia prima, que son las siguientes:

- Cardamomo de 1era calidad
- Cardamomo de 2da calidad
- Cardamomo de 3era calidad
- Cardamomo contaminado con trips

Tabla III. **Codificación**

Solvente		Calidad				
Etanol	Hexano	trips	1ra	2da	3ra	Corrida
1	2	a	b	c	d	1
1	2	a	b	c	d	2
1	2	a	b	c	d	3

Fuente: elaboración propia.

El primer número corresponde al solvente utilizado, la letra corresponde a la calidad y por último el número de corrida.

- Datos experimentales de oleorresina de cardamomo de primera, segunda, tercera calidad y cardamomo con trips extraído con etanol.

Tabla IV. **Rendimientos de la oleorresina de cardamomo con trips**

Código	Peso oleorresina + balón + base	Peso balón + base	Peso oleorresina (g)	Rendimiento %
1.a.1	491,50	485,12	6,38	10,63
1.a.2	493,54	485,12	8,42	14,03
1.a.3	490,74	485,12	5,62	9,36

Fuente: elaboración propia.

Tabla V. **Rendimientos de la oleorresina de cardamomo de 1ra calidad**

Código	Peso oleorresina + balón + base	Peso balón + base	Peso oleorresina (g)	Rendimiento %
1.b.1	491,94	485,12	6,82	11,36
1.b.2	491,53	485,12	6,41	10,68
1.b.3	491,12	485,12	6,00	9,67

Fuente: elaboración propia.

Tabla VI. **Rendimientos de la oleorresina de cardamomo de 2da calidad**

Código	Peso oleorresina + balón + base	Peso balón + base	Peso oleorresina (g)	Rendimiento %
1.c.1	491,49	485,12	6,37	10,61
1.c.2	491,60	485,12	6,48	10,80
1.c.3	490,56	485,12	5,44	9,06

Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. **Rendimientos de la oleorresina de cardamomo de 3ra calidad**

Código	Peso oleorresina + balón + base	Peso balón + base	Peso oleorresina (g)	Rendimiento %
1.d.1	491,12	485,12	6,00	9,67
1.d.2	490,21	485,12	5,09	8,48
1.d.3	489,72	485,12	4,60	7,66

Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. **Índices de refracción de la oleorresina de cardamomo de 1ra, 2da, 3ra calidad y cardamomo con trips**

Trips			
Código	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3
1.a.1	1,45	1,54	1,45
1.a.2	1,45	1,42	1,45
1.a.3	1,45	1,25	1,45
1ra. calidad			
Código	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3
1.b.1	1,46	1,46	1,47
1.b.2	1,46	1,42	1,48
1.b.3	1,47	1,42	1,57
2da. calidad			
Código	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3
1.c.1	1,46	1,46	1,46
1.c.2	1,46	1,46	1,48
1.c.3	1,46	1,46	1,46
3ra. calidad			
Código	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3
1.d.1	1,46	1,46	1,47
1.d.2	1,46	1,46	1,47
1.d.3	1,47	1,47	1,65

Fuente: elaboración propia.

Tabla IX. **Densidades de la oleorresina de cardamomo de primera, segunda, tercera calidad y cardamomo con trips (g/mL)**

Trips						
Código	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	Densidad 1	Densidad 2	Densidad 3
1.a.1	4,02	4,03	4,05	0,88	0,89	0,91
1.a.2	4,03	4,02	4,02	0,89	0,88	0,88
1.a.3	4,03	4,05	4,03	0,89	0,91	0,89
1ra. calidad						
Código	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	Densidad 1	Densidad 2	Densidad 3
1.b.1	4,01	4,02	4,05	0,87	0,88	0,91
1.b.2	4,03	4,02	4,06	0,89	0,88	0,92
1.b.3	4,04	4,05	4,02	0,90	0,91	0,88
2da. calidad						
Código	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	Densidad 1	Densidad 2	Densidad 3
1.c.1	4,04	4,03	4,01	0,90	0,89	0,87
1.c.2	4,03	4,06	4,03	0,89	0,92	0,89
1.c.3	4,03	4,02	4,06	0,89	0,88	0,92
3ra. calidad						
Código	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	Densidad 1	Densidad 2	Densidad 3
1.d.1	4,04	4,04	4,02	0,90	0,90	0,88
1.d.2	4,05	4,02	4,03	0,91	0,88	0,89
1.d.3	4,03	4,03	4,05	0,89	0,89	0,91

Fuente: elaboración propia.

Tabla X. **Resultados de cromatografía gaseosa con acoplamiento a espectrometría de masas GC-MS de oleorresina de cardamomo de primera calidad**

Núm.	Núm. Pico	Tiempo de retención (min)	%	Compuesto
1	3	6,213	49,92 %	Alcohol etílico
2	4	8,695	13,85 %	Descartado
3	16	46,300	7,23 %	2 – Propano 1,3 - Dihidroxido
4	9	22,709	4,41 %	Ácido acético
5	15	32,837	3,29 %	Ciclohexano, 1 – metil – 4- (1 – metilo tilidieno)
6	13	28,699	2,88 %	Propilenglicol
7	5	13,618	2,48 %	Eucaliptol
8	6	16,946	2,27 %	2 – Propano, 1 - Hidroxilo
9	19	58,353	1,72 %	2-Furancarboxaldehido, 5-(hidroxi etilo)
10	10	24,855	1,63 %	Ácido fórmico
11	1	3,948	1,53 %	Descartado
12	17	48,851	1,31 %	2-Hidroxi-gamma-butirolactona

Fuente: elaboración propia, con base a las técnicas cuantitativas de la investigación.

Tabla XI. **Resultados de cromatografía gaseosa con acoplamiento a espectrometría de masas GC-MS de oleorresina de cardamomo de segunda calidad**

Núm.	Núm. Pico	Tiempo de retención (min)	%	Compuesto
1	2	6,208	59,768 %	Alcohol etílico
2	3	8,671	13,696 %	Descartado
3	12	32,839	3,567 %	4-Careno
4	4	13,621	3,185 %	Eucaliptol
5	7	22,750	2,962 %	Ácido acético
6	11	28,690	2,360 %	Propilenglicol
7	8	24,877	1,089 %	Ácido fórmico
8	1	3,940	0,921 %	Descartado
9	6	17,530	0,844 %	Acetaldehído, hidroxilo
10	5	16,941	0,730 %	2-Propano, 1-hidroxilo
11	9	26,842	0,707 %	1,6-Octadieno-3-ol, 3,7-dimetil
12	10	27,238	0,537 %	1,6-Octadien-3-ol, 3,7-dimethyl-, 2-aminobenzoate

Fuente: elaboración propia, con base a las técnicas cuantitativas de la investigación.

Tabla XII. **Resultados de cromatografía gaseosa con acoplamiento a espectrometría de masas GC-MS de oleorresina de cardamomo de tercera calidad**

Núm.	Núm. Pico	Tiempo de retención (min)	%	Compuesto
1	2	6,201	49,541	Alcohol etílico
2	12	32,918	16,68 %	4-Careno
3	4	13,632	9,51 %	Eucaliptol
4	3	8,584	6,40 %	Descartado
5	6	22,696	2,64 %	Ácido acético
6	15	46,264	2,54 %	2-Propanol, 1,3-dihidroxilo
7	10	28,698	2,11 %	Propilenglicol
8	9	27,252	2,01 %	1,6-Octadieno-3-ol, 3,7-dimetil-, 2-aminobenzoato
9	8	26,846	1,17 %	1,6-Octadieno-3-ol, 3,7-dimetil
10	13	38,197	1,10 %	2,6-Octadieno-1-ol, 3,7-dimetil
11	21	71,910	1,00 %	Ácido n- hexanodecanoico

Fuente: elaboración propia, con base a las técnicas cuantitativas de la investigación.

Tabla XIII. **Resultados de cromatografía gaseosa con acoplamiento a espectrometría de masas GC-MS de oleorresina de cardamomo con trips**

Núm.	Núm. Pico	Tiempo de retención (min)	%	Compuesto
1	1	6,210	55,829 %	Alcohol etílico
2	7	32,905	25,27 %	4-Careno
3	3	13,653	8,750 %	Eucaliptol
4	2	8,415	3,430 %	Descartado
5	6	27,25	2,78 %	1,3,6-Octatrieno, 3,7-dimethyl-,Z)
6	5	26,842	1,378 %	1,6-Octadien-3-ol, 3,7-dimetil
7	9	71,893	1,32 %	Acido n- hexanodecanoico
8	8	44,664	0,69 %	1,6,10-Dodecatrieno-3-ol, 3,7,11-trimetil
9	4	22,794	0,561 %	Ácido acético

Fuente: elaboración propia, con base a las técnicas cuantitativas de la investigación.

- Datos experimentales de oleorresina de cardamomo de primera, segunda, tercera calidad y cardamomo con trips extraído con hexano.

Tabla XIV. **Rendimientos de la oleorresina de cardamomo con trips**

Código	Peso oleorresina + balón + base	Peso balón + base	Peso oleorresina (g)	Rendimiento %
2.a.1	487,62	485,12	2,50	5,00
2.a.2	488,09	485,12	2,97	5,94
2.a.3	487,77	485,12	2,65	5,30

Fuente: elaboración propia.

Tabla XV. **Rendimientos de la oleorresina de cardamomo de 1ra calidad**

Código	Peso oleorresina + balón + base	Peso balón + base	Peso oleorresina (g)	Rendimiento %
2.b.1	488,21	485,12	3,09	6,18
2.b.2	487,81	485,12	2,69	5,38
2.b.3	488,89	485,12	3,77	7,54

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVI. **Rendimientos de la oleorresina de cardamomo de 2da calidad**

Código	Peso oleorresina + balón + base	Peso balón + base	Peso oleorresina (g)	Rendimiento %
2.c.1	488,36	485,12	3,24	6,48
2.c.2	488,00	485,12	2,88	5,76
2.c.3	487,68	485,12	2,56	5,12

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVII. **Rendimientos de la oleorresina de cardamomo de 3ra calidad**

Código	Peso oleorresina + balón + base	Peso balón + base	Peso oleorresina (g)	Rendimiento %
2.d.1	487,24	485,12	2,12	4,24
2.d.2	488,08	485,12	2,96	5,92
2.d.3	487,75	485,12	2,63	5,26

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVIII. **Índices de refracción de la oleorresina de cardamomo de primera, segunda, tercera calidad y cardamomo con trips**

Trips			
Código	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3
2.a.1	1,45	1,45	1,45
2.a.2	1,45	1,45	1,46
2.a.3	1,45	1,45	1,46
1ra. calidad			
Código	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3
2.b.1	1,46	1,45	1,46
2.b.2	1,46	1,46	1,45
2.b.3	1,45	1,45	1,46
2da. calidad			
Código	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3
2.c.1	1,45	1,44	1,45
2.c.2	1,44	1,44	1,45
2.c.3	1,45	1,44	1,44
3ra. calidad			
Código	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3
2.d.1	1,46	1,45	1,46
2.d.2	1,45	1,45	1,45
2.d.3	1,46	1,45	1,46

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIX. **Densidades de la oleorresina de cardamomo de primera, segunda, tercera calidad y cardamomo con trips(g/mL)**

Trips						
Código	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	Densidad 1	Densidad 2	Densidad 3
2.a.1	4,10	4,03	4,17	0,96	0,89	1,03
2.a.2	4,06	4,05	4,08	0,92	0,91	0,94
2.a.3	4,14	4,04	4,12	1,00	0,90	0,98
1ra. calidad						
Código	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	Densidad 1	Densidad 2	Densidad 3
2.b.1	4,35	4,23	4,28	1,21	1,09	1,14
2.b.2	4,19	4,25	4,23	1,05	1,11	1,09
2.b.3	4,22	4,36	4,21	1,08	1,22	1,07
2da. calidad						
Código	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	Densidad 1	Densidad 2	Densidad 3
2.c.1	4,16	4,15	4,17	1,02	1,01	1,03
2.c.2	4,15	4,16	4,19	1,01	1,02	1,05
2.c.3	4,05	4,17	4,21	0,91	1,03	1,07
3ra. calidad						
Código	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	Densidad 1	Densidad 2	Densidad 3
2.d.1	4,15	4,16	4,14	1,01	1,02	1,00
2.d.2	4,15	4,18	4,15	1,01	1,04	1,01
2.d.3	4,18	4,23	4,18	1,04	1,09	1,04

Fuente: elaboración propia.

Tabla XX. **Resultados de cromatografía gaseosa con acoplamiento a espectrometría de masas GC-MS de la oleorresina de cardamomo de primera calidad**

Núm.	Núm. Pico	Tiempo de retención (min)	%	Compuesto
1	19	33,048	38,83 %	Ciclohexano, 1-metil-4-(1-metilo tilideno)
2	11	13,736	19,19 %	Eucaliptol
3	1	4,122	13,68 %	Hexano
4	16	27,331	7,40 %	1,6-Octadieno-3-ol, 3,7-dimetil-, 2-aminobenzoato
5	2	4,306	5,89 %	Ciclopentano, metil
6	14	26,877	3,34 %	1,6-Octadieno-3-ol, 3,7-dimetil
7	8	10,519	1,52 %	Beta.-Pelandremo Biciclo[3.1.0]hex-2-ene, 4-metil
8	25	44,678	1,22 %	Nerolidol 2
9	24	38,201	1,13 %	2,6-Octadieno-1-ol, 3,7-dimetil
10	10	13,147	0,96 %	Biciclo[3.1.0]hex-2-ene, 4-metil-1-(1-methiletilo)

Fuente: elaboración propia, con base a las técnicas cuantitativas de la investigación.

Tabla XXI. **Resultados de cromatografía gaseosa con acoplamiento a espectrometría de masas GC-MS de la oleorresina de cardamomo de segunda calidad**

Núm.	Núm. Pico	Tiempo de retención (min)	%	Compuesto
1	15	33,039	44,226 %	4-Careno
2	1	4,12	18,83 %	Hexano
3	2	4,305	9,25 %	Ciclopentano, metil
4	11	27,313	6,667 %	1,6-Octadieno-3-ol, 3,7-dimetil-, 2-aminobenzoato
5	6	13,652	4,23 %	Eucaliptol
6	12	28,734	3,084 %	Propilenglicol
7	9	26,872	2,66 %	1,6-Octadieno-3-ol, 3,7-dimetil
8	21	44,685	1,945 %	1,6,10-Dodecatrieno-3-ol, 3,7,11-trimetil
9	20	38,202	1,346 %	2,6-Octadieno-1-ol, 3,7-dimetil
10	29	71,923	1,164 %	Acido n-Hexadecanoico

Fuente: elaboración propia, con base a las técnicas cuantitativas de la investigación.

Tabla XXII. **Resultados de cromatografía gaseosa con acoplamiento a espectrometría de masas GC-MS de la oleorresina de cardamomo de tercera calidad**

Núm.	Núm. Pico	Tiempo de retención (min)	%	Compuesto
1	16	33,015	46,42 %	4-Careno
2	1	4,133	16,05 %	Hexano
3	9	13,682	9,03 %	Eucaliptol
4	2	4,318	7,17 %	Ciclopentano, metilo
5	14	27,302	6,42 %	1,6-Octadieno-3-ol, 3,7-dimetil-, 2-aminobenzoato
6	12	26,864	2,86 %	1,6-Octadieno-3-ol, 3,7-dimetil
7	25	71,931	1,78 %	Acido n-Hexadecanoico
8	21	44,679	1,62 %	1,6,10-Dodecatrieno-3-ol, 3,7,11-trimetil
9	6	8,284	1,29 %	Tolueno
10	20	38,195	0,88 %	Geraniol éter vinilo

Fuente: elaboración propia, con base a las técnicas cuantitativas de la investigación.

Tabla XXIII. **Resultados de cromatografía gaseosa con acoplamiento a espectrometría de masas GC-MS de la oleorresina de cardamomo con trips**

Núm.	Pico Núm.	Tiempo de retención (min)	%	Compuesto
1	15	33,084	55,355 %	4-Careno
2	2	4,127	16,454 %	Hexano
3	3	4,313	7,579 %	Ciclopentano, metil
4	12	27,312	5,674 %	1,5-Dimetil-1-vinil-4-hexenilo butirato
5	10	26,866	2,071 %	1,6-Octadieno-3-ol, 3,7-dimetil
6	21	44,686	1,715 %	1,6,10-Dodecatrieno-3-ol, 3,7,11-trimetil
7	30	71,941	1,683 %	Acido n-Hexadecanoico
8	7	13,643	1,658 %	Eucaliptol
9	27	59,038	0,943 %	Acido 9- octadecenoico
10	29	65,547	0,663 %	Benzeno, 3-[3-iodo-2-(iodometil)-2-metilpropil]-1,2,4,5-tetrametil

Fuente: elaboración propia, con base a las técnicas cuantitativas de la investigación.

3.9. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

Se tabularon resultados tanto para la oleorresina obtenida con etanol como para hexano de rendimiento extractivo, medición de índice de refracción, densidad y cromatografía de gases acoplada a masas en las siguientes tablas:

Tabla XXIV. **Rendimientos extractivos de la oleorresina de cardamomo de primera, segunda, tercera calidad y cardamomo con trips utilizando etanol como solvente**

	Trips	**1ra. Calidad**	**2da. Calidad**	**3ra. Calidad**
Corrida1	10,72	11,37	10,62	9,68
Corrida 2	11,04	10,68	10,80	8,48
Corrida 3	11,54	9,68	9,07	7,67
Media	11,10	10,58	10,16	8,61
Desviación estándar	0,41	0,84	0,95	1,01

Fuente: elaboración propia, con base en la recolección y ordenamiento de datos.

Tabla XXV. **Rendimientos extractivos de la oleorresina de primera, segunda, tercera calidad y cardamomo con trips utilizando hexano como solvente**

	Trips	**1ra. Calidad**	**2da. Calidad**	**3ra. Calidad**
Corrida1	5,00	6,18	6,48	4,24
Corrida 2	5,94	5,38	5,76	5,92
Corrida 3	5,30	7,54	5,12	5,26
Media	5,41	6,37	5,79	5,14
Desviación estándar	0,48	1,09	0,68	0,84

Fuente: elaboración propia, con base en la recolección y ordenamiento de datos.

Tabla XXVI. **Índices de refracción de la oleorresina de cardamomo de primera, segunda, tercera calidad y cardamomo con trips utilizando etanol como solvente**

Calidad	Índice de refracción	Media	Desviación estándar
Trips	1,48	1,44	0,06
	1,44		
	1,39		
1ra. Calidad	1,46	1,47	0,03
	1,45		
	1,48		
2da. Calidad	1,46	1,46	0,01
	1,47		
	1,46		
3ra. Calidad	1,46	1,48	0,03
	1,46		
	1,52		

Fuente: elaboración propia, con base en la recolección y ordenamiento de datos.

Tabla XXVII. **Índices de refracción de la oleorresina de cardamomo de primera, segunda, tercera calidad y cardamomo con trips utilizando hexano como solvente**

Calidad	Índice de refracción	Media	Desviación estándar
Trips	1,45	1,45	0,01
	1,46		
	1,45		
1ra. Calidad	1,45	1,45	0,01
	1,46		
	1,45		
2da. Calidad	1,44	1,44	0,01
	1,45		
	1,44		
3ra. Calidad	1,46	1,45	0,01
	1,45		
	1,45		

Fuente: elaboración propia, con base en la recolección y ordenamiento de datos.

Tabla XXVIII. **Densidades de la oleorresina de cardamomo de primera, segunda, tercera calidad y cardamomo con trips utilizando etanol como solvente**

Calidad	Densidad	Media	Desviación estándar
Trips	0,89	0,89	0,01
	0,88		
	0,89		
1ra. Calidad	0,88	0,89	0,01
	0,89		
	0,89		
2da. Calidad	0,88	0,89	0,01
	0,90		
	0,89		
3ra. Calidad	0,89	0,89	0,01
	0,89		
	0,90		

Fuente: elaboración propia, con base en la recolección y ordenamiento de datos.

Tabla XXIX. **Densidades de la oleorresina de cardamomo de primera, segunda, tercera calidad y cardamomo con trips utilizando hexano como solvente**

Calidad	Densidad	Media	Desviación estándar
Trips	0,96	0,94	0,04
	0,92		
	0,96		
1ra. Calidad	1,14	1,12	0,05
	1,08		
	1,12		
2da. Calidad	1,02	1,01	0,03
	1,02		
	1,00		
3ra. Calidad	1,01	1,02	0,01
	1,02		
	1,05		

Fuente: elaboración propia, con base en la recolección y ordenamiento de datos.

Tabla XXX. **Porcentaje de rendimiento extractivo de oleorresina de cardamomo de primera, segunda, tercera calidad y cardamomo con trips extraído con etanol al 95 % y hexano**

Tipo de grano	Etanol al 95 %	Hexano
Trips	10,58 %	5,41 %
1ra. Calidad	11,34 %	6,37 %
2da. Calidad	10,16 %	5,79 %
3ra. Calidad	8,61 %	5,14 %

Fuente: elaboración propia, en base a la recolección y ordenamiento de la información.

Tabla XXXI. **Contenido de Eucaliptol en la oleorresina de cardamomo en función del tipo de grano y solvente**

Tipo de grano	Etanol al 95 %	Hexano
Trips	2,48 %	4,23 %
1ra. Calidad	3,19 %	19,19 %
2da. Calidad	9,51 %	9,03 %
3ra. Calidad	8,75 %	1,66 %

Fuente: elaboración propia, en base a la recolección y ordenamiento de la información.

Tabla XXXII. **Contenido de 1,6-Octadieno-3-ol, 3,7-dimetil en la oleorresina de cardamomo en función del tipo de grano y solvente**

Tipo de grano	Etanol al 95 %	Hexano
Trips	0,66 %	7,40 %
1ra. Calidad	0,71 %	6,67 %
2da. Calidad	2,01 %	2,86 %
3ra. Calidad	1,38 %	2,07 %

Fuente: elaboración propia, en base a la recolección y ordenamiento de la información.

3.10. Análisis estadístico

El análisis estadístico escogido para este grupo de datos es la prueba de Tukey debido a que esta prueba es específica para datos obtenidos experimentalmente mediante comparación de medias con un intervalo de confianza de 95 %.

Tabla XXXIII. **Análisis de varianza para el rendimiento de oleorresina de cardamomo**

N	R^2	R^2 Aj	CV
24	0,92	0,89	10,43

Fuente: elaboración propia, con base en la técnica cuantitativa de la investigación.

Tabla XXXIV. **Análisis de varianza por tipo para el rendimiento de la oleorresina de cardamomo**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Calidad	9,06	3	3,02	4,46	0,01
Solvente	118,06	1	118,06	174,18	<0,0001
Calidad*Solvente	3,83	3	1,28	1,88	0,17
Total	141,79	23	-	-	-

Fuente: elaboración propia, con base en la técnica cuantitativa de la investigación.

Tabla XXXV. **Comparación de medias entre calidades para el rendimiento de la oleorresina de cardamomo**

Calidad	Medias	n	E.E.		
1ra.	8,47	6	0,34	A	-
Trips	8,26	6	0,34	A	-
2da.	7,98	6	0,34	A	-
3ra.	6,88	6	0,34	-	B

Fuente: elaboración propia, con base en la técnica cuantitativa de la investigación.

Tabla XXXVI. **Comparación de medias entre solventes para el rendimiento de la oleorresina de cardamomo**

Solvente	Medias	n	E.E.		
Etanol	10,11	12	0,24	A	
Hexano	5,68	12	0,24		B

Fuente: elaboración propia, con base en la técnica cuantitativa de la investigación.

Tabla XXXVII. **Comparación de medias entre calidades y solventes para el rendimiento de la oleorresina de cardamomo**

Calidad	Solvente	Medias	n	E.E.		
Trips	Etanol	11,1	3	0,48	A	
1ra.	Etanol	10,58	3	0,48	A	
2da.	Etanol	10,16	3	0,48	A	
3ra.	Etanol	8,61	3	0,48	A	
1ra.	Hexano	6,37	3	0,48		B
2da.	Hexano	5,79	3	0,48		B
Trips	Hexano	5,41	3	0,48		B
3ra.	Hexano	5,14	3	0,48		B

Fuente: elaboración propia, con base en la técnica cuantitativa de la investigación.

Tabla XXXVIII. **Análisis de varianza para el índice de refracción de la oleorresina de cardamomo**

N	R^2	R^2 Aj	CV
72	0,12	0,03	2,62

Fuente: elaboración propia, con base en la técnica cuantitativa de la investigación.

Tabla XXXIX. **Análisis de varianza por tipo para el índice de refracción**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Calidad	0,0054	3	0,0018	1,23	0,31
Solvente	0,0034	1	0,0034	2,29	0,13
Calidad*Solvente	0,0051	3	0,0017	1,17	0,32
Error	0,0937	64	0,0015	-	-
Total	0,1076	71	-	-	-

Fuente: elaboración propia, con base en la técnica cuantitativa de la investigación.

Tabla XL. **Comparación de medias entre calidades para el índice de refracción de la oleorresina de cardamomo**

Calidad	Medias	n	E.E.	
3ra.	1,47	18	0,009	A
1ra.	1,46	18	0,009	A
2da.	1,45	18	0,009	A
Trips	1,44	18	0,009	A

Fuente: elaboración propia, con base en la técnica cuantitativa de la investigación.

Tabla XLI. **Comparación de medias entre solventes para el índice de refracción de la oleorresina de cardamomo**

Solvente	Medias	n	E.E.	
Etanol	1,46	36	0,0064	A
Hexano	1,45	36	0,0064	A

Fuente: elaboración propia, con base en la técnica cuantitativa de la investigación.

Tabla XLII. **Comparación de medias entre calidades y solventes para el índice de refracción de la oleorresina de cardamomo**

Calidad	Solvente	Medias	n	E.E.	
3ra.	Etanol	1,48	9	0,0128	A
1ra.	Etanol	1,47	9	0,0128	A
2da.	Etanol	1,46	9	0,0128	A
1ra.	Hexano	1,45	9	0,0128	A
3ra.	Hexano	1,45	9	0,0128	A
Trips	Hexano	1,45	9	0,0128	A
2da.	Hexano	1,44	9	0,0128	A
Trips	Etanol	1,44	9	0,0128	A

Fuente: elaboración propia, con base en la técnica cuantitativa de la investigación.

Tabla XLIII. **Análisis de varianza para la densidad de la oleorresina de cardamomo**

N	R^2	R^2 Aj	CV
72	0,85	0,84	3,60

Fuente: elaboración propia, con base en la técnica cuantitativa de la investigación.

Tabla XLIV. **Análisis de varianza por tipo para la densidad**

F.V.	SC	Gl	CM	F	p-valor
Calidad	0,06	3	0,02	18,77	<0,0001
Solvente	0,32	1	0,32	272,07	<0,0001
Calidad*Solvente	0,06	3	0,02	17,93	<0,0001
Error	0,07	64	0,01	-	-
Total	0,53	71		-	-

Fuente: elaboración propia, con base en la técnica cuantitativa de la investigación.

Tabla XLV. **Comparación de medias entre calidades para la densidad de la oleorresina de cardamomo**

Calidad	Medias	n	E.E.			
1ra.	1,01	18	0,0082	A	-	-
3ra.	0,96	18	0,0082	-	B	-
2da.	0,95	18	0,0082	-	B	-
Trips	0,91	18	0,0082	-	-	-

Fuente: elaboración propia, con base en la técnica cuantitativa de la investigación.

Tabla XLVI. **Comparación de medias entre solventes para la densidad de la oleorresina de cardamomo**

Solvente	Medias	n	E.E.		
Hexano	1,02	36	0,0058	A	-
Etanol	0,89	36	0,0058	-	B

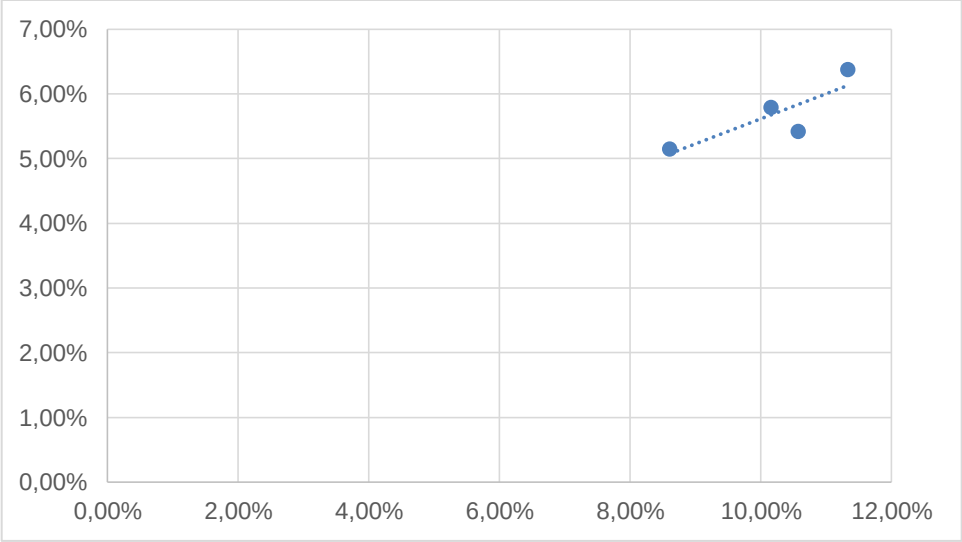
Fuente: elaboración propia, con base en la técnica cuantitativa de la investigación.

Tabla XLVII. **Comparación de medias entre calidades y solventes para la densidad de la oleorresina de cardamomo**

Calidad	Solvente	Medias	n	E.E.				
1ra.	Hexano	1,11	9	0,0115	A			
3ra.	Hexano	1,02	9	0,0115		B		
2da.	Hexano	1,01	9	0,0115		B		
Trips	Hexano	0,94	9	0,0115			C	
3ra.	Etanol	0,89	9	0,0115				D
2da.	Etanol	0,84	9	0,0115				D
1ra.	Etanol	0,89	9	0,0115				D
Trips	Etanol	0,89	9	0,0115				D

Fuente: elaboración propia, con base en la técnica cuantitativa de la investigación.

Figura 5. **Linealidad del porcentaje de rendimiento en función del tipo de grano**



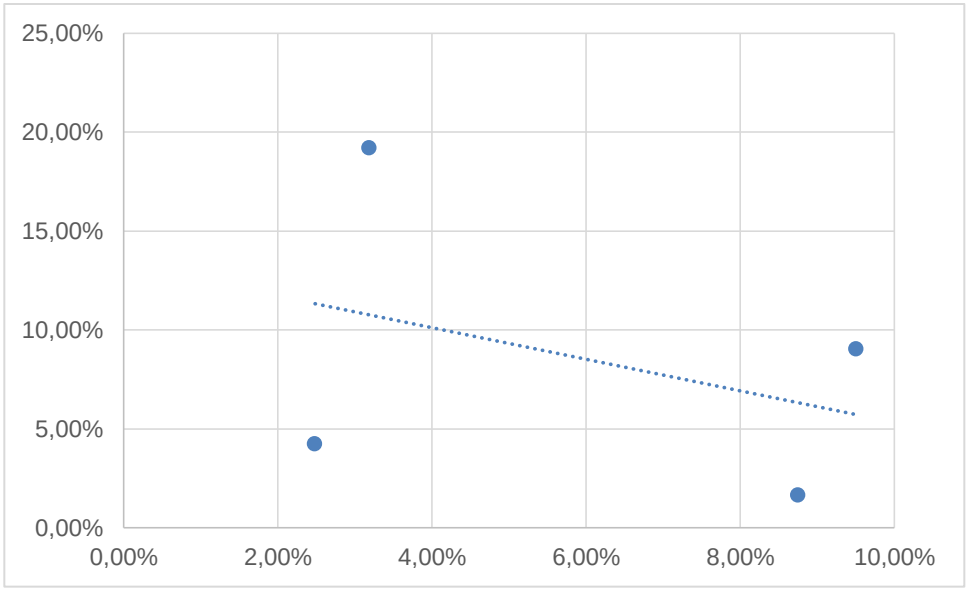
Fuente: elaboración propia, con base en la tabla XXX.

Tabla XLVIII. **Modelo matemático para la linealidad del porcentaje de rendimiento de la oleorresina de cardamomo en función del tipo de grano y solvente**

Color	Modelo matemático	R^2
	y = 0,3866x + 0,0174	0,7023

Fuente: elaboración propia, con base en la figura 5.

Figura 6. **Linealidad del contenido de eucaliptol de la oleorresina de cardamomo en función del tipo de grano y solvente**



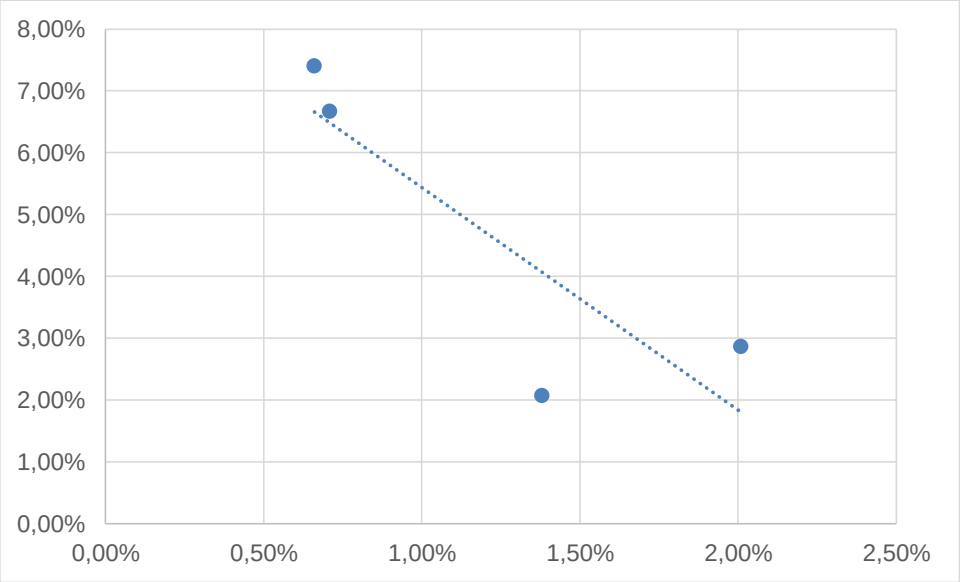
Fuente: elaboración propia, con base en la tabla XXXI.

Tabla XLIX. **Modelo matemático para la linealidad del contenido de eucaliptol en función del tipo de grano y solvente**

Color	Modelo matemático	R^2
	y = -0,7956x + 0,1329	0,1416

Fuente: elaboración propia, con base en la figura 6.

Figura 7. **Linealidad del contenido de 1,6-Octadieno-3-ol, 3,7-dimetil en función del tipo de grano y solvente**



Fuente: elaboración propia, con base en la tabla XXXII.

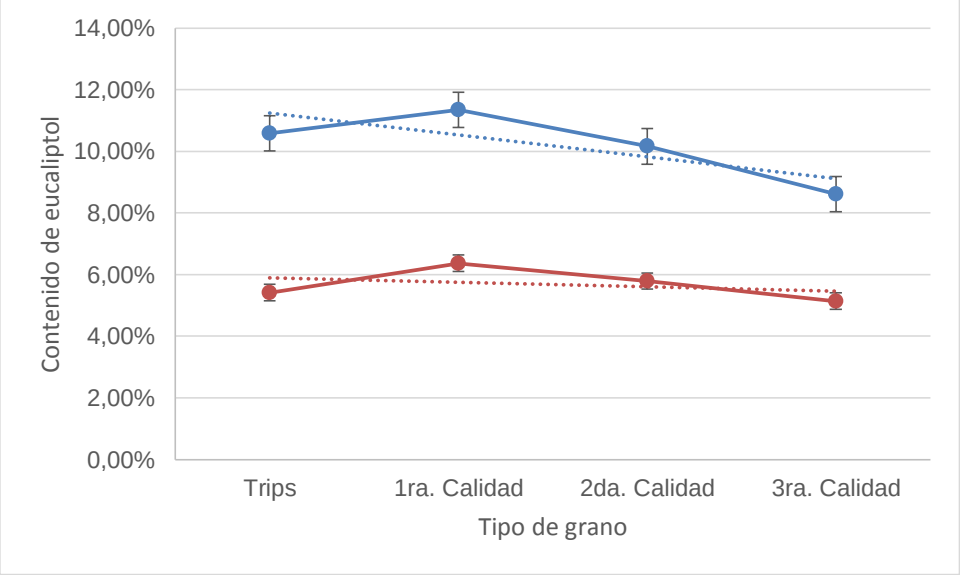
Tabla L. **Modelo matemático para la linealidad del contenido de 1,6-Octadieno-3-ol, 3,7-dimetil de la oleorresina de cardamomo en función del tipo de grano y solvente**

Color	Modelo matemático	R^2
	y = -3,5949x + 0,0903	0,7345

Fuente: elaboración propia, con base en la figura 7.

4. RESULTADOS

Figura 8. **Porcentaje de rendimiento en función del tipo de grano**



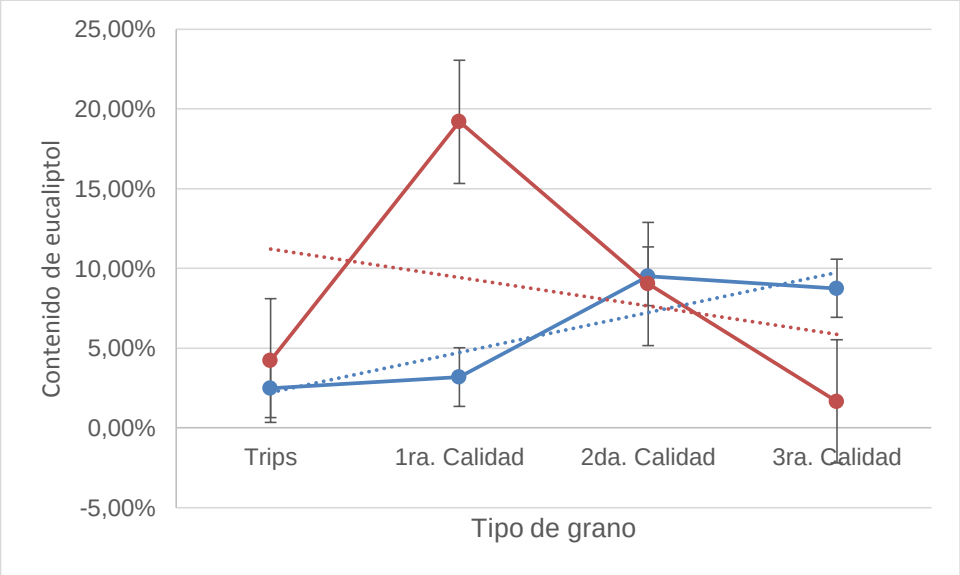
Fuente: elaboración propia, con base en la tabla XXX.

Tabla LI. **Modelo matemático para el porcentaje de rendimiento de la oleorresina de cardamomo en función del tipo de grano y solvente**

Color	Solvente	Modelo matemático	R^2
	Hexano	y = -0,0014x + 0,0603	0,1159
	Etanol	y = -0,0071x + 0,1195	0,6328

Fuente: elaboración propia, con base en la figura 8.

Figura 9. **Contenido de eucaliptol de la oleorresina de cardamomo en función del tipo de grano y solvente**



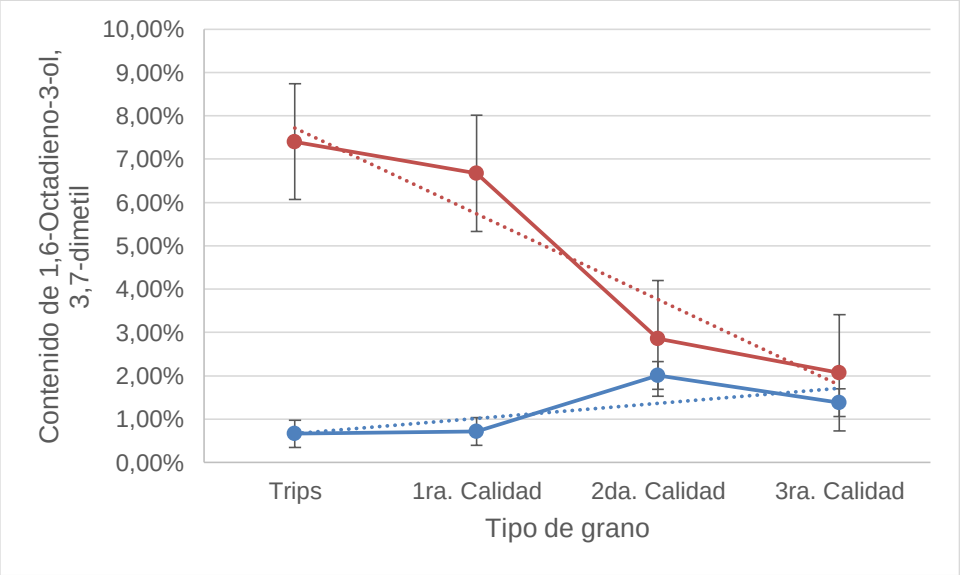
Fuente: elaboración propia, con base en la tabla XXXI.

Tabla LII. **Modelo matemático para el contenido de eucaliptol en función del tipo de grano y solvente**

Color	Solvente	Modelo matemático	R^2
	Hexano	y = -0,0179x + 0,13	0,0889
	Etanol	y = 0,0251x - 0,003	0,7861

Fuente: elaboración propia, con base en la figura 9.

Figura 10. **Contenido de 1,6-Octadieno-3-ol, 3,7-dimetil en función del tipo de grano y solvente**



Fuente: elaboración propia, con base en la tabla XXXII.

Tabla LIII. **Modelo matemático para el contenido de 1,6-Octadieno-3-ol, 3,7-dimetil de la oleorresina de cardamomo en función del tipo de grano y solvente**

Color	Solvente	Modelo matemático	R^2
	Hexano	y = -0,0198x + 0,097	0,9133
	Etanol	y = 0,0035x + 0,0033	0,4907

Fuente: elaboración propia, con base en la figura 10.

Tabla LIV. **Porcentaje de humedad de la materia prima**

Tipo	% Humedad
1ra. Calidad	13,24
2da. Calidad	9,78
3ra. Calidad	8,62
Trips	13,67

Fuente: Elaboración propia, datos originales

Tabla LV. **Índice de refracción de la oleorresina de cardamomo de primera, segunda, tercera calidad y cardamomo con trips**

Tipo de grano	Etanol al 95 %	Hexano
trips	1,4404	1,4546
1ra. Calidad	1,4726	1,4573
2da. Calidad	1,4681	1,4454
3ra. Calidad	1,4857	1,4551

Fuente: elaboración propia, con base en la recolección y ordenamiento de la información.

Tabla LVI. **Densidades de la oleorresina de cardamomo de primera, segunda, tercera calidad y cardamomo con trips**

Tipo de grano	Etanol (g/mL)	Hexano (g/mL)
trips	0,8911	0,9478
1ra. Calidad	0,8933	1,1178
2da. Calidad	0,8944	1,0167
3ra. Calidad	0,8944	1,0289

Fuente: elaboración propia, con base en la recolección y ordenamiento de la información.

Tabla LVII. **Resultados de cromatografía para oleorresina de cardamomo de 1ra. calidad extraída con etanol al 95 %**

Núm.	Núm. Pico	Tiempo de retención (min)	%	Compuesto
1	3	6,213	49,92 %	Alcohol etílico
2	4	8,695	13,85 %	Descartado
3	16	46,300	7,23 %	2 – Propano 1,3 - Dihidroxido
4	9	22,709	4,41 %	Ácido acético
5	15	32,837	3,29 %	Ciclohexano, 1 – metil – 4- (1 – metilo tilidieno)
6	13	28,699	2,88 %	Propilenglicol
7	5	13,618	2,48 %	Eucaliptol
8	6	16,946	2,27 %	2 – Propano, 1 - Hidroxilo
9	19	58,353	1,72 %	2-Furancarboxaldehido, 5-(hidroxi etilo)
10	10	24,855	1,63 %	Ácido fórmico
11	1	3,948	1,53 %	Descartado
12	17	48,851	1,31 %	2-Hidroxi-gamma-butirolactona

Fuente: elaboración propia, con base en la técnica cuantitativa de la investigación.

Tabla LVIII. **Resultados de cromatografía para oleorresina de cardamomo de 2da. calidad extraída con etanol al 95 %**

Núm.	Núm. Pico	Tiempo de retención (min)	%	Compuesto
1	2	6,208	59,768 %	Alcohol etílico
2	3	8,671	13,696 %	Descartado
3	12	32,839	3,567 %	4-Careno
4	4	13,621	3,185 %	Eucaliptol
5	7	22,750	2,962 %	Ácido acético
6	11	28,690	2,360 %	Propilenglicol
7	8	24,877	1,089 %	Ácido fórmico
8	1	3,940	0,921 %	Descartado
9	6	17,530	0,844 %	Acetaldehído, hidroxilo
10	5	16,941	0,730 %	2-Propano, 1-hidroxilo
11	9	26,842	0,707 %	1,6-Octadieno-3-ol, 3,7-dimetil
12	10	27,238	0,537 %	1,6-Octadieno-3-ol, 3,7-dimetil-, 2-aminobenzoato

Fuente: elaboración propia, con base en la técnica cuantitativa de la investigación.

Tabla LIX. **Resultados de cromatografía para oleorresina de cardamomo de 3ra. calidad extraída con etanol al 95 %**

Núm.	Núm. Pico	Tiempo de retención (min)	%	Compuesto
1	2	6,201	49,541	Alcohol etílico
2	12	32,918	16,68 %	4-Careno
3	4	13,632	9,51 %	Eucaliptol
4	3	8,584	6,40 %	Descartado
5	6	22,696	2,64 %	Ácido acético
6	15	46,264	2,54 %	2-Propanol, 1,3-dihidroxilo
7	10	28,698	2,11 %	Propilenglicol
8	9	27,252	2,01 %	1,6-Octadieno-3-ol, 3,7-dimetil-, 2-aminobenzoato
9	8	26,846	1,17 %	1,6-Octadieno-3-ol, 3,7-dimetil
10	13	38,197	1,10 %	2,6-Octadieno-1-ol, 3,7-dimetil
11	21	71,910	1,00 %	Acido n- hexanodecanoico

Fuente: elaboración propia, con base en la técnica cuantitativa de la investigación.

Tabla LX. **Resultados de cromatografía para oleorresina de cardamomo con trips extraída con etanol al 95 %**

Núm.	Núm. Pico	Tiempo de retención (min)	%	Compuesto
1	1	6,210	55,829 %	Alcohol etílico
2	7	32,905	25,27 %	4-Careno
3	3	13,653	8,750 %	Eucaliptol
4	2	8,415	3,430 %	Descartado
5	6	27,25	2,78 %	1,3,6-Octatrieno, 3,7-dimetil-,Z)
6	5	26,842	1,378 %	1,6-Octadien-3-ol, 3,7-dimetil
7	9	71,893	1,32 %	Acido n- hexanodecanoico
8	8	44,664	0,69 %	1,6,10-Dodecatrieno-3-ol, 3,7,11-trimetil
9	4	22,794	0,561 %	Ácido acético

Fuente: elaboración propia, con base en la técnica cuantitativa de la investigación.

Tabla LXI. **Resultados de cromatografía para oleorresina de cardamomo de 1ra. calidad extraída con hexano**

Núm.	Núm. Pico	Tiempo de retención (min)	%	Compuesto
1	19	33,048	38,83 %	Ciclohexano, 1-metil-4-(1-metilo tilideno)
2	11	13,736	19,19 %	Eucaliptol
3	1	4,122	13,68 %	Hexano
4	16	27,331	7,40 %	1,6-Octadieno-3-ol, 3,7-dimetil-, 2-aminobenzoato
5	2	4,306	5,89 %	Ciclopentano, metil
6	14	26,877	3,34 %	1,6-Octadieno-3-ol, 3,7-dimetil
7	8	10,519	1,52 %	beta.-Pelandremo Biciclo hex-2-ene, 4-metil
8	25	44,678	1,22 %	Nerolidol 2
9	24	38,201	1,13 %	2,6-Octadieno-1-ol, 3,7-dimetil
10	10	13,147	0,96 %	Biciclo hex-2-ene, 4-metil-1-(1-metiletilo)

Fuente: elaboración propia, con base en la técnica cuantitativa de la investigación.

Tabla LXII. **Resultados de cromatografía para oleorresina de cardamomo de 2da. calidad extraída con hexano**

Núm.	Núm. Pico	Tiempo de retención (min)	%	Compuesto
1	15	33,039	44,226 %	4-Careno
2	1	4,12	18,83 %	Hexano
3	2	4,305	9,25 %	Ciclopentano, metilo
4	11	27,313	6,667 %	1,6-Octadieno-3-ol, 3,7-dimetil-, 2-aminobenzoato
5	6	13,652	4,23 %	Eucaliptol
6	12	28,734	3,084 %	Propilenglicol
7	9	26,872	2,66 %	1,6-Octadieno-3-ol, 3,7-dimetil
8	21	44,685	1,945 %	1,6,10-Dodecatrieno-3-ol, 3,7,11-trimetil
9	20	38,202	1,346 %	2,6-Octadieno-1-ol, 3,7-dimetil
10	29	71,923	1,164 %	Acido n-Hexadecanoico

Fuente: elaboración propia, con base en la técnica cuantitativa de la investigación.

Tabla LXIII. **Resultados de cromatografía para oleorresina de cardamomo de 3ra. calidad extraída con hexano**

Núm.	Núm. Pico	Tiempo de retención (min)	%	Compuesto
1	16	33,015	46,42 %	4-Careno
2	1	4,133	16,05 %	Hexano
3	9	13,682	9,03 %	Eucaliptol
4	2	4,318	7,17 %	Ciclopentano, metil
5	14	27,302	6,42 %	1,6-Octadieno-3-ol, 3,7-dimetil-, 2-aminobenzoato
6	12	26,864	2,86 %	1,6-Octadieno-3-ol, 3,7-dimetil
7	25	71,931	1,78 %	Acido n-Hexadecanoico
8	21	44,679	1,62 %	1,6,10-Dodecatrieno-3-ol, 3,7,11-trimetil
9	6	8,284	1,29 %	Tolueno
10	20	38,195	0,88 %	Geraniol éter vinilo

Fuente: elaboración propia, con base en la técnica cuantitativa de la investigación.

Tabla LXIV. **Resultados de cromatografía para oleorresina de cardamomo con trips extraída con hexano**

Núm.	Núm. Pico	Tiempo de retención (min)	%	Compuesto
1	15	33,084	55,355 %	4-Careno
2	2	4,127	16,454 %	Hexano
3	3	4,313	7,579 %	Ciclopentano, metilo
4	12	27,312	5,674 %	1,5-Dimetil-1-vinil-4-hexenilo butirato
5	10	26,866	2,071 %	1,6-Octadieno-3-ol, 3,7-dimetil
6	21	44,686	1,715 %	1,6,10-Dodecatrieno-3-ol, 3,7,11-trimetil
7	30	71,941	1,683 %	Acido n-Hexadecanoico
8	7	13,643	1,658 %	Eucaliptol
9	27	59,038	0,943 %	Acido 9- octadecenoico
10	29	65,547	0,663 %	Benzeno, 3-[3-iodo-2-(iodometil)-2-metilpropil]-1,2,4,5-tetrametil

Fuente: elaboración propia, con base en la técnica cuantitativa de la investigación.

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En el presente trabajo de graduación se tuvo como objetivo principal la evaluación comparativa de la oleorresina de cardamomo obtenida a nivel laboratorio utilizando materia prima sana y materia prima infestada con trips en función de la calidad y el rendimiento.

Previo al proceso de extracción del cardamomo se preparó mediante la reducción del tamaño, y se utilizó un molino de nixtamal proporcionado por el propietario de un molino de masa ubicado en Villa Nueva. Según especificaciones del equipo, el grano llegó a un tamaño de partícula de aproximadamente 0,1 mm, el grano procesado se pasó por un tamiz para homogenizar el tamaño a 0,1 mm o menor.

La disminución del tamaño de partícula hasta 0,1 mm facilitó la interacción sólida – líquido, porque se aumentó el área superficial de contacto del grano con el solvente, favoreciendo la solvatación durante el proceso de maceración.

El porcentaje de agua fue obtenido utilizando una balanza de humedad, ubicada en el Laboratorio de Productos Naturales de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Se realizó una corrida por cada una de las calidades, obteniendo valores por debajo del 15 %, el cual es el límite máximo permitido para granos secos, debido a que una humedad mayor propiciaría la generación de microorganismos que degradan las propiedades del grano.

El tiempo de extracción fue definido mediante pruebas preliminares sometidas a las mismas condiciones establecidas, obteniendo los mismos resultados de rendimiento para 3,0, 3,5 y 4,0 horas de extracción, por lo que se estableció que el tiempo óptimo es de 3,0 horas. Todas las pruebas fueron realizadas utilizando una velocidad de rotación de 50 rpm.

Al finalizar la extracción se realizó la recuperación de la oleorresina por medio de la rota evaporación del solvente, la cual consiste en la eliminación de este, mediante la disminución de la presión de vapor y aumentando la temperatura del medio, lo cual facilita la evaporación del solvente y quedando únicamente la oleorresina.

El rendimiento más alto obtenido de la oleorresina de cardamomo se obtuvo utilizando etanol al 95 % como solvente en una relación de 1:8 masa – volumen con respecto al grano, esto se debe a que este solvente utilizados es un compuesto orgánico por lo que tiene mayor afinidad con los compuestos orgánicos del cardamomo.

El porcentaje de rendimiento utilizando el solvente etanol al 95 %, puede observarse en la tabla XXX, en donde detallan las extracciones de grano infestado con trips, primera, segunda y tercera calidad respectivamente, a cada tipo de grano se le realizaron tres corridas bajo las mismas condiciones ambientales.

El mayor rendimiento obtenido utilizando etanol al 95 % como solvente fue con el grano de primera calidad con un valor de 11,34 %, y el menor valor se obtuvo del grano de tercera calidad 8,61 %. Estos datos se analizaron y compararon estadísticamente en donde se evidencio una diferencia significativa en los rendimientos extractivos entre cada tipo de grano para este solvente.

El porcentaje de rendimiento utilizando hexano como solvente, puede observarse en la tabla XXX, en donde se detallan las extracciones de grano infestado con trips, primera, segunda y tercera calidad respectivamente a cada tipo se le realizó tres corridas bajo las mismas condiciones ambientales.

El mayor rendimiento obtenido utilizando hexano como solvente fue con el grano de primera calidad con un valor de 6,36 %, y el menor valor se obtuvo del grano de tercera calidad 5,14 %. Estos datos se analizaron y compararon estadísticamente en donde se evidencia una diferencia significativa en los rendimientos extractivos entre cada tipo de grano para este solvente. Sin embargo, todos los rendimientos obtenidos posterior a la extracción y utilizando ambos solventes son mayores al rendimiento teórico para granos secos (mayor a 5,00 %).

Se evaluaron cuatro tipos de cardamomo, de primera, segunda, tercera calidad y cardamomo infestado con trips, el tipo de cardamomo que obtuvo menor rendimiento fue el de tercera calidad, es el que se vende a un precio más bajo por ser de tamaño pequeño y con apariencia corrugada.

La oleorresina obtenida del cardamomo infestado con trips tuvo un rendimiento parecido a la oleorresina obtenida del cardamomo de primera calidad, esto se debe a que el cardamomo infestado con trips no se separa por “calidades” como se hace con la materia prima sana, y el mayor porcentaje de sus granos son de primera y segunda calidad.

La diferencia que existe en los rendimientos de cada tipo de grano se ve planteada en la hipótesis alternativa, esta dice que el rendimiento del cardamomo infestado con trips es distinto y menor que el cardamomo sano. Esta hipótesis se cumple para el cardamomo de primera calidad, porque el

porcentaje de rendimiento del recuperado de oleorresina del cardamomo infestado con trips es menor, pero no se cumple para el cardamomo de tercera calidad, y el rendimiento para esta calidad fue menor al rendimiento de la oleorresina de cardamomo infestada con trips.

En las tablas XXXIII a la XXXVII se encuentra el análisis estadístico correspondiente a las variables solvente y tipo de grano, en la tabla XXXV se muestra la comparación de medias entre calidades para rendimiento y en la tabla XXXVII la comparación de medias entre solvente y rendimiento en las cuales se evaluó la diferencia significativa entre solventes y tipo de grano utilizado.

Al realizar la comparación de medias con un porcentaje de confianza del 95 % se determinó que sí existe diferencia significativa entre utilizar etanol o hexano como solvente. Además, sí existe diferencia significativa si se extrae la oleorresina del grano de primera, segunda, tercera calidad y cardamomo infestado con trips.

La diferencia de rendimientos al utilizar un solvente u otro se debe a la polaridad de estos con respecto al soluto, el etanol tiene mayor afinidad con el cardamomo que el hexano, lo que facilitó la difusión del soluto hacia el solvente logrando un mayor porcentaje de recuperación de oleorresina.

Se midieron dos propiedades físicas a las oleorresinas obtenidas, la densidad y el índice de refracción, con el fin de verificar la pureza del recuperado de oleorresina de cardamomo, y así determinar si tiene características del grano y no de las trazas de los solventes utilizados para la extracción.

En la tabla LV se reportan los valores obtenidos para índice de refracción para etanol y hexano respectivamente, los cuales se compararon estadísticamente mediante una comparación de medias con un porcentaje de confianza del 95 %. En la tabla XL en donde se detalla la calidad en función del índice de refracción y en la tabla XLI se detalla el solvente en función del índice de refracción, en donde se determina que no existe diferencia significativa para estos valores, los mismos son reproducibles y repetibles.

Al no tener diferencia significativa en los resultados de índice de refracción obtenidos de las oleorresinas extraídas utilizando tanto etanol al 95 % como hexano, demuestra que el proceso de rota-evaporación, cuyo fin era la eliminación de solventes ajenos a la oleorresina siendo este efectivo, porque el parámetro físico indica la pureza del material y la ausencia de trazas de solvente en el recuperado.

La densidad de las oleorresinas de cardamomo fue obtenida mediante una relación masa – volumen, la cual consiste en colocar una cantidad de muestra aforada a un volumen conocido, y obtener la masa mediante la tara del recipiente que lo contiene, para este caso se usó una probeta volumétrica, estas mediciones también se realizaron por triplicado.

En la tabla LVI se reportan los valores obtenidos para densidad de la oleorresina de cardamomo para diferentes calidades utilizando etanol al 95 % y hexano como solvente, los cuales se compararon estadísticamente mediante la prueba de Tukey con un porcentaje de confianza del 95 %, los cuales se muestran en las tablas XLIII a la XLVII. En la tabla XLVI se muestra la comparación de las densidades entre solventes, en la cual se determinó que existe diferencia significativa entre usar etanol o hexano como solvente.

En la tabla XLVII se muestra la comparación de medias entre el tipo de grano y el solvente en las filas II, III, IV y V, esta tabla muestra que existe diferencia significativa en la densidad de la oleorresina de cardamomo infestado con trips, de primera, segunda y tercera calidad, utilizando hexano como solvente, por otro lado, en las filas VI, VII, VIII y IX se observa que utilizando etanol como solvente no existe diferencia significativa entre los valores de densidad.

El hecho que no exista diferencia significativa en los resultados obtenidos de la medición de densidad en la oleorresina extraída con etanol al 95 %, y si exista diferencia significativa en las oleorresinas extraídas con hexano. Esto puede acreditarse a variaciones en la concentración de la oleorresina, debido a que el vapor de hexano recuperado podría llevar trazas de oleorresina y viceversa, dado a que el hexano es un solvente más volátil que el etanol al 95 %, lo que conllevo un proceso de rota-evaporación más cuidadoso.

Los metabolitos primarios son los compuestos que intervienen en forma directa con la supervivencia, el crecimiento y la reproducción y los metabolitos secundarios son compuestos propios de cada sustancia, los cuales también caracterizan el sabor y el olor, se obtienen por medio de una hidrodestilación a partir de un material vegetal.

A cada una de las oleorresinas de cardamomo se les realizó un análisis cromatografía de gases con acoplamiento a espectrometría de masas, para identificar y cuantificar cada uno de los metabolitos secundarios obtenidos en las muestras.

Los componentes representativos de la oleorresina obtenida fueron el eucaliptol y el 1,6 – octadieno – 3 – ol, 3,7 – dimetil, que se muestran en mayor

porcentaje para cada uno de los análisis cromatográficos realizados a las muestras. En el apéndice se muestran los cromatogramas, cada uno con su identificación de picos más probables.

La diferencia en la calidad de la oleorresina se nota en los metabolitos secundarios obtenidos en mayor proporción, porque en la oleorresina de primera y segunda calidad se contienen en mayor proporción y en el cardamomo de tercera calidad y el infestado con trips, se contienen en menor proporción.

En la tabla XLVII se muestran los porcentajes de eucaliptol obtenidos para los cuatro diferentes granos, utilizando etanol como solvente y también se muestran los porcentajes de eucaliptol obtenidos para los cuatro granos, utilizando hexano como solvente. El valor de eucaliptol más alto se obtuvo para el grano de primera calidad extraído con hexano con un porcentaje de 19,19 % y el valor más bajo se obtuvo para el cardamomo infestado con trips y extraído con hexano con un porcentaje de 1,65 %.

Los porcentajes de componentes orgánicos mayoritarios obtenidos en la extracción de las oleorresinas de diferentes calidades y utilizando diferentes solventes, en donde se observa que los porcentajes más altos se obtuvieron utilizando hexano como solvente y se determinó que el tipo de grano utilizado si influye en la recuperación de metabolitos secundarios.

Al comparar los resultados de eucaliptol obtenidos se determinó una diferencia significativa entre utilizar etanol al 95 % y hexano como solvente, porque los más altos porcentajes se obtuvieron utilizando hexano, determinando la mejor calidad extractiva para la oleorresina obtenida del cardamomo de primera calidad extraída con hexano.

CONCLUSIONES

1. Combinar el grano de tercera calidad de cardamomo con el grano infestado con trips, con el fin de aprovechar el rendimiento generado por la materia prima contaminada, que es una combinación de varias calidades, y así formar un equilibrio de metabolitos secundarios aportados por la materia prima sana.

2. El porcentaje de rendimiento de la oleorresina de cardamomo se ve afectado por el solvente utilizado, estadísticamente existe diferencia significativa en el rendimiento en función del solvente utilizado en la extracción. Esto se debe a que el etanol tiene mayor afinidad con el cardamomo que el hexano, lo que permitió mayor solvatación entre ambos componentes en la extracción y favorecer el rendimiento.

3. El mayor rendimiento extractivo fue de 11,34 % obtenido a partir de cardamomo de primera calidad utilizando etanol al 95 % como solvente, y es un rendimiento aceptable para granos de acuerdo a la especificación (mayor a 5 %).

4. El mayor contenido de eucaliptol se obtuvo de la oleorresina de cardamomo de primera calidad extraída con hexano con un valor de 19,19 %, este metabolito secundario fue el componente mayoritario presente en todas las oleorresinas.

5. Existe diferencia en el porcentaje recuperado de los metabolitos secundarios en función de la materia prima utilizada, porque el porcentaje más alto de eucaliptol se obtuvo del cardamomo de primera calidad con un porcentaje de 19,19 % y el más bajo se obtuvo del cardamomo infestado con trips con un porcentaje de 2,48 %, lo que demuestra que la plaga si está afectando la calidad de los subproductos del cardamomo.

6. No existe diferencia significativa para los valores obtenidos de índice de refracción para la oleorresina en función del grano y el solvente utilizado, lo que demuestra que el proceso de rota-evaporación fue efectivo, y la medición no se vio afectada por trazas de solvente en la oleorresina, dado que el porcentaje de trazas es menor a 1,0 %.

7. Existe diferencia significativa en los resultados de densidad obtenidos de la oleorresina de cardamomo en base al solvente utilizado para la extracción, pero no existe diferencia para la densidad en función del grano utilizado, esto se debe a que el proceso de rota-evaporación es un proceso en el que, el objetivo es la eliminación de solventes, y el hexano al ser un solvente con alta volatilidad a condiciones ambientales, se llevó arrastrado ciertos componentes de la oleorresina afectando la concentración de la oleorresina.

8. Se acepta la hipótesis nula, ya que estadísticamente no existe diferencia significativa en el rendimiento porcentual de la oleorresina de cardamomo extraída en función la materia prima utilizada.

RECOMENDACIONES

1. Realizar un estudio con enfoque a los efectos que tiene la plaga sobre la naturaleza del grano a nivel molecular.

2. Realizar un estudio económico para evaluar a viabilidad de la venta de la oleorresina de cardamomo en cualquiera de sus calidades para obviar el rendimiento del grano.

3. Evaluar el efecto de la temperatura en el método de maceración dinámica utilizando diferentes solventes para definir la metodología que obtiene mejores porcentajes de extracción.

4. Evaluar la factibilidad de uso de oleorresina de cardamomo como materia prima en productos donde se requieran sus propiedades.

BIBLIOGRAFÍA

1. AMEZQUITA ROBLEDO, Miguel Obdulio. *Técnicas de producción utilizados en el cultivo del cardamomo según tamaño de explotación agrícola en Alta Verapaz.* Trabajo de graduación de Agronomía. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 1978. 78 p.

2. DEULEFEU GABRIEL, Nora Matilde. *Determinación del rendimiento de la oleorresina de tres distintas clases de cardamomo cultivado en Alta Verapaz extraída por maceración dinámica y dos solventes distintos a nivel laboratorio.* Trabajo de graduación de Ing. Química. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2006. 82 p.

3. GALVEZ GARCÍA, Jorge Mario. *Evaluación del rendimiento extractivo y caracterización del absoluto de cardamomo (Elettaria cardamomum, L. Maton) obtenido de la oleorresina de cardamomo de primera, segunda y tercera calidad a nivel laboratorio y planta piloto y su aplicación en un producto de perfumería.* Trabajo de graduación de Ing. Química. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2015. 124 p.

4. GEANKOPLIS, Christie. *Procesos de transporte y operaciones*. 3a. ed. México: CECSA, 1998. 1 008 p.

5. HERNÁNDEZ SAMPIERI, Roberto. *Metodología de investigación.* México: McGraw-Hill, 1998. 497 p.

6. MALDONADO SUAREZ, Verónica. *Comparación del rendimiento en la extracción de aceite esencial de cuatro tipos de semillas de cardamomo utilizando el método de destilación por arrastre de vapor.* Trabajo de graduación de Ing. Química. Facultad de ingeniería, Universidad Rafael Landivar, 2009. 112 p.

7. MARCILLA GOMIS, A. *Introducción a las operaciones de separación de contacto continuo*. Universidad de Alicante. España: Espagrafic, 1999. 391 p.

8. MCCABE, Warren; SMITH, Julian; HARRIOTT, Peter. *Operaciones unitarias en ingeniería química.* 7a ed. México: McGraw-Hill, 2011. 1 189 p.

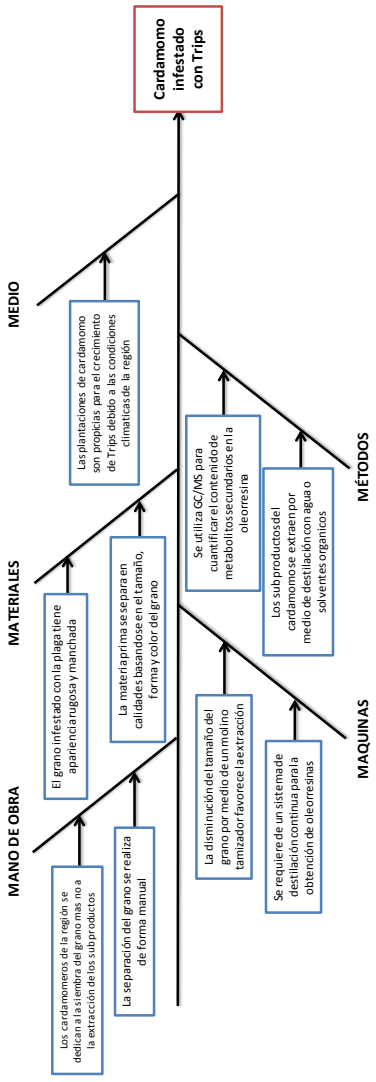
9. REYES BARRERA, Ruth Emilsa. (1996). *Extracción del aceite esencial de la semilla de ambrete por medio de éter etílico variando el tiempo de agitación y la cantidad de semilla molida a un volumen constante de 100 mL.* Trabajo de graduación de Ing. Facultad de Ingeniería, Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, 1996. 40 p.

10. SOBERANIS, Adrian. *Evaluación de propiedades fisicoquímicas de la oleorresina de cardamomo (elletteria cardamomum, l. Matton) obtenida a nivel laboratorio utilizando dos métodos de lixiviación a tres diferentes temperaturas.* Trabajo de graduación de Ing.

Química. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2008. 166 p.

APÉNDICES

Apéndice 1. **Diagrama Ishikawa**



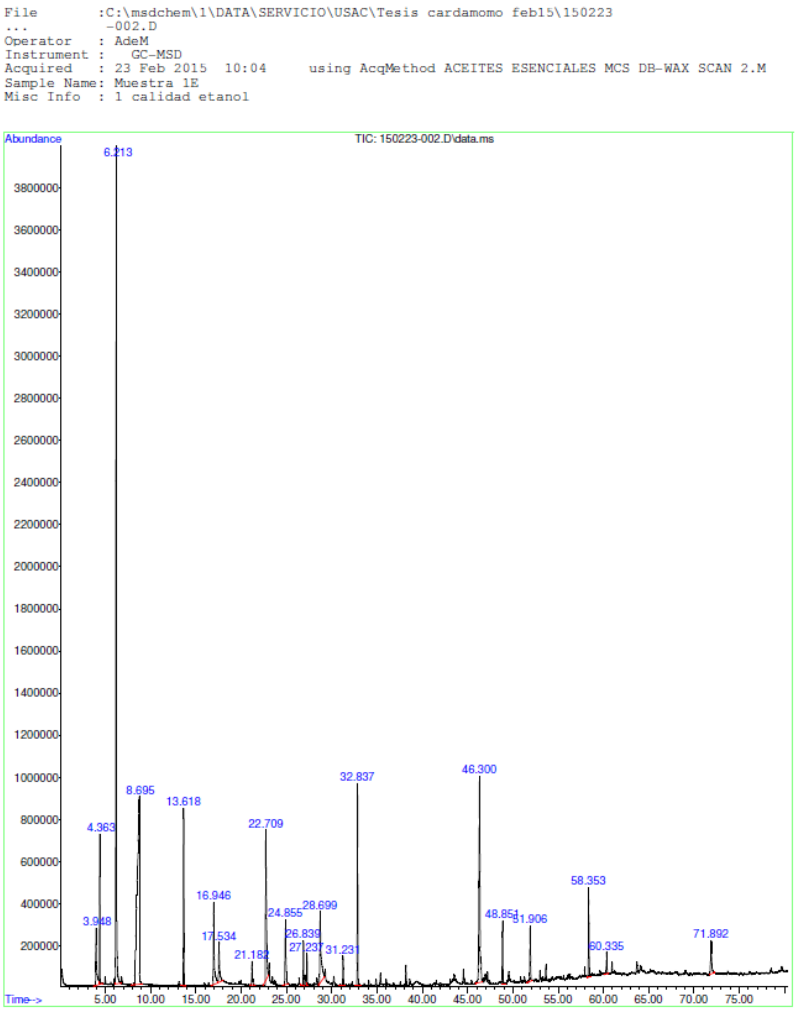
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. **Extracción de la oleorresina de cardamomo de primera, segunda, tercera calidad y cardamomo con trips utilizando etanol al 95 % y hexano como solventes**

Fuente: elaboración propia.

ANEXOS

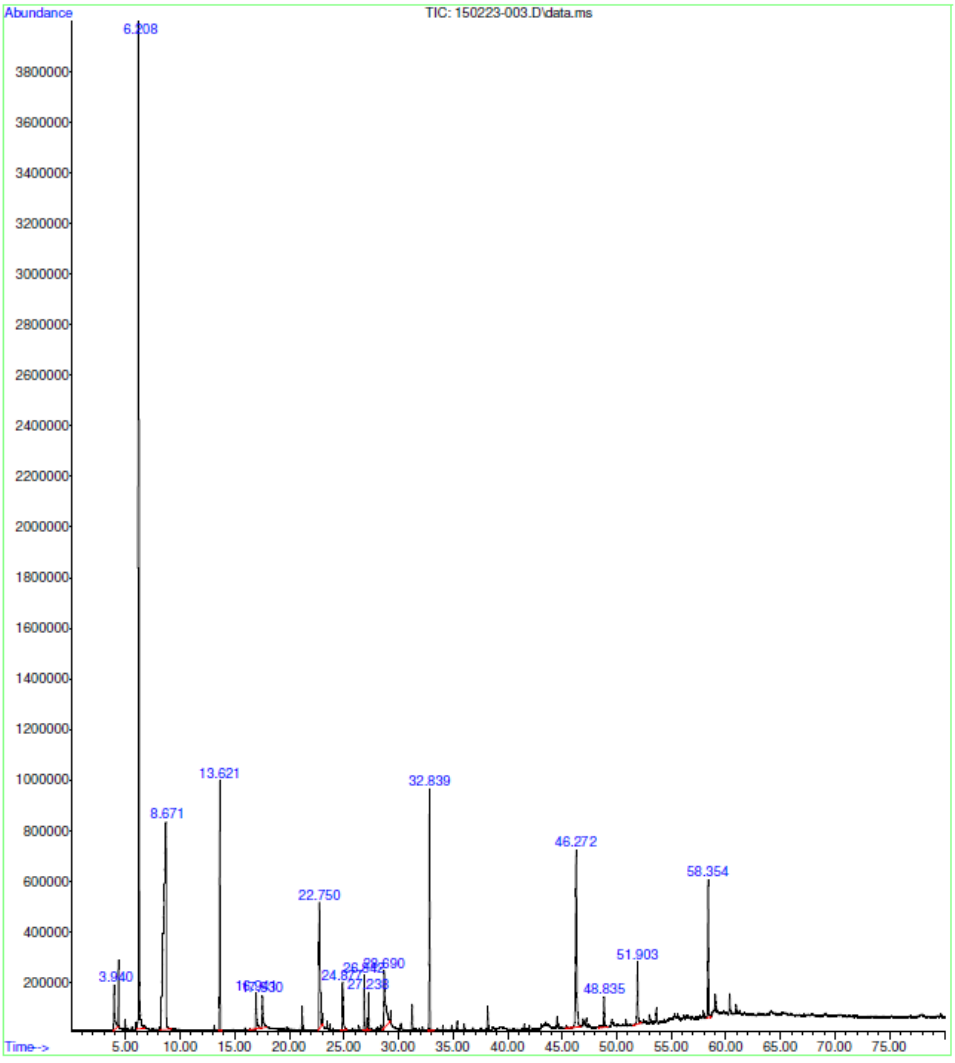
Anexo 1. **Cromatograma de la oleorresina de cardamomo de primera calidad extraída con etanol**



Fuente: Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, Universidad del Valle de Guatemala.

Anexo 2. **Cromatograma de la oleorresina de cardamomo de segunda calidad extraída con etanol**

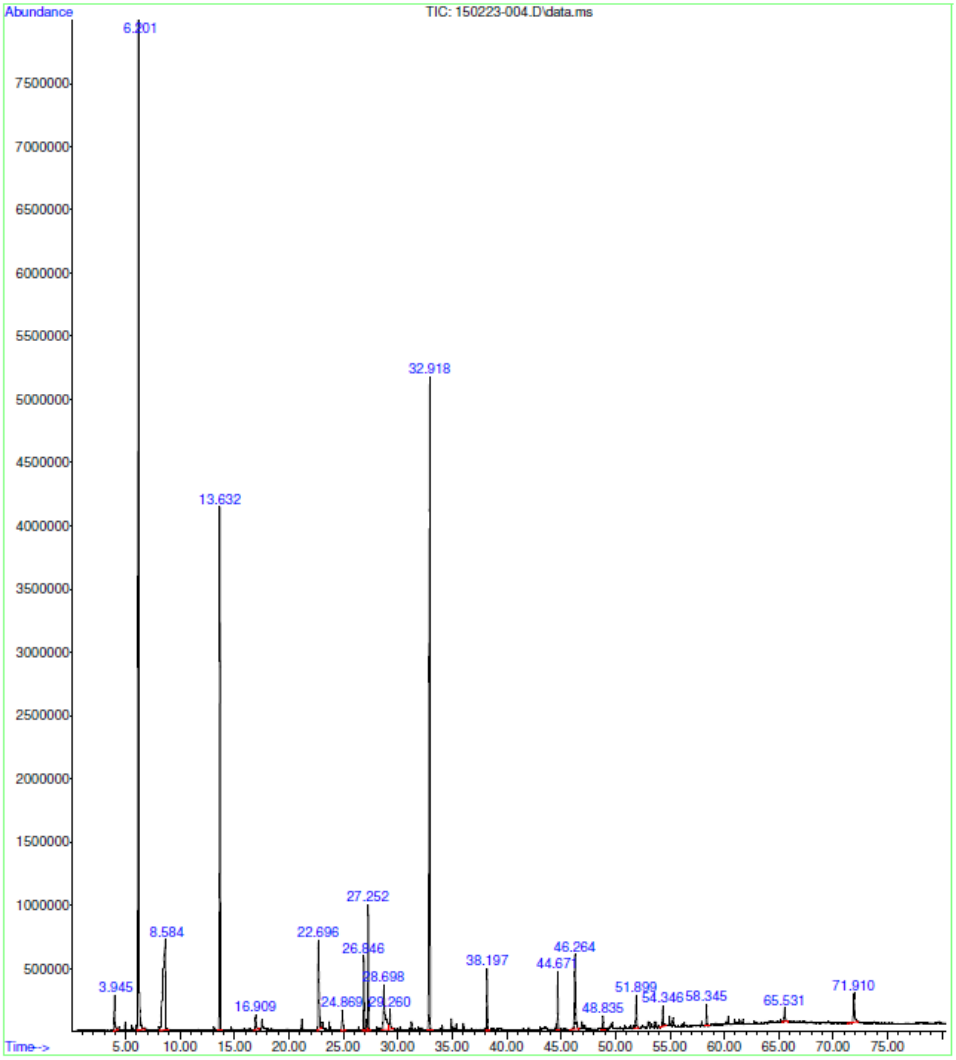
```
File       :C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\USAC\Tesis cardamomo feb15\150223
...         -003.D
Operator   : AdeM
Instrument :   GC-MSD
Acquired   : 23 Feb 2015  11:33     using AcqMethod ACEITES ESENCIALES MCS DB-WAX SCAN 2.M
Sample Name: Muestra 2E
Misc Info  : 2 calidad etanol
```



Fuente: Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, Universidad del Valle de Guatemala.

Anexo 3. **Cromatograma de la oleorresina de cardamomo de tercera calidad extraída con etanol**

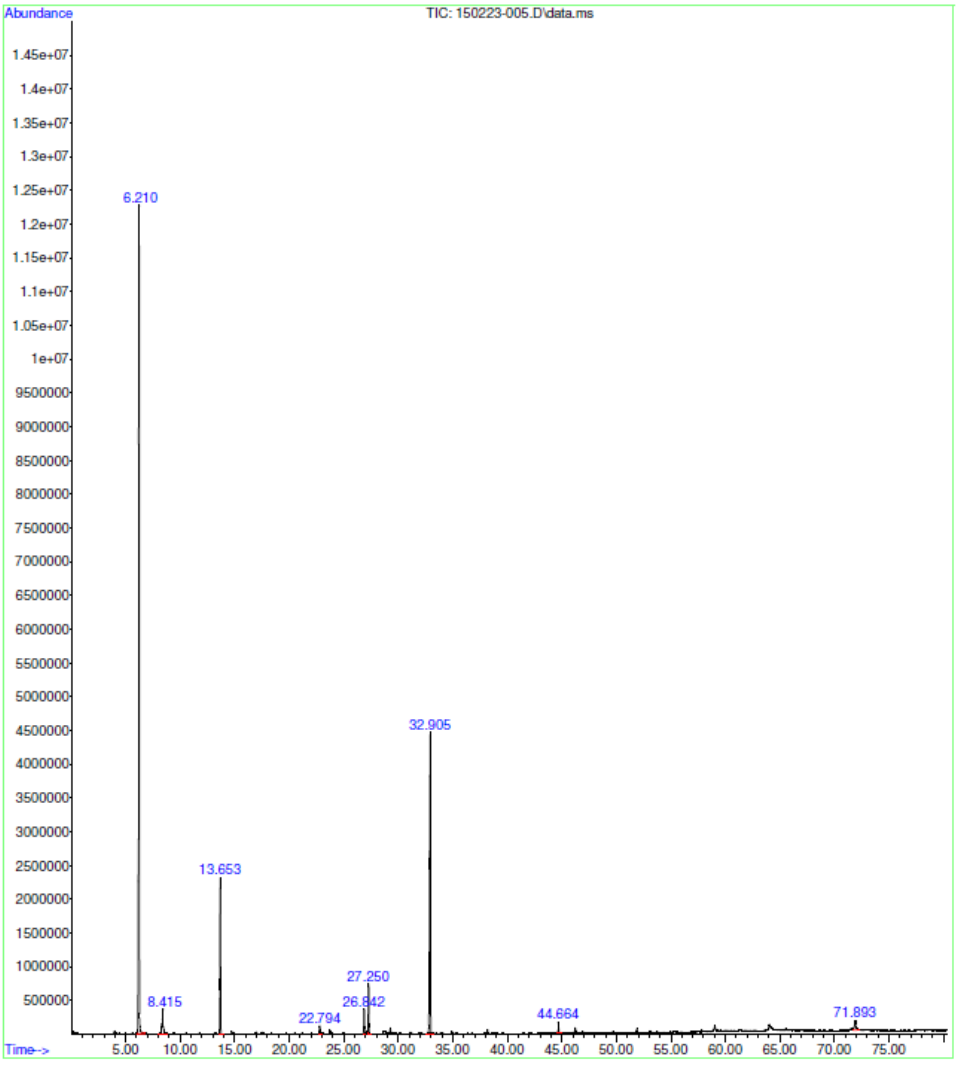
```
File       :C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\USAC\Tesis cardamomo feb15\150223
...         -004.D
Operator   : AdeM
Instrument :   GC-MSD
Acquired   : 23 Feb 2015  13:00     using AcqMethod ACEITES ESENCIALES MCS DB-WAX SCAN 2.M
Sample Name: Muestra 3E
Misc Info  : 3 calidad etanol
```



Fuente: Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, Universidad del Valle de Guatemala.

Anexo 4. **Cromatograma de la oleorresina de cardamomo infestado con trips extraída con etanol**

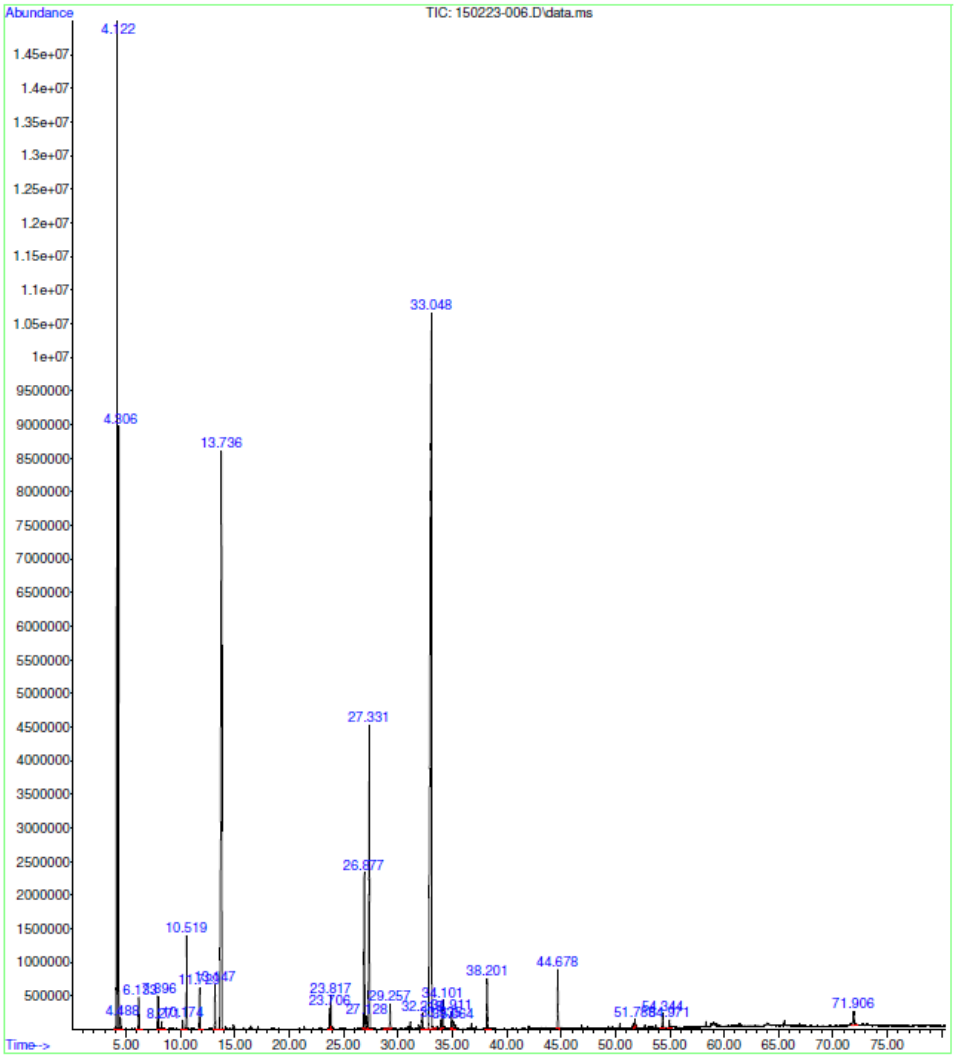
```
File       :C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\USAC\Tesis cardamomo feb15\150223
...         -005.D
Operator   : AdeM
Instrument :   GC-MSD
Acquired   : 24 Feb 2015   8:56     using AcqMethod ACEITES ESENCIALES MCS DB-WAX SCAN 2.M
Sample Name: Muestra TE
Misc Info  :  Trips etanol
```



Fuente: Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, Universidad del Valle de Guatemala.

Anexo 5. **Cromatograma de la oleorresina de cardamomo de primera calidad extraída con hexano**

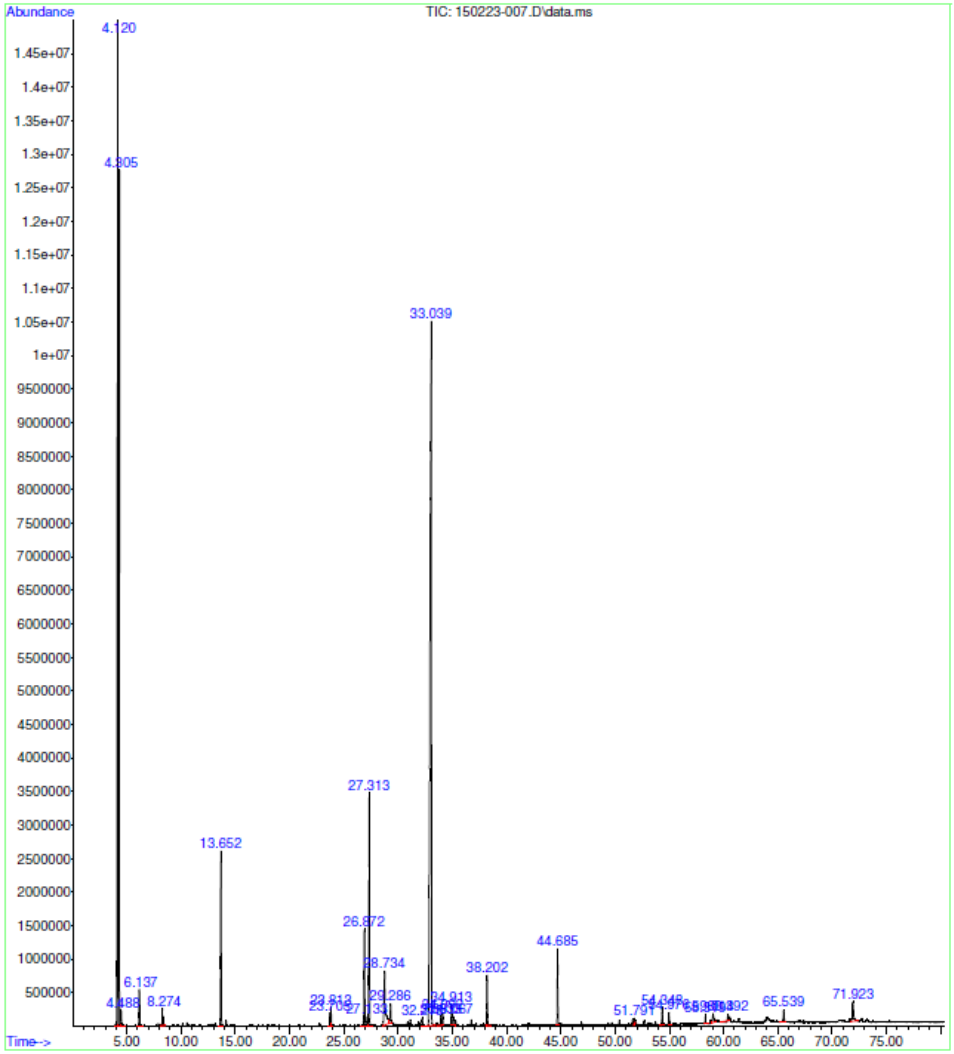
```
File       :C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\USAC\Tesis cardamomo feb15\150223
...         -006.D
Operator   : AdeM
Instrument :   GC-MSD
Acquired   : 24 Feb 2015  10:23     using AcqMethod ACEITES ESENCIALES MCS DB-WAX SCAN 2 SOLV B.
Sample Name: Muestra 1H
Misc Info  : 1 calidad Hexano
```



Fuente: Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, Universidad del Valle de Guatemala.

Anexo 6. **Cromatograma de la oleorresina de cardamomo de segunda calidad extraída con hexano**

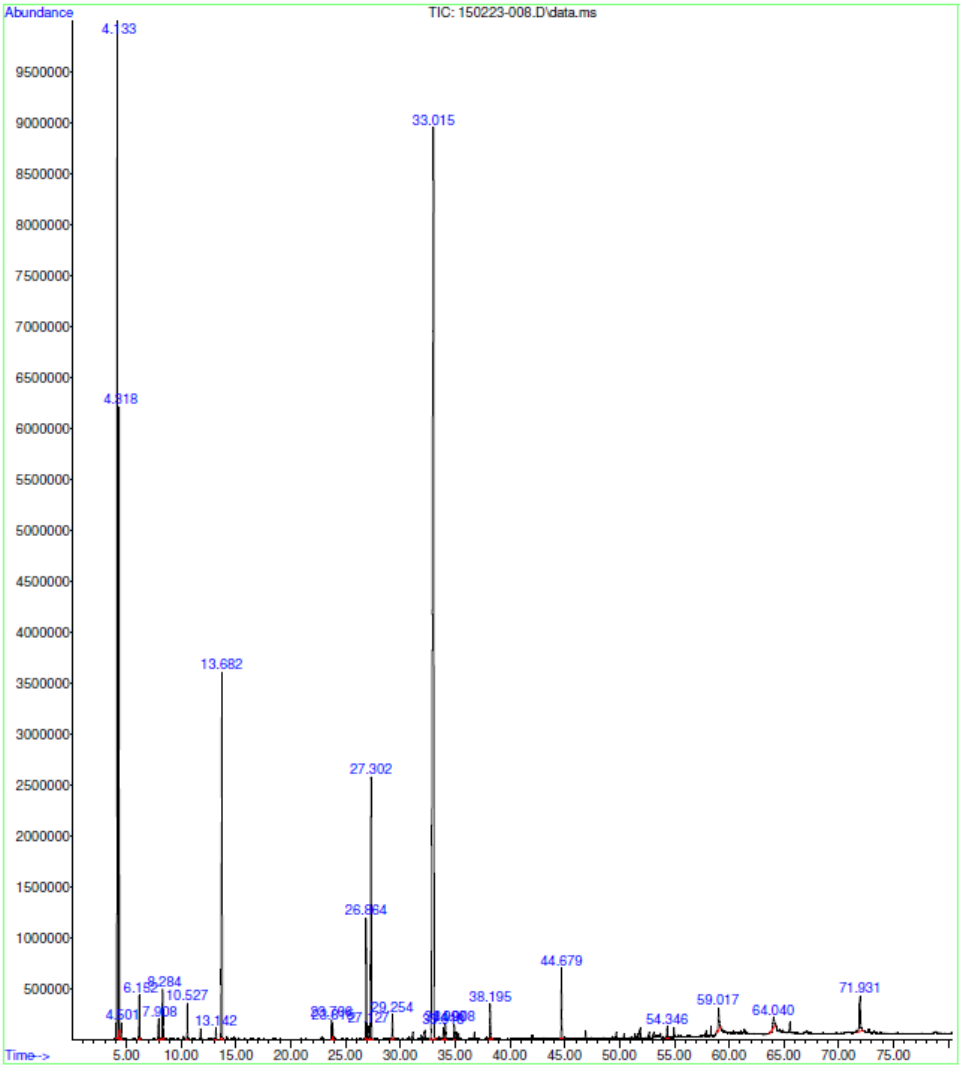
```
File       :C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\USAC\Tesis cardamomo feb15\150223
...         -007.D
Operator   : AdeM
Instrument :   GC-MSD
Acquired   : 24 Feb 2015  11:51     using AcqMethod ACEITES ESENCIALES MCS DB-WAX SCAN 2 SOLV B
Sample Name: Muestra 2H
Misc Info  : 2 calidad Hexano
```



Fuente: Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, Universidad del Valle de Guatemala.

Anexo 7. **Cromatograma de la oleorresina de cardamomo de tercera calidad extraída con hexano**

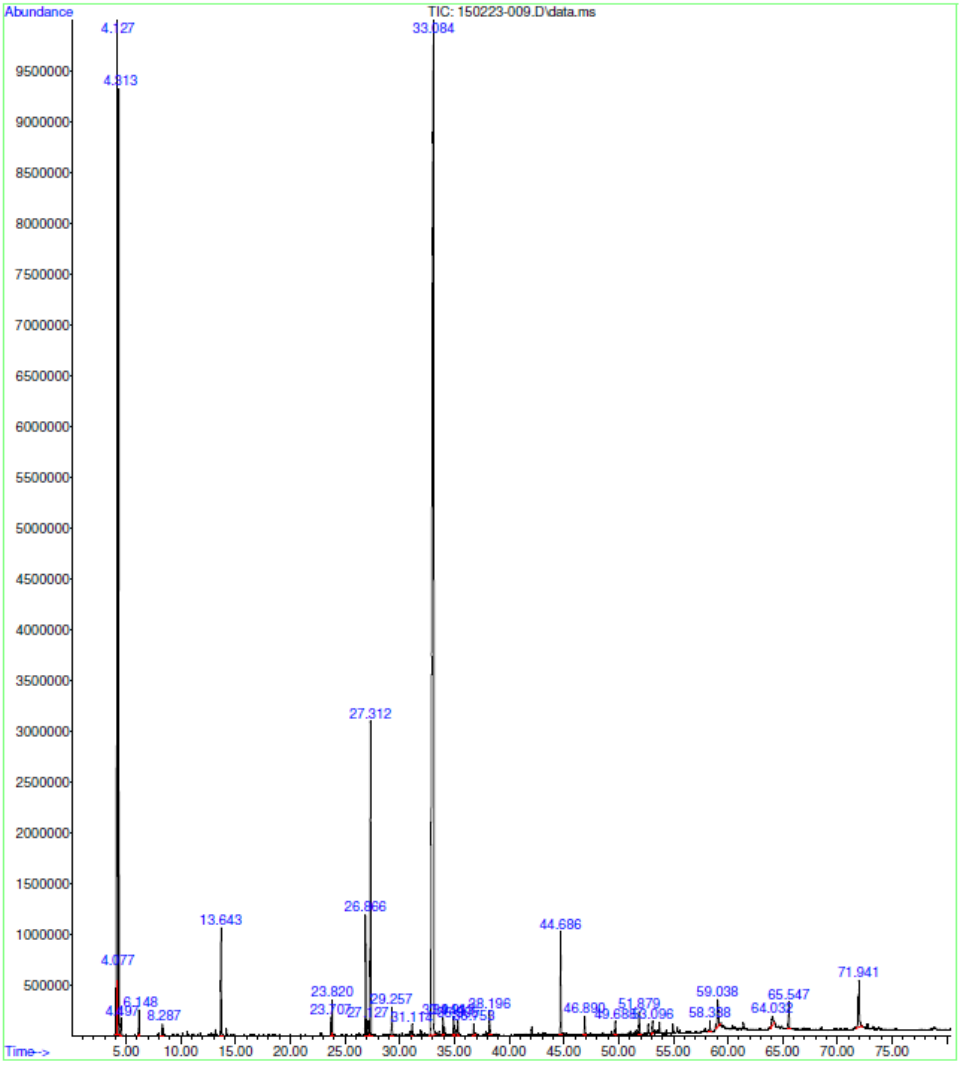
```
File       :C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\USAC\Tesis cardamomo feb15\150223
...         -008.D
Operator   : AdeM
Instrument :   GC-MSD
Acquired   : 24 Feb 2015  13:22     using AcqMethod ACEITES ESENCIALES MCS DB-WAX SCAN 2 SOLV B.
Sample Name: Muestra 3H
Misc Info  : 3 calidad Hexano
```



Fuente: Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, Universidad del Valle de Guatemala.

Anexo 8. **Cromatograma de la oleorresina de cardamomo infestado con trips extraída con hexano**

```
File       :C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\USAC\Tesis cardamomo feb15\150223
...         -009.D
Operator   : AdeM
Instrument :   GC-MSD
Acquired   : 24 Feb 2015  14:52     using AcqMethod ACEITES ESENCIALES MCS DB-WAX SCAN 2 SOLV B.
Sample Name: Muestra TH
Misc Info  : Trips Hexano
```



Fuente: Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, Universidad del Valle de Guatemala.

Anexo 9. **Búsqueda del componente químico más probable en cada pico del cromatograma de la oleorresina obtenida a partir del cardamomo de primera calidad extraída con etanol**

LIQA Area Percent Report

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\USAC\Tesis cardamomo feb15\
Data File : 150223-002.D
Acq On : 23 Feb 2015 10:04
Operator : AdeM
Sample : Muestra 1E
Misc : 1 calidad etanol
ALS Vial : 1 Sample Multiplier: 1

Integration Parameters: levadura1.e
Integrator: ChemStation

Method : C:\msdchem\1\METHODS\ACIDOS GRASOS DBWAX SCAN BIO.M
Title :

Signal : TIC: 150223-002.D\data.ms

peak #	R.T. min	first scan	max scan	last scan	PK TY	peak height	corr. area	corr. % max.	% of total
1	3.948	794	849	930	BV	263386	16063334	3.07%	1.531%
2	4.363	930	940	1007	VB	645932	11900621	2.27%	1.134%
3	6.213	1310	1347	1459	VB	11969234	523712399	100.00%	49.922%
4	8.695	1709	1892	1975	BB	855003	145243723	27.73%	13.845%
5	13.618	2910	2975	3023	BB 3	817625	26035148	4.97%	2.482%
6	16.946	3645	3706	3802	BV 2	386623	23802616	4.54%	2.269%
7	17.534	3802	3835	3928	VB	187655	13487475	2.58%	1.286%
8	21.182	4584	4637	4710	BB 3	111444	5398272	1.03%	0.515%
9	22.709	4910	4973	5035	BV 2	692695	46298508	8.84%	4.413%
10	24.855	5375	5445	5515	BB 2	303028	17138842	3.27%	1.634%
11	26.839	5828	5881	5908	BV 3	209796	6895947	1.32%	0.657%
12	27.237	5954	5969	6004	VB 2	145854	5069561	0.97%	0.483%
13	28.699	6250	6290	6399	BV 2	337265	30197649	5.77%	2.879%
14	31.231	6729	6847	6899	BV 2	138125	5867356	1.12%	0.559%
15	32.837	7125	7200	7272	BB	941673	34514900	6.59%	3.290%
16	46.300	10063	10160	10227	BV 3	974502	75801699	14.47%	7.226%
17	48.851	10689	10721	10792	VB 3	301697	13696925	2.62%	1.306%
18	51.906	11317	11392	11437	BB 3	263696	12565347	2.40%	1.198%
19	58.353	12785	12809	12848	BV 3	422697	18043564	3.45%	1.720%
20	60.335	13184	13245	13287	BB 4	102169	4950267	0.95%	0.472%
21	71.892	15746	15786	15862	BB 7	157285	12384258	2.36%	1.181%

Sum of corrected areas: 1049068410

\CIDOS GRAS...X SCAN BIO.M Tue Feb 24 09:00:37 2015

Fuente: Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, Universidad del Valle de Guatemala.

Anexo 10. **Búsqueda del componente químico más probable en cada pico del cromatograma de la oleorresina obtenida a partir del cardamomo de segunda calidad extraída con etanol**

LIQA Area Percent Report

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\USAC\Tesis cardamomo feb15\
Data File : 150223-003.D
Acq On : 23 Feb 2015 11:33
Operator : AdeM
Sample : Muestra 2E
Misc : 2 calidad etanol
ALS Vial : 2 Sample Multiplier: 1

Integration Parameters: levadura1.e
Integrator: ChemStation

Method : C:\msdchem\1\METHODS\ACIDOS GRASOS DBWAX SCAN BIO.M
Title :

Signal : TIC: 150223-003.D\data.ms

peak #	R.T. min	first scan	max scan	last scan	PK TY	peak height	corr. area	corr. % max.	% of total
1	3.940	827	847	930	BB	161661	8821688	1.54%	0.921%
2	6.208	1310	1346	1459	BB	12676745	572727015	100.00%	59.768%
3	8.671	1772	1887	1982	VB	817515	131241252	22.92%	13.696%
4	13.621	2950	2975	3013	BB 2	990806	30519311	5.33%	3.185%
5	16.941	3569	3705	3782	BB	138430	6992715	1.22%	0.730%
6	17.530	3802	3835	3911	BB	126675	8090294	1.41%	0.844%
7	22.750	4953	4982	5034	BV 2	475472	28387697	4.96%	2.962%
8	24.877	5415	5450	5535	BB 3	187844	10436703	1.82%	1.089%
9	26.842	5861	5882	5911	BV 4	211627	6779486	1.18%	0.707%
10	27.238	5954	5969	6011	VB 3	146582	5145140	0.90%	0.537%
11	28.690	6250	6288	6398	BV 2	221000	22617300	3.95%	2.360%
12	32.839	7172	7200	7278	BB 2	957996	34177882	5.97%	3.567%
13	46.272	9947	10154	10236	BB 2	688477	49832105	8.70%	5.200%
14	48.835	10605	10717	10785	BB 3	121047	6463927	1.13%	0.675%
15	51.903	11307	11391	11467	BB 3	242178	12800397	2.23%	1.336%
16	58.354	12785	12810	12864	BV 3	546135	23218646	4.05%	2.423%

Sum of corrected areas: 958251557

\ACIDOS GRAS...X SCAN BIO.M Tue Feb 24 09:02:27 2015

Fuente: Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, Universidad del Valle de Guatemala.

Anexo 11. **Búsqueda del componente químico más probable en cada pico del cromatograma de la oleorresina obtenida a partir del cardamomo de tercera calidad extraída con etanol**

LIQA Area Percent Report

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\USAC\Tesis cardamomo feb15\
Data File : 150223-004.D
Acq On : 23 Feb 2015 13:00
Operator : AdeM
Sample : Muestra 3E
Misc : 3 calidad etanol
ALS Vial : 3 Sample Multiplier: 1

Integration Parameters: levadura1.e
Integrator: ChemStation

Method : C:\msdchem\1\METHODS\ACIDOS GRASOS DBWAX SCAN BIO.M
Title :

Signal : TIC: 150223-004.D\data.ms

peak #	R.T. min	first scan	max scan	last scan	PK TY	peak height	corr. area	corr. % max.	% of total
1	3.945	831	848	917	BB	263723	9740366	1.18%	0.583%
2	6.201	1305	1344	1459	VV 2	13820216	827264351	100.00%	49.541%
3	8.584	1762	1868	1942	VB 2	693268	106803107	12.91%	6.396%
4	13.632	2943	2978	3033	BB 2	3960759	158732652	19.19%	9.506%
5	16.909	3665	3698	3765	BB	113090	6571203	0.79%	0.394%
6	22.696	4950	4970	5032	BV	695385	44119797	5.33%	2.642%
7	24.869	5415	5448	5515	BB 2	155280	8605664	1.04%	0.515%
8	26.846	5861	5883	5914	BV	581837	19568576	2.37%	1.172%
9	27.252	5953	5972	6017	VB	968892	33519103	4.05%	2.007%
10	28.698	6250	6290	6395	BV	351147	35297545	4.27%	2.114%
11	29.260	6395	6414	6480	VB 5	154804	7656351	0.93%	0.459%
12	32.918	7155	7218	7275	BB 2	5163356	278591558	33.68%	16.683%
13	38.197	8350	8378	8430	BB	471732	18281703	2.21%	1.095%
14	44.671	9782	9802	9844	VB 2	449653	15618067	1.89%	0.935%
15	46.264	10056	10152	10233	BB 2	589177	42480368	5.14%	2.544%
16	48.835	10685	10717	10758	PV 4	107033	5061290	0.61%	0.303%
17	51.899	11352	11391	11437	VB 6	257720	13898023	1.68%	0.832%
18	54.346	11866	11928	11989	BB 2	161255	7379042	0.89%	0.442%
19	58.345	12778	12808	12854	BB 2	167376	7397067	0.89%	0.443%
20	65.531	14332	14388	14455	BB 6	105099	6506123	0.79%	0.390%
21	71.910	15662	15790	15859	BB 7	230330	16772773	2.03%	1.004%

Sum of corrected areas: 1669864729

ACIDOS GRAS...X SCAN BIO.M Tue Feb 24 09:04:03 2015

Fuente: Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, Universidad del Valle de Guatemala.

Anexo 12. **Búsqueda del componente químico más probable en cada pico del cromatograma de la oleorresina obtenida a partir del cardamomo infestado con trips extraída con etanol**

LIQA Area Percent Report

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\USAC\Tesis cardamomo feb15\
Data File : 150223-005.D
Acq On : 24 Feb 2015 8:56
Operator : AdeM
Sample : Muestra TE
Misc : Trips etanol
ALS Vial : 4 Sample Multiplier: 1

Integration Parameters: levadura1.e
Integrator: ChemStation

Method : C:\msdchem\1\METHODS\ACIDOS GRASOS DBWAX SCAN BIO.M
Title :

Signal : TIC: 150223-005.D\data.ms

peak #	R.T. min	first scan	max scan	last scan	PK TY	peak height	corr. area	corr. % max.	% of total
1	6.210	1306	1346	1456	BB	12002512	484794246	100.00%	55.829%
2	8.415	1742	1831	1905	BB	365619	29788569	6.14%	3.430%
3	13.653	2947	2982	3060	BB	2352404	75979290	15.67%	8.750%
4	22.794	4966	4992	5033	BV	110248	4874157	1.01%	0.561%
5	26.842	5858	5882	5914	BV 2	360615	11968846	2.47%	1.378%
6	27.250	5953	5972	6011	VB	730943	24094135	4.97%	2.775%
7	32.905	7142	7215	7278	BB	4380365	219437019	45.26%	25.270%
8	44.664	9780	9800	9877	BB 4	167470	5948541	1.23%	0.685%
9	71.893	15749	15786	15859	VB 10	137180	11468031	2.37%	1.321%

Sum of corrected areas: 868352833

ACIDOS GRAS...X SCAN BIO.M Tue Feb 24 10:21:10 2015

Fuente: Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, Universidad del Valle de Guatemala.

Anexo 13. **Búsqueda del componente químico más probable en cada pico del cromatograma de la oleorresina obtenida a partir del cardamomo de primera calidad extraída con hexano**

LIQA Area Percent Report

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\USAC\Tesis cardamomo feb15\
Data File : 150223-006.D
Acq On : 24 Feb 2015 10:23
Operator : AdeM
Sample : Muestra 1H
Misc : 1 calidad Hexano
ALS Vial : 5 Sample Multiplier: 1

Integration Parameters: levadural.e
Integrator: ChemStation

Method : C:\msdchem\1\METHODS\ACIDOS GRASOS DBWAX SCAN BIO.M
Title :

Signal : TIC: 150223-006.D\data.ms

peak #	R.T. min	first scan	max scan	last scan	PK TY	peak height	corr. area	corr. % max.	% of total
1	4.122	831	887	914	BV	17240435	346103876	35.21%	13.675%
2	4.306	914	927	954	VV	8604560	149158307	15.18%	5.894%
3	4.488	954	967	1020	VB	151917	2795174	0.28%	0.110%
4	6.133	1300	1329	1396	BB	464135	11434969	1.16%	0.452%
5	7.896	1699	1717	1746	BV	478001	13426057	1.37%	0.530%
6	8.271	1746	1799	1865	VB 2	108096	4027358	0.41%	0.159%
7	10.174	2188	2218	2238	BV	131944	3994689	0.41%	0.158%
8	10.519	2238	2293	2318	PV	1397014	38349728	3.90%	1.515%
9	11.729	2537	2559	2624	BB	598292	16752493	1.70%	0.662%
10	13.147	2847	2871	2900	BB 2	647163	24301477	2.47%	0.960%
11	13.736	2937	3001	3063	BB	8132445	485616603	49.41%	19.188%
12	23.706	5169	5192	5203	BV 3	304702	10044676	1.02%	0.397%
13	23.817	5203	5217	5239	VV 2	481429	16828631	1.71%	0.665%
14	26.877	5861	5890	5924	BV	2374907	84443533	8.59%	3.337%
15	27.128	5924	5945	5959	PV 3	182966	6384256	0.65%	0.252%
16	27.331	5959	5990	6057	VB	4583863	187235641	19.05%	7.398%
17	29.257	6287	6413	6434	BV 3	368143	13593216	1.38%	0.537%
18	32.218	7039	7064	7125	BB 3	225694	8401013	0.85%	0.332%
19	33.048	7169	7246	7332	BB 2	10242430	982852624	100.00%	38.834%
20	33.935	7421	7441	7456	BV 6	132724	4593657	0.47%	0.182%
21	34.101	7456	7478	7497	VV	418102	15616560	1.59%	0.617%
22	34.911	7634	7656	7673	BV 2	248588	8352848	0.85%	0.330%
23	35.064	7673	7690	7724	VV 2	109017	3903493	0.40%	0.154%
24	38.201	8346	8379	8446	BB 3	740927	28498493	2.90%	1.126%
25	44.678	9774	9803	9847	BV 2	889289	30792196	3.13%	1.217%
26	51.788	11346	11366	11379	PV	110433	3482000	0.35%	0.138%
27	54.344	11890	11928	11976	BB 2	208640	8482491	0.86%	0.335%
28	54.971	12039	12066	12113	BV 4	117033	5509084	0.56%	0.218%
29	71.906	15756	15789	15869	PB 6	201825	15902249	1.62%	0.628%

Sum of corrected areas: 2530877391

ACIDOS GRAS...X SCAN BIO.M Tue Feb 24 13:32:37 2015

Fuente: Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, Universidad del Valle de Guatemala.

Anexo 14. **Búsqueda del componente químico más probable en cada pico del cromatograma de la oleorresina obtenida a partir del cardamomo de segunda calidad extraída con hexano**

LIQA Area Percent Report

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\USAC\Tesis cardamomo feb15\
Data File : 150223-007.D
Acq On : 24 Feb 2015 11:51
Operator : AdeM
Sample : Muestra 2H
Misc : 2 calidad Hexano
ALS Vial : 6 Sample Multiplier: 1

Integration Parameters: levadural.e
Integrator: ChemStation

Method : C:\msdchem\1\METHODS\ACIDOS GRASOS DBWAX SCAN BIO.M
Title :

Signal : TIC: 150223-007.D\data.ms

peak #	R.T. min	first scan	max scan	last scan	PK TY	peak height	corr. area	corr. % max.	% of total
1	4.120	827	887	907	BV	19497094	394477483	42.58%	18.832%
2	4.305	907	927	957	VV	12130311	193793048	20.92%	9.251%
3	4.488	957	967	1024	VB	211031	3858461	0.42%	0.184%
4	6.137	1300	1330	1393	BB	529123	12478873	1.35%	0.596%
5	8.274	1762	1800	1839	BV 2	248342	10509403	1.13%	0.502%
6	13.652	2937	2982	3033	BB	2663938	88591889	9.56%	4.229%
7	23.705	5169	5192	5203	BV 3	186826	6217341	0.67%	0.297%
8	23.813	5203	5216	5236	VV 3	270284	9253903	1.00%	0.442%
9	26.872	5815	5888	5928	BV 2	1411572	55668754	6.01%	2.658%
10	27.133	5928	5946	5957	VV 4	131284	4766076	0.51%	0.228%
11	27.313	5957	5985	6037	VB	3309801	139668322	15.08%	6.667%
12	28.734	6257	6298	6390	PV	778390	64600760	6.97%	3.084%
13	29.286	6390	6419	6438	VV 3	290119	11727112	1.27%	0.560%
14	32.218	7042	7064	7122	BB 3	118257	4383717	0.47%	0.209%
15	33.039	7165	7244	7328	BB 2	10158517	926441156	100.00%	44.226%
16	33.933	7374	7441	7456	PV 6	140826	5193489	0.56%	0.248%
17	34.092	7456	7476	7496	VV 3	189529	7914550	0.85%	0.378%
18	34.913	7634	7656	7673	BV 3	308573	10117308	1.09%	0.483%
19	35.067	7673	7690	7724	VV 3	131579	4621492	0.50%	0.221%
20	38.202	8356	8379	8453	BB 2	743091	28195668	3.04%	1.346%
21	44.685	9777	9805	9847	BV 2	1129053	40741404	4.40%	1.945%
22	51.791	11348	11367	11378	PV 3	81572	2540213	0.27%	0.121%
23	54.348	11890	11929	11951	BV	255499	9675232	1.04%	0.462%
24	54.976	12043	12067	12113	BV 6	178372	8347877	0.90%	0.399%
25	58.319	12775	12802	12858	BB 4	133571	5555482	0.60%	0.265%
26	59.014	12932	12955	13017	VV 8	129930	9680567	1.04%	0.462%
27	60.392	13111	13258	13283	BV 2	88723	1728372	0.19%	0.083%
28	65.539	14298	14389	14431	BB 7	178656	9645677	1.04%	0.460%
29	71.923	15757	15793	15889	PB 7	300255	24373537	2.63%	1.164%

Sum of corrected areas: 2094767164

ACIDOS GRAS...X SCAN BIO.M Tue Feb 24 13:34:28 2015

Fuente: Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, Universidad del Valle de Guatemala.

Anexo 15. **Búsqueda del componente químico más probable en cada pico del cromatograma de la oleorresina obtenida a partir del cardamomo de tercera calidad extraída con hexano**

LIQA Area Percent Report

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\USAC\Tesis cardamomo feb15\
Data File : 150223-008.D
Acq On : 24 Feb 2015 13:22
Operator : AdeM
Sample : Muestra 3H
Misc : 3 calidad Hexano
ALS Vial : 7 Sample Multiplier: 1

Integration Parameters: events.e
Integrator: ChemStation

Method : C:\msdchem\1\METHODS\ACEITES ESENCIALES MCS DB-WAX SCAN 2.M
Title :

Signal : TIC: 150223-008.D\data.ms

peak #	R.T. min	first scan	max scan	last scan	PK TY	peak height	corr. area	corr. % max.	% of total
1	4.133	870	889	908	BB	12659198	234810228	34.58%	16.051%
2	4.318	919	930	938	BV	6149153	104936279	15.45%	7.173%
3	4.501	963	970	981	BB	152201	2677020	0.39%	0.183%
4	6.152	1320	1333	1353	BB	428941	10261072	1.51%	0.701%
5	7.908	1708	1719	1743	BB 2	195968	5006977	0.74%	0.342%
6	8.284	1772	1802	1838	BB 2	489703	18838660	2.77%	1.288%
7	10.527	2279	2295	2313	BB	352461	9832428	1.45%	0.672%
8	13.142	2853	2870	2885	BB 2	109766	3350375	0.49%	0.229%
9	13.682	2959	2989	3016	BB	3593435	132155565	19.46%	9.034%
10	23.706	5173	5193	5204	BV 4	185837	6144943	0.90%	0.420%
11	23.815	5204	5217	5236	VB 3	159178	5406129	0.80%	0.370%
12	26.864	5865	5887	5913	BB 2	1187962	41797526	6.15%	2.857%
13	27.127	5925	5945	5957	BV 3	126181	4267939	0.63%	0.292%
14	27.302	5957	5983	6011	VB	2554913	93978959	13.84%	6.424%
15	29.254	6386	6412	6431	BB 2	242550	8851002	1.30%	0.605%
16	33.015	7176	7239	7280	BB 3	8906562	679101288	100.00%	46.421%
17	33.918	7419	7438	7454	BV 5	112866	3932107	0.58%	0.269%
18	34.090	7454	7475	7495	VB	149303	6322501	0.93%	0.432%
19	34.908	7638	7655	7673	BV 4	144542	4864466	0.72%	0.333%
20	38.195	8357	8378	8408	BB 2	340269	12872473	1.90%	0.880%
21	44.679	9777	9803	9829	BB 2	696848	23639449	3.48%	1.616%
22	54.346	11907	11928	11952	BB 3	109226	4127999	0.61%	0.282%
23	59.017	12932	12955	12986	BV 6	214066	12494279	1.84%	0.854%
24	64.040	13972	14060	14094	BV 6	95831	7217285	1.06%	0.493%
25	71.931	15754	15795	15853	BB 6	344818	26021856	3.83%	1.779%

Sum of corrected areas: 1462908807

ACEITES ESE...WAX SCAN 2.M Fri Feb 27 12:19:02 2015

Fuente: Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, Universidad del Valle de Guatemala.

Anexo 16. **Búsqueda del componente químico más probable en cada pico del cromatograma de la oleorresina obtenida a partir del cardamomo infestado con trips extraída con hexano**

LIQA Area Percent Report

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\USAC\Tesis cardamomo feb15\
Data File : 150223-009.D
Acq On : 24 Feb 2015 14:52
Operator : AdeM
Sample : Muestra TH
Misc : Trips Hexano
ALS Vial : 8 Sample Multiplier: 1

Integration Parameters: events.e
Integrator: ChemStation

Method : C:\msdchem\1\METHODS\ACEITES ESENCIALES MCS DB-WAX SCAN 2.M
Title :

Signal : TIC: 150223-009.D\data.ms

peak #	R.T. min	first scan	max scan	last scan	PK TY	peak height	corr. area	corr. % max.	% of total
1	4.077	870	877	879	BV	655335	7445389	0.66%	0.368%
2	4.127	879	888	903	VB	17860098	333332803	29.73%	16.454%
3	4.313	918	929	952	BB	9329597	153540416	13.69%	7.579%
4	4.497	961	969	982	BB	165654	2810621	0.25%	0.139%
5	6.148	1320	1332	1349	BB	248526	5746353	0.51%	0.284%
6	8.287	1771	1803	1821	BB 3	110478	4352683	0.39%	0.215%
7	13.643	2960	2980	3014	BB 2	1056561	33597162	3.00%	1.658%
8	23.707	5177	5193	5204	BV 3	177578	5884298	0.52%	0.290%
9	23.820	5204	5218	5241	VB 2	349146	11820311	1.05%	0.583%
10	26.866	5863	5887	5915	BB 2	1192003	41955499	3.74%	2.071%
11	27.127	5927	5944	5958	BV 3	146714	5124163	0.46%	0.253%
12	27.312	5958	5985	6015	VB	3082617	114944602	10.25%	5.674%
13	29.257	6389	6413	6436	BB 3	276408	10518393	0.94%	0.519%
14	31.114	6804	6821	6840	BB 3	106953	3942102	0.35%	0.195%
15	33.084	7175	7254	7292	BB 2	11465022	1121383514	100.00%	55.355%
16	33.944	7425	7443	7458	BV 6	168797	5695618	0.51%	0.281%
17	34.912	7637	7656	7673	BV 2	182538	5934955	0.53%	0.293%
18	35.305	7724	7742	7764	BB 3	141838	4982060	0.44%	0.246%
19	36.753	8041	8061	8082	BV 2	112937	4262087	0.38%	0.210%
20	38.196	8358	8378	8407	BB 2	239441	9370656	0.84%	0.463%
21	44.686	9774	9805	9831	BB	1020486	34736028	3.10%	1.715%
22	46.890	10269	10289	10312	BB 3	179353	6371512	0.57%	0.315%
23	49.688	10882	10905	10929	BB 4	131290	4836453	0.43%	0.239%
24	51.879	11351	11386	11419	BB 2	223362	9618034	0.86%	0.475%
25	53.096	11636	11654	11672	BB 5	121402	4382378	0.39%	0.216%
26	58.338	12779	12806	12828	BB 4	104555	4040618	0.36%	0.199%
27	59.038	12933	12960	13003	VB 8	270885	19113065	1.70%	0.943%
28	64.032	14026	14058	14097	BB 8	89238	8527634	0.76%	0.421%
29	65.547	14357	14391	14424	BB 7	261925	13436503	1.20%	0.663%
30	71.941	15754	15797	15859	BB 5	460401	34102712	3.04%	1.683%

Sum of corrected areas: 2025808625

ACEITES ESE...WAX SCAN 2.M Fri Feb 27 12:21:47 2015

Fuente: Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, Universidad del Valle de Guatemala.