



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

**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**

Andrés Guillermo Puac García

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

Guatemala, abril de 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**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**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ANDRÉS GUILLERMO PUAC GARCÍA

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

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

GUATEMALA, ABRIL DE 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL I	
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Renato Giovanni Ponciano Sandoval
EXAMINADOR	Ing. César Ariel Villela Rodas
EXAMINADORA	Inga. Hilda Palma de Martini
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

EVALUACIÓN DE RENDIMIENTO Y CALIDAD DE OLEORRESINA DE CARDAMOMO (*Elettaria cardamomum* L. Maton) A ESCALA PLANTA PILOTO PARA LA FORMULACIÓN DE MERMELADA CASERA DE PERA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 15 de agosto de 2013.

Andrés Guillermo Puac García



Guatemala, 18 de Febrero de 2015

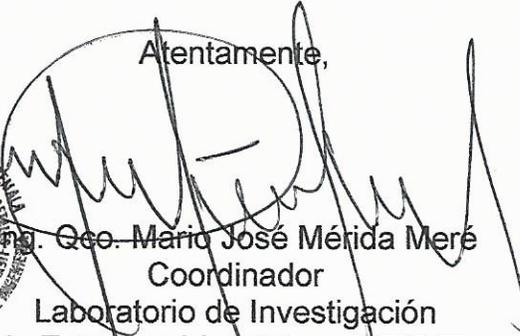
Ingeniero
Victor Manuel Monzón Valdez
Director Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala
Presente.

Ingeniero Monzón:

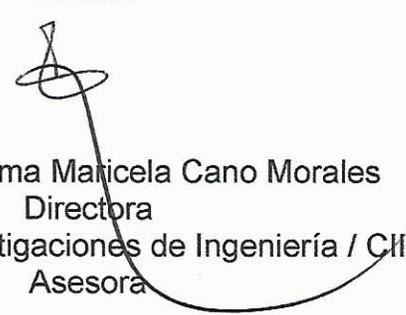
Por medio de la presente HACEMOS CONSTAR que hemos revisado y dado nuestra aprobación al Informe Final del trabajo de graduación titulado **“EVALUACIÓN DE RENDIMIENTO Y CALIDAD DE OLEORRESINA DE CARDAMOMO (*Elettaria cardamomum* L. Maton) A ESCALA PLANTA PILOTO PARA LA FORMULACIÓN DE MERMELADA CASERA DE PERA”**, del estudiante de Ingeniería Química Andrés Guillermo Puac García quien se identifica con el carné número 2009-15217.

Sin otro particular me suscribo de usted.

Atentamente,



Ing. Geo. Mario José Mérida Meré
Coordinador
Laboratorio de Investigación
de Extractos Vegetales –LIXVE-
Asesor



Inga. Qca. Telma Maricela Cano Morales
Directora
Centro de Investigaciones de Ingeniería / CII
Asesora



Guatemala, 16 de marzo de 2015.
Ref. EIQ.TG-IF.014.2015.

Ingeniero
Víctor Manuel Monzón Valdez
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Monzón:

Como consta en el registro de evaluación del informe final EIQ-PRO-REG-007 correlativo **162-2013** le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

Solicitado por el estudiante universitario: **Andrés Guillermo Puac García**.
Identificado con número de carné: **2009-15217**.
Previo a optar al título de **INGENIERO QUÍMICO**.

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

**EVALUACIÓN DE RENDIMIENTO Y CALIDAD DE OLEORRESINA DE
CARDAMOMO (*Elettaria cardamomum* L. Maton) A ESCALA PLANTA PILOTO
PARA LA FORMULACIÓN DE MERMELADA CASERA DE PERA**

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.

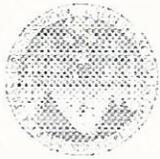
"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez
COORDINADOR DE TERNA
Tribunal de Revisión
Trabajo de Graduación



C.c.: archivo





Ref.EIQ.TG.051.2015

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Trabajo de Graduación del estudiante, **ANDRÉS GUILLERMO PUAC GARCÍA** 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"**. Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.

"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Víctor Manuel Manzón Valdez
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química



Guatemala, abril 2015

Cc: Archivo
VMMV/ale



ACAAI





DTG. 180.2015

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 DE RENDIMIENTO Y CALIDAD DE OLEORRESINA DE CARDAMOMO (*Elettaria cardamomum L. Maton*) A ESCALA PLANTA PILOTO PARA LA FORMULACIÓN DE MERMELADA CASERA DE PERA**, presentado por el estudiante universitario: **Andrés Guillermo Puac García**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. Angel Roberto Sic García
Decano

Guatemala, 23 de abril de 2015

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

Mi madre

María Salomé García, por su amor, por ser mi inspiración, un gran ejemplo a seguir.

Mi padre

Amado Enrique Puac, por su cariño e inteligencia.

Mis hermanos

Jesús Enrique y María Salome Puac, por su apoyo incondicional y por su cariño.

AGRADECIMIENTOS A:

Mi madre	Por todo el apoyo incondicional que me ha brindado, su cariño, su lucha constante y porque nunca ha defraudado a la familia.
Inga. Telma Cano	Por darme la oportunidad de realizar este trabajo de graduación y transmitirme sus conocimientos.
Ing. Mario Mérida	Por su asesoramiento, conocimientos y amistad compartida.
Patrocinadores	Juan Pablo Azurdia y Sergio Alfaro, por proporcionar materia prima gratuita.
Mis hermanos	Porque me apoyaron en todo momento, por su cariño y por su confianza.
Mi compañero	Eduardo Bran, por ser una gran influencia en mi vida y su apoyo incondicional a la familia.
Mis amigos	De colegio, universidad y de vecindad, por formar parte de mi vida.
Universidad de San Carlos de Guatemala	Por forjarme como profesional y ser mi segunda casa de estudio.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	XV
GLOSARIO	XIX
RESUMEN.....	XXIII
OBJETIVOS.....	XXV
Hipótesis	XXVI
INTRODUCCIÓN	XXIX
1. ANTECEDENTES	1
2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Cardamomo.....	5
2.1.1. Nombre vulgar	5
2.1.2. Nombre científico.....	5
2.1.3. Sinónimo taxonómico	6
2.1.4. Familia	6
2.1.5. Descripción botánica	6
2.1.6. Hábitat	6
2.1.7. Historia	7
2.1.8. Agricultura.....	7
2.1.9. Usos medicinales atribuidos	8
2.1.10. Otros usos populares.....	8
2.1.11. Farmacología.....	8
2.1.12. Composición química	9
2.1.12.1. Acetato α -terpinilo.....	10

	2.1.12.2.	1, 8-cineol.....	11
	2.1.12.3.	Acetato de linalilo	12
	2.1.12.4.	Linalol.....	13
	2.1.12.5.	α -terpineol	14
	2.1.12.6.	α -pineno	14
	2.1.12.7.	β -pineno	15
	2.1.12.8.	Limoneno.....	16
2.2.		Lixiviación.....	17
	2.2.1.	Preparación del sólido	18
	2.2.2.	Temperatura de lixiviación.....	19
	2.2.3.	Métodos de operación y equipo	19
	2.2.4.	Operación en estado no estacionario.....	20
	2.2.4.1.	Lixiviación <i>in situ</i>	20
	2.2.4.2.	Lixiviación a la intemperie	21
	2.2.4.3.	Tanques de percolación	21
	2.2.4.4.	Contacto múltiple a contra-corriente; el sistema de Shanks	22
	2.2.4.5.	Percolación en tanques cerrados	23
	2.2.4.6.	Lixiviación en filtro prensa	24
	2.2.4.7.	Tanques con agitación	25
	2.2.4.8.	Percolación <i>versus</i> agitación.....	26
	2.2.5.	Operación en estado estacionario (continuo).....	27
	2.2.5.1.	Lixiviación durante el molido	27
	2.2.5.2.	Tanques con agitación	28
	2.2.5.3.	Espesadores	29
	2.2.5.4.	Decantación a contra-corriente continua.....	30
	2.2.5.5.	Lixiviación de semillas vegetales.....	30
2.3.		Industrialización de plantas aromáticas.....	35

2.3.1.	Aceites esenciales	35
	2.3.1.1. Métodos de obtención	37
2.3.2.	Oleorresinas	37
2.3.3.	Concretos y absolutos	38
2.4.	Análisis instrumental.....	39
2.4.1.	Instrumentos analíticos	40
	2.4.1.1. Componente de los instrumentos	40
2.4.2.	Propiedades de la radiación electro-magnética	42
	2.4.2.1. Propiedades de las ondas	43
	2.4.2.2. Parámetros ondulatorios.....	45
	2.4.2.3. Superposición de ondas	45
	2.4.2.4. Difracción.....	46
2.4.3.	Propiedades de la radiación considerada como partícula.....	46
	2.4.3.1. Efecto foto-eléctrico	47
	2.4.3.2. Unidades de energía	47
2.4.4.	Interacción de la radiación con la materia	48
	2.4.4.1. Transmisión de la radiación	48
	2.4.4.2. Reflexión y dispersión de la radiación	50
	2.4.4.3. Polarización de la radiación	51
	2.4.4.4. Absorción de la radiación	53
	2.4.4.5. Emisión de la radiación.....	54
2.4.5.	Análisis de mezclas por métodos espectrales de masas acoplados.....	56
	2.4.5.1. Cromatografía acoplada a espectrometría de masas	58
2.5.	Análisis sensorial.....	59

3.	DISEÑO METODOLÓGICO.....	61
3.1.	Definición de variables	61
3.1.1.	Variables independientes	61
3.1.2.	Variables dependientes	62
3.2.	Delimitación de campo de estudio	62
3.3.	Recursos humanos disponibles	63
3.4.	Recursos materiales disponibles.....	63
3.4.1.	Materiales y equipo	64
3.4.2.	Equipo a nivel planta piloto.....	64
3.4.3.	Equipo a nivel laboratorio	65
3.5.	Técnica cualitativa o cuantitativa.....	66
3.5.1.	Análisis físico.....	66
3.5.2.	Análisis químico	66
3.5.3.	Análisis estadístico.....	67
3.5.3.1.	Análisis sensorial.....	67
3.5.3.2.	Análisis de varianza	67
3.6.	Recolección y ordenamiento de la información.....	67
3.7.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.....	68
3.7.1.	Tablas de tabulación de datos.....	69
3.8.	Procesos de extracción de oleorresina de cardamomo a escala planta piloto y a escala laboratorio.....	71
3.8.1.	Clasificación de semilla de cardamomo	71
3.8.2.	Reducción de tamaño de partícula.....	72
3.8.3.	Análisis granulométrico	72
3.8.4.	Procesos de extracción de oleorresina obtenida a escala planta piloto y a escala laboratorio.....	73
3.9.	Procedimientos de análisis físicos y análisis sensorial.....	76
3.10.	Análisis estadístico.....	78

3.10.1.	Análisis de varianza	78
3.10.2.	Prueba múltiple de Duncan	81
4.	RESULTADOS	83
4.1.	Extracción de oleorresina de cardamomo (<i>Elettaria cardamomum</i> L. Maton) a escala planta piloto	83
4.2.	Calidad de oleorresina de cardamomo	85
4.3.	Propiedades físicas de oleorresina de cardamomo (<i>Elettaria cardamomum</i> L. Maton) obtenida a escala planta piloto	101
4.4.	Análisis sensorial	105
4.5.	Análisis granulométrico	105
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	107
	CONCLUSIONES	113
	RECOMENDACIONES	115
	BIBLIOGRAFÍA	117
	APÉNDICES	119
	ANEXOS	167

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Estructura molecular de acetato de α -terpinilo	11
2.	Estructura molecular de 1, 8-cineol	12
3.	Estructura molecular de acetato de linalilo	13
4.	Estructura molecular de linalol	13
5.	Estructura molecular de α -terpineol	14
6.	Estructura molecular de α -pineno	15
7.	Estructura molecular de β -pineno	16
8.	Estructura molecular de limoneno	16
9.	Contacto múltiple a contra-corriente, sistema de Shanks	22
10.	Sistema de Shanks	23
11.	Tanques de lixiviación por lotes con agitación	24
12.	Tanque Pachuca	26
13.	Agitador de Dorr	29
14.	Arreglo esquemático del Rotocel	32
15.	Extractor de Kennedy	33
16.	Extractor de Bollman	34
17.	Componentes de un instrumento analítico típico	41
18.	Representación de un haz de radiación mono-cromática, polarizado en un plano	44
19.	Propagación de ondas a través de una ranura	46
20.	Curva típica de dispersión	49
21.	Refracción de la luz al pasar del medio M_1 menos denso, al medio M_2 , más denso, en el cual su velocidad es menor	50

22.	Representación de vectores eléctricos	52
23.	Algunos espectros típicos de absorción en luz ultravioleta	54
24.	Rendimiento de extracción de oleorresina de cardamomo (<i>Elettaria cardamomum</i> L. Maton) obtenida a escala planta piloto en función del tipo de calidad de materia prima (1ra., 2da. y 3ra. calidad)	84
25.	Metabolitos secundarios presentes en oleorresina de cardamomo (<i>Elettaria cardamomum</i> L. Maton) obtenida a escala planta piloto por maceración dinámica en función del tipo de calidad de materia prima (1ra., 2da. y 3ra. calidad)	88
26.	Gráfica de metabolitos secundarios presentes en oleorresina de cardamomo (<i>Elettaria cardamomum</i> L. Maton) obtenida a escala planta piloto por maceración estática en función del tipo de calidad de materia prima (1ra., 2da. y 3ra. calidad)	90
27.	Contenido acetato de terpinilo presente en oleorresina de cardamomo (<i>Elettaria cardamomum</i> L. Maton) obtenida a escala planta piloto por maceración dinámica y estática en función del tipo de calidad de materia prima (1ra., 2da. y 3ra. calidad)	91
28.	Contenido de 1,8-cineol presente en oleorresina de cardamomo (<i>Elettaria cardamomum</i> L. Maton) obtenida a escala planta piloto por maceración dinámica y estática en función del tipo de calidad de materia prima (1ra., 2da. y 3ra. calidad)	92
29.	Contenido de acetato de linalilo presente en oleorresina de cardamomo (<i>Elettaria cardamomum</i> L. Maton) obtenida a escala planta piloto por maceración dinámica y estática en función del tipo de calidad de materia prima (1ra., 2da. y 3ra. calidad)	93
30.	Contenido de linalool presente en oleorresina de cardamomo (<i>Elettaria cardamomum</i> L. Maton) obtenida a escala planta piloto por maceración dinámica y estática en función del tipo de calidad de materia prima (1ra., 2da. y 3ra. calidad)	94

31.	Contenido de alcohol etílico presente en oleorresina de cardamomo (<i>Elettaria cardamomum</i> L. Maton) obtenida a escala planta piloto por maceración dinámica y estática en función del tipo de calidad de materia prima (1ra., 2da. y 3ra. calidad).....	95
32.	Contenido de nerolidol presente en oleorresina de cardamomo (<i>Elettaria cardamomum</i> L. Maton) obtenida a escala planta piloto por maceración dinámica y estática en función del tipo de calidad de materia prima (1ra., 2da. y 3ra. calidad).....	96
33.	Contenido de geraniol presente en oleorresina de cardamomo (<i>Elettaria cardamomum</i> L. Maton) obtenida a escala planta piloto por maceración dinámica y estática en función del tipo de calidad de materia prima (1ra., 2da. y 3ra. calidad).....	97
34.	Contenido de ácido palmítico presente en oleorresina de cardamomo (<i>Elettaria cardamomum</i> L. Maton) obtenida a escala planta piloto por maceración dinámica y estática en función del tipo de calidad de materia prima (1ra., 2da. y 3ra. calidad).....	98
35.	Contenido de α -terpineol presente en oleorresina de cardamomo (<i>Elettaria cardamomum</i> L. Maton) obtenida a escala planta piloto por maceración dinámica y estática en función del tipo de calidad de materia prima (1ra., 2da. y 3ra. calidad).....	99
36.	Contenido de <i>cis</i> -beta-terpineol presente en oleorresina de cardamomo (<i>Elettaria cardamomum</i> L. Maton) obtenida a escala planta piloto por maceración dinámica y estática en función del tipo de calidad de materia prima (1ra., 2da. y 3ra. calidad)	100
37.	Promedio de potencial de hidrógeno de oleorresina de cardamomo (<i>Elettaria cardamomum</i> L. Maton) obtenida a escala planta piloto por maceración dinámica y estática en función del tipo de calidad de materia prima (1ra., 2da. y 3ra. calidad).....	102

38.	Promedio de índice de refracción de oleorresina de cardamomo (<i>Elettaria cardamomum</i> L. Maton) obtenida a escala planta piloto por maceración dinámica y estática en función del tipo de calidad de materia prima (1ra., 2da. y 3ra. calidad)	103
39.	Promedio de densidad de oleorresina de cardamomo (<i>Elettaria cardamomum</i> L. Maton) obtenida a escala planta piloto por maceración dinámica y estática en función del tipo de calidad de materia prima (1ra., 2da. y 3ra. calidad)	104
40.	Gráfica de análisis granulométrico de cardamomo (<i>Elettaria cardamomum</i> L. Maton) molido para 1ra., 2da. y 3ra. calidad de materia prima, semilla con pergamino	106

TABLAS

I.	Partes de plantas empleadas en la obtención de aceite esencial.....	35
II.	Variables independientes e instrumento de medición.....	61
III.	Variables dependientes e instrumento de medición.....	62
IV.	Tabla de recolección de datos y propiedades físicas de oleorresina de cardamomo (<i>Elettaria cardamomum</i> L. Maton) obtenidas a escala planta piloto y escala laboratorio	69
V.	Resultados de análisis de composición química de oleorresina de cardamomo (<i>Elettaria cardamomum</i> L. Maton) obtenidas a escala planta piloto	70
VI.	Resultados de la prueba hedónica de 7 puntos.....	70
VII.	Proceso de extracción de oleorresina, escala planta piloto	73
VIII.	Proceso de evaporación de solvente de extracción utilizado en extracción de oleorresina a escala planta piloto	74
IX.	Proceso de extracción de oleorresina, escala laboratorio.....	75

X.	Proceso de evaporación de solvente de extracción utilizado en extracción de oleorresina a escala laboratorio	75
XI.	Proceso de análisis físico de oleorresina	76
XII.	Proceso de elaboración de mermelada casera de pera	76
XIII.	Análisis sensorial, prueba hedónica de 7 puntos	77
XIV.	Datos típicos para el diseño de bloques al azar	78
XV.	Análisis de varianza para el experimento de bloque aleatorio	80
XVI.	Rendimiento de extracción	83
XVII.	Modelo matemático y coeficiente de correlación del rendimiento de extracción de oleorresina de cardamomo (<i>Elettaria cardamomum</i> L. Maton) obtenida a escala planta piloto en función del tipo de calidad de materia prima (1ra., 2da. y 3ra. calidad).....	84
XVIII.	Composición química de oleorresina de cardamomo	85
XIX.	Metabolitos secundarios presentes en oleorresina de cardamomo (<i>Elettaria cardamomum</i> L. Maton) obtenida a escala planta piloto por maceración dinámica, utilizando materia prima de 1ra., 2da. y 3ra. calidad.....	87
XX.	Metabolitos secundarios presentes en oleorresina de cardamomo (<i>Elettaria cardamomum</i> L. Maton) obtenida a escala planta piloto por maceración estática, utilizando materia prima de 1ra., 2da. y 3ra. calidad.....	89
XXI.	Modelo matemático y coeficiente de correlación del contenido de acetato de terpinilo presente en oleorresina de cardamomo (<i>Elettaria cardamomum</i> L. Maton) obtenida a escala planta piloto por maceración dinámica y estática en función del tipo de calidad de materia prima (1ra., 2da. y 3ra. calidad).....	91
XXII.	Modelo matemático y coeficiente de correlación del contenido de 1,8-cineol presente en oleorresina de cardamomo (<i>Elettaria cardamomum</i> L. Maton) obtenida a escala planta piloto por	

	maceración dinámica y estática en función del tipo de calidad de materia prima (1ra., 2da. y 3ra. calidad)	92
XXIII.	Modelo matemático y coeficiente de correlación del contenido de acetato de linalilo presente en oleorresina de cardamomo (<i>Elettaria cardamomum</i> L. Maton) obtenida a escala planta piloto por maceración dinámica y estática en función del tipo de calidad de materia prima (1ra., 2da. y 3ra. calidad)	93
XXIV.	Modelo matemático y coeficiente de correlación del contenido de linalool presente en oleorresina de cardamomo (<i>Elettaria cardamomum</i> L. Maton) obtenida a escala planta piloto por maceración dinámica y estática en función del tipo de calidad de materia prima (1ra., 2da. y 3ra. calidad)	94
XXV.	Modelo matemático y coeficiente de correlación del contenido de alcohol etílico presente en oleorresina de cardamomo (<i>Elettaria cardamomum</i> L. Maton) obtenida a escala planta piloto por maceración dinámica y estática en función del tipo de calidad de materia prima (1ra., 2da. y 3ra. calidad)	95
XXVI.	Modelo matemático y coeficiente de correlación del contenido de nerolidol presente en oleorresina de cardamomo (<i>Elettaria cardamomum</i> L. Maton) obtenida a escala planta piloto por maceración dinámica y estática en función del tipo de calidad de materia prima (1ra., 2da. y 3ra. calidad)	96
XXVII.	Modelo matemático y coeficiente de correlación del contenido de geraniol presente en oleorresina de cardamomo (<i>Elettaria cardamomum</i> L. Maton) obtenida a escala planta piloto por maceración dinámica y estática en función del tipo de calidad de materia prima (1ra., 2da. y 3ra. calidad)	97
XXVIII.	Modelo matemático y coeficiente de correlación del contenido de ácido palmítico presente en oleorresina de cardamomo (<i>Elettaria</i>	

	<i>cardamomum</i> L. Maton) obtenida a escala planta piloto por maceración dinámica y estática en función del tipo de calidad de materia prima (1ra., 2da. y 3ra. calidad).....	98
XXIX.	Modelo matemático y coeficiente de correlación del contenido de α -terpineol presente en oleorresina de cardamomo (<i>Elettaria cardamomum</i> L. Maton) obtenida a escala planta piloto por maceración dinámica y estática en función del tipo de calidad de materia prima (1ra., 2da. y 3ra. calidad).....	99
XXX.	Modelo matemático y coeficiente de correlación del contenido de <i>cis</i> -beta-terpineol presente en oleorresina de cardamomo (<i>Elettaria cardamomum</i> L. Maton) obtenida a escala planta piloto por maceración dinámica y estática en función del tipo de calidad de materia prima (1ra., 2da. y 3ra. calidad).....	100
XXXI.	Promedio y desviación estándar de propiedades físicas de oleorresina de cardamomo (<i>Elettaria cardamomum</i> L. Maton) obtenida a escala planta piloto por maceración dinámica y estática, utilizando materia prima de 1ra., 2da. y 3ra. calidad.....	101
XXXII.	Modelo matemático y coeficiente de correlación del potencial de hidrógeno de oleorresina de cardamomo (<i>Elettaria cardamomum</i> L. Maton) obtenida a escala planta piloto por maceración dinámica y estática en función del tipo de calidad de materia prima (1ra., 2da. y 3ra. calidad)	102
XXXIII.	Modelo matemático y coeficiente de correlación del índice de refracción de oleorresina de cardamomo (<i>Elettaria cardamomum</i> L. Maton) obtenida a escala planta piloto por maceración dinámica y estática en función del tipo de calidad de materia prima (1ra., 2da. y 3ra. calidad)	103
XXXIV.	Modelo matemático y coeficiente de correlación de la densidad de oleorresina de cardamomo (<i>Elettaria cardamomum</i> L. Maton)	

	obtenida a escala planta piloto por maceración dinámica y estática en función del tipo de calidad de materia prima (1ra., 2da. y 3ra. calidad)	104
XXXV.	Muestra de mermelada de pera con aditivo de oleorresina de cardamomo (<i>Elettaria cardamomum</i> L. Maton) aceptable para el consumidor (fracción de oleorresina de cardamomo en muestra A, B, C y D de 0,003 %, 0,006 %, 0,009 % y 0,0120 % respectivamente)	105
XXXVI.	Análisis granulométrico de cardamomo (<i>Elettaria cardamomum</i> L. Maton) para 1ra., 2da. y 3ra. calidad de materia prima	106

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
A	Amplitud de onda
D_M	Dato medido
Y_{a,b}	Dato obtenido para cada observación bajo cada tratamiento.
D_R	Dato real
ρ	Densidad
σ	Desviación estándar
B	Efecto del bloque
T	Efecto del tratamiento
ε	Error aleatorio
E_r	Error relativo
°	Grados
°C	Grados Celsius
gl	Grados de libertad
g/cm³	Gramos por centímetro cúbico
H₁	Hipótesis alternativa
H₀	Hipótesis nula
i	i-ésimo
j	j-ésimo
Kg/ha	Kilogramo por hectárea
λ	Longitud de onda
±	Más-menos
M	Masa

μ	Media aritmética
msnm	Metros sobre el nivel del mar
mg/Kg	Miligramo por kilogramo
K	Número de observaciones
cm^{-1}	Número de onda
$y_{i,j}$	Observación
W_f	Peso final
W_0	Peso inicial
g/mol	Peso molecular, gramos por mol
%	Porcentaje
\bar{X}	Promedio
Y	Promedio total de las observaciones bajo el i,j-ésimo tratamiento.
X	Proporción
R_p	Rango mínimo significativo
r_p	Rango mínimo significativo estudentizado
W/W	Relación peso/peso
V/V	Relación volumen/volumen
R	Rendimiento de extracción
rpm	Revoluciones por minuto
SS_i	Suma de cuadrados
dinas/cm	Tensión superficial, dinas por centímetro
$Y_{i,j}$	Total de las observaciones bajo el i, j-ésimo tratamiento.
N	Total de valores
Hz	Unidad de frecuencia, Hertz
cm	Unidad de longitud, centímetros
m	Unidad de longitud, metros
KN/m²	Unidad de presión, kilo-Newton por metro cuadrado

F	Valor F de Fisher
C	Velocidad de la radiación en el vacío
U	Velocidad de la radiación en un medio
V	Volumen

GLOSARIO

Aromático	Compuesto orgánico que deriva del benceno.
Caldera	Máquina o dispositivo de ingeniería diseñado para generar vapor.
COGUANOR	Comisión Guatemalteca de Normas.
Condensador	Intercambiador de calor entre fluidos, de modo que mientras uno de ellos se enfría, pasando de estado gaseoso a estado líquido, el otro se calienta.
Evaporación	Proceso físico que consiste en el paso lento y gradual de un estado líquido hacia un estado gaseoso, tras haber adquirido suficiente energía para vencer la tensión superficial.
Filtración	Proceso unitario de separación de sólidos en suspensión en un líquido mediante un medio poroso, que retiene los sólidos y permite el pasaje del líquido.
Humedad	Agua que impregna un cuerpo o al vapor presente en la atmósfera.
Interfase	Intervalo entre dos fases sucesivas.

Marmita	Recipiente de la familia de las ollas que dispone de una tapa para aprovechar el vapor, y una o dos asas.
Mermelada	Producto pastoso obtenido por la cocción y concentración de pulpa o mezcla de pulpa y jugo de una o más frutas, adecuadamente preparadas con edulcorantes, con la adición o no de agua y de aditivos permitidos.
Mesh	Medida de la separación de las hebras de una malla o rejilla, expresada como la distancia entre los filamentos de mallas gruesas.
Metabolito secundario	Compuestos orgánicos sintetizados por el organismo que no tienen un rol directo en el crecimiento o reproducción del mismo.
Miscibilidad	En química se refiere a la propiedad de algunos líquidos para mezclarse en cualquier proporción, formando una solución.
Operación unitaria	Parte indivisible de cualquier proceso de transformación donde hay un intercambio de energía del tipo de físico, de una materia prima en otro producto de características diferentes.
Organoléptica	Término utilizado para calificar una sustancia que favorece la excitación de un receptor sensorial.

Pergamino	Membrana protectora de semillas o granos que comunmente se conoce como cascara.
Planta piloto	Planta de proceso a escala reducida que permite determinar si el proceso es técnica y económicamente viable, así como establecer los parámetros de operación óptimos de dicho proceso para el posterior diseño y construcción de la planta a escala industrial.
Refractómetro	Instrumento que sirve para medir el índice de refracción de un líquido depositándolo sobre una superficie de vidrio, colocándolo en un dispositivo óptico, y ajustando un botón para conducir una placa iluminada hacia el centro de un retículo.
Rotaevaporador	Equipo de evaporación rotatorio que se utiliza en laboratorios de química para la eliminación eficiente y suave de disolventes en sustancias a través de la evaporación.
Tamiz	Utensilio que se usa para separar las partes finas de las gruesas de algunas cosas y que está formado por una tela metálica o rejilla tupida que está sujeta a un aro.
Transferencia de masa	Proceso de transporte de materia que se ve favorecido por un gradiente de concentración.

RESUMEN

En el presente estudio se realizó la extracción de oleorresina de cardamomo (*Elettaria cardamomum* L. Maton) a escala planta piloto para comprobar si existe diferencia significativa en las propiedades fisicoquímicas (composición química, rendimiento de extracción, índice de refracción, densidad y potencial de hidrógeno) dependiendo del método de extracción y la calidad de materia prima. También se formuló una mermelada casera de pera con cardamomo como especia para evaluar la proporción de cardamomo presente en la mermelada, por medio de un análisis sensorial de degustación técnica empleando la prueba hedónica de siete puntos.

El diseño experimental se definió con dieciocho tratamientos utilizando como variables el método de extracción sólido-líquido (maceración dinámica y maceración estática) y el tipo de calidad de cardamomo (primera, segunda y tercera calidad); realizando tres repeticiones para cada combinación. El solvente que se utilizó fue alcohol etílico grado alimenticio, etanol (C_2H_5OH), la relación kg materia prima/kg solvente fue de uno a once, la temperatura del entorno fue de veinticinco grados Celsius y se emplearon tres horas de maceración para cada tratamiento. El proceso de evaporación se trabajó con una presión de vacío de -7,8 KPa, tiempo de evaporación de aproximadamente diez horas y con presión de vapor en el enchaquetado de la marmita de 1,2 Kpa.

Se determinó que las operaciones unitarias que involucraron el proceso de extracción de oleorresina de cardamomo fueron: clasificación de semilla, reducción de tamaño de partícula, análisis granulométrico, lixiviación, filtración,

evaporación y envasado de oleorresina. La oleorresina de cardamomo obtenida a escala planta piloto está compuesta, principalmente de acetato de terpinilo, alcohol etílico, 1,8-cineol, linalool, acetato de linalilo, α -terpineol, geraniol, nerolidol, ácido palmítico, ácido oléico y ácido linoléico. El metabolito secundario con mayor proporción en la oleorresina es el acetato de terpinilo con 60,854 por ciento, y el metabolito secundario con menor proporción en la oleorresina es el farnesal con 0,272 por ciento

El potencial de hidrógeno de la oleorresina de cardamomo se encuentra entre 4,6 – 5,3, el índice de refracción está entre 1,575 - 1,581 y la densidad esta entre 0,956 – 1,011 g/mL. El mayor rendimiento de extracción de oleorresina de cardamomo se obtuvo cuando se realizó la maceración dinámica de cardamomo de primera calidad (15,795 %) y el menor porcentaje de rendimiento de extracción de oleorresina de cardamomo se obtiene cuando se realiza la maceración estática con cardamomo de tercera calidad (5,400 %).

El análisis de varianza para las propiedades físicas de potencial de hidrógeno, índice de refracción y densidad determinó que no existe diferencia significativa entre la maceración dinámica y la maceración estática y que tampoco existe diferencia significativa entre los tipos de la calidad de cardamomo; se aceptan las hipótesis alternativas. Por otra parte, según el análisis de varianza para el rendimiento de extracción de oleorresina, se determinó que sí existe diferencia significativa entre la maceración dinámica y la estática, y también hay diferencia significativa entre los tipos de calidad de cardamomo; se aceptan las hipótesis nulas.

En el análisis sensorial, mediante la prueba hedónica de siete puntos, se estableció que la proporción de cardamomo aceptable para el consumidor es de $X=0,006$ %.

OBJETIVOS

General

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.

Específicos

1. Extraer a nivel planta piloto la oleorresina de semilla de cardamomo, producida en Alta Verapaz, Guatemala. Utilizando dos métodos de maceración, y empleando diferentes clases de calidad de semilla (1ra., 2da. y 3ra. calidad).
2. Analizar la calidad de oleorresina obtenida de las semillas de cardamomo por medio de cromatografía de gases acoplada con espectrometría de masas.
3. Comparar las propiedades físicas de oleorresina de cardamomo a nivel planta piloto con datos de referencia obtenidos a nivel laboratorio.
4. Realizar una mermelada de pera con cardamomo y evaluar el porcentaje de oleorresina de cardamomo en la mermelada mediante un análisis sensorial.

Hipótesis

Es posible realizar un estudio de investigación sobre la lixiviación de las fracciones solubles de la semilla de cardamomo en alcohol etílico al 95 por ciento grado alimenticio utilizando maceración dinámica y estática y empleando 1ra., 2da. y 3ra. calidad de semilla de cardamomo. Estudio de investigación evaluado a escala planta piloto.

Hipótesis científica:

H₀: existe diferencia significativa en las propiedades físicas de la oleorresina obtenida de la semilla de cardamomo, respecto a la calidad de materia prima. Extracción con maceración dinámica.

$$\mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4 \neq 0$$

H₁: no existe diferencia significativa en las propiedades físicas de la oleorresina obtenida de la semilla de cardamomo, respecto a la calidad de materia prima. Extracción con maceración dinámica.

$$\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = 0$$

H₀: existe diferencia significativa en las propiedades físicas de la oleorresina obtenida de la semilla de cardamomo, respecto a la calidad de materia prima. Extracción con maceración estática.

$$\mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4 \neq 0$$

H₁: no existe diferencia significativa en las propiedades físicas de la oleorresina obtenida de la semilla de cardamomo, respecto a la calidad de materia prima. Extracción con maceración estática.

$$\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = 0$$

INTRODUCCIÓN

Las plantas aromáticas han sido utilizadas, durante siglos, en culinaria, en perfumería y como medicamentos. Son empleadas en culinaria, en su forma de plantas deshidratadas, especias y condimentos; en los productos de higiene y tocador, como componentes de formulaciones, o como materia prima para el aislamiento de componentes activos de interés; en la industria de alimentos, como agentes saborizantes y colorantes; en medicina humana y veterinaria, como componentes de formulaciones farmacéuticas; en agricultura, como pesticidas y repelentes de insectos, y como agentes antibacterianos y antifúngicos.

En Guatemala existe una amplia biodiversidad de plantas aromáticas, como algunos ejemplos importantes se tiene el café y el cardamomo, siendo del último, Guatemala el mayor productor a nivel mundial. Por otra parte, el maíz y la caña son plantas con mayor producción en el país de Guatemala. Con la ventaja que se tiene en la producción de cardamomo, es de gran importancia aumentar el valor agregado del mismo y una de las formas de hacerlo es comercializar el cardamomo en forma de extracto y no como materia prima en bruto.

En la industria de alimentos, el cardamomo es utilizado como saborizante principal en varias recetas gastronómicas y caseras, como ejemplos se tienen mermeladas, yogurts, bebidas alcohólicas, caramelos o dulces, entre otros.

1. ANTECEDENTES

Para establecer los parámetros del proceso de extracción de oleorresina de cardamomo y toda la información necesaria sobre él y de las extracciones de oleorresinas se buscaron estudios científicos en las bibliotecas: de la Facultad de Ingeniería, de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia y Central de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

En julio de 2009, en la Escuela de Química de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, el estudiante Adrián Antonio Soberanis Ibáñez realizó el estudio: *Evaluación de propiedades fisicoquímicas de la oleorresina de cardamomo (Elettaria cardamomum, L. Maton) obtenida a nivel laboratorio utilizando dos métodos de lixiviación a tres diferentes temperaturas.*

Estudio en el cual se utilizaron dos métodos de extracción: maceración dinámica y estática, utilizando como solvente etanol al 95 por ciento v/v y cardamomo con un tamaño entre 840 y 1 190 micrones y una humedad menor a 15 por ciento w/w. Se analizaron dos métodos: estático y dinámico (800 rpm), cada extracción se llevó a cabo a tres diferentes temperaturas, 25, 50 y 78 °C. Al realizar el análisis estadístico se determinó que existió diferencia significativa entre cada uno de los métodos.

El método con mayor rendimiento fue la maceración dinámica a 25 °C con un rendimiento de $20,968 \pm 1,073$ por ciento. Además se determinaron cuáles eran los metabolitos secundarios de mayor presencia en la oleorresina de cardamomo, siendo estos: acetato de α -terpinilo, limoneno, α -terpineol, linalool

y nerolidol. La presencia de estos fue determinada a través de cromatografía en capa fina y cromatografía gaseosa acoplada a espectrometría de masas.

En junio del 2006, en la Escuela de Química de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, la estudiante Nora Matilde Deulofeu Gabriel realizó el estudio de: *Determinación del rendimiento de la oleorresina de tres distintas clases de cardamomo (Elettaria cardamomum L. Maton) cultivado en Alta Verapaz, extraída por maceración dinámica y dos solventes distintos, a nivel laboratorio.*

En este estudio se realizaron análisis de tamizaje fitoquímico y análisis cromatográfico de gases, a través del cual se determinó el componente mayoritario en porcentaje en área para cada una de las oleorresinas obtenidas, siendo en la mayoría de los casos el compuesto limonene. Sobre la base del análisis estadístico se concluyó que la clase de cardamomo y el solvente a utilizar no afectaban, significativamente, el porcentaje del rendimiento de oleorresina.

En 2002, Telma Cano, Blanca Chávez, Jorge Godínez y David Monzón ejecutaron el proyecto 6-25, PUIDI-DIGI, denominado: *Obtención y caracterización del aceite esencial y oleorresina de la pimienta negra (Piper nigrum L.) cultivada en Guatemala, evaluando tres distintos tamaños de lote para la extracción del aceite esencial basado en el rango de operación de la planta piloto de extracción del Centro de Investigaciones de Ingeniería (CII/USAC).*

La extracción de aceite esencial se realizó en triplicado con un tiempo de extracción de 4 horas, un tamaño de partícula entre 1 190 y 841 micrones y 15 por ciento de humedad. Para la extracción de oleorresina se evaluaron dos

factores: 3 tamaños de lote (15, 10, 9 libras) y dos concentraciones de solvente (etanol (CH₃CH₂OH) al 95 y 70%). Se realizaron extracciones sucesivas a diferentes tiempos de maceración de la materia prima (36, 48 y 72 horas), hasta llegar a agotamiento de la materia prima.

En el estudio, también se evaluó las propiedades físico-químicas del esencial y oleorresina. Se concluyó que el valor más alto de porcentaje de rendimiento de aceite esencial de la pimienta negra cultivada en Guatemala fue de 0,960 por ciento para un lote de 15 libras, valor cercano al límite inferior que reporta la literatura que está en el rango entre 1-2,300 por ciento. El valor más alto de porcentaje de rendimiento total de oleorresina, efectuando la sumatoria de los rendimientos de las diferentes maceraciones para un tamaño fijo de lote fue de 6,325 por ciento para un lote de 10 libras, utilizando como solvente alcohol etílico al 70 por ciento. Este valor obtenido es mayor que el reportado en la literatura el cual es de 6 por ciento.

Además se obtuvo que los valores de porcentaje de rendimiento total de oleorresina obtenidos utilizando alcohol etílico al 95 por ciento son menores que los obtenidos utilizando alcohol etílico al 70 por ciento. El valor medio de porcentaje de rendimiento total de oleorresina utilizando alcohol etílico al 95 por ciento fue de 4,122. El valor medio de porcentaje de rendimiento total de oleorresina utilizando alcohol etílico al 70 por ciento fue de 7,020 por ciento. valor mayor al reportado en la literatura que es de 6 por ciento.

Los valores promedio obtenidos del principio activo, piperina, en la oleorresina de pimienta negra son de 54,290 por ciento utilizando alcohol etílico al 95 por ciento y 58,650 por ciento utilizando alcohol etílico al 70 por ciento valores cercanos al reportado en la literatura que está en el rango de 53-57 por ciento. Finalmente se concluyó que no existe diferencia significativa en los

valores obtenidos de porcentaje de piperina en la oleorresina en función del tamaño de lote, tiempo de maceración y solvente utilizado.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Cardamomo

“Se llama cardamomo a tres géneros (*amomum*, *afmomum* o *elettaria*) de hierbas perennes de la familia de las *zingiberaceae*, que llegan a medir hasta 4 metros de altura, la semilla es la parte más importante y está compuesta en mayor proporción el llamado 1,8-cineol. Esta planta fue empleada por primera vez hacia el año 700 en la India meridional. Se importó a Europa hacia el 1200. Es oriunda de las selvas tropicales de la India meridional, Sri Lanka, Malasia y Sumatra, y en la actualidad se cultiva también en Nepal, Tailandia y América Central, siendo Guatemala el mayor productor mundial”.¹

2.1.1. Nombre vulgar

“Los nombres vulgares que existen en diferentes lenguajes son: en español se conoce como grana de paraíso, cardamomo y cardamomo malabar. En inglés como cardamom; lesser cardamom, malabar cardamom, heel kalan y bari ilaichi; en catalán únicamente como cardamom; en alemán se conoce como karmamomen y en francés como cardamome.”

2.1.2. Nombre científico

“El nombre científico que recibe el cardamomo es *Elattaria cardamomum* (L.) Maton o *Elettaria cardamomum* (L.) Maton.”²

¹ CÁCERES ESTRADA, Armando. *Vademécum nacional de plantas medicinales*. p. 117.

² *Ibíd.*

2.1.3. Sinónimo taxonómico

“Los sinónimos taxonómicos del cardamomo son: *Amomum cardamomum* L. y *Elettaria cardamomum* var. *Cardamomum*. Etimológicamente, *Amomum* significa especiado o muy aromático”.

2.1.4. Familia

“El cardamomo pertenece a la familia de las *zingiberaceae* o zingiberáceas (traducida del latín al español). Plantas botánicas pertenecientes a esta familia se puede mencionar el jengibre (*zingiber officinale*) y la cúrcuma (*Curcuma longa*)”.

2.1.5. Descripción botánica

“Hierba perenne, rizoma ramificado subterráneo, tallos con hojas de 1,5-4,0 m de alto. Hojas alternas, elípticas o lanceoladas, 0,7-1,0 m de largo. Panículas florales de 0,6-1,3 metros de largo, desde la base de los tallos; flores 3-4 centímetros de largo, blancas o verde pálido, labio central violeta, en un raquis cerrado; bisexual, pero auto-estéril. Frutos en cápsulas triloculares, fusiformes a ovoides, verde pálido a amarillo, 15-20 semillas duras, café oscuro, anguladas, rugosas, con una membrana mucilaginosa.”³

2.1.6. Hábitat

“Nativa de los bosques sombreados de la India, Ceylán y Malasia; crece en bosques lluviosos siempre verdes a alturas de 760-1 500 msnm y temperaturas entre 10-35 °C. En Guatemala se ha aclimatado en la zona norte y costa sur, donde se produce abundantemente para el mercado de exportación, en especial

³ CÁCERES ESTRADA, Armando. *Vademécum nacional de plantas medicinales*. p. 117.

el área de las Verapaces. Es exportado a países del Medio Oriente y la India. 33 000 toneladas métricas se exportaron entre el 2011 y 2012”.⁴

2.1.7. Historia

“Semilla aromática usada desde la antigüedad, conocida como la reina de las especies, es una de las especies más importantes del mundo. Aparece en recetarios de Poliarco, es citado por Avicena y en el antidotario de Reichenau (s. IX). La producción fue dominada por muchos años por India y Sri Lanka, países que producían 90-95 por ciento del abastecimiento mundial, recientemente Guatemala se ha convertido en un gran productor del tipo Malabar, siendo el mayor exportador del mundo”.⁵

2.1.8. Agricultura

“Crece en suelos humíferos y arcillosos. Se propaga por división de rizoma o semilla; por rizoma es más barato y se produce más rápidamente, pero es difícil la producción masiva y es más susceptible a enfermedades. Las semillas se sumergen en agua, se les quita el mucílago, se mezclan con ceniza y se secan a la sombra por 2-3 días; se siembran en camas de 1x6 m cubiertas con arena y paja con riego constante; germinan a los 30-90 días y a los 6 meses se trasplantan a viveros secundarios por 1 año”.⁶

“El campo definitivo se prepara a profundidad; se debe sembrar en surcos de 2x2 a 3x3 m, con deshierbado constante; fertilizar con 600 kg/ha de abono orgánico y químico. Las principales enfermedades en la India son: *Fusarium moniliforme*, *Phytophthora nicotianae* y *P. palmivora*; en Guatemala se ha descrito un mosaico. La primera cosecha se obtiene a los 3 años, es baja, pero aumenta con el tiempo; el rendimiento de cápsulas secas es 80-168 kg/ha; la vida económica de una plantación es 7-15 años. Se colecta la cápsula verde y se seca al sol por 5 días o

⁴ CÁCERES ESTRADA, Armando. *Vademécum nacional de plantas medicinales*. p. 117.

⁵ *Ibíd.*

⁶ *Ibíd.*

en secadores con aire forzado hasta que la semilla contenga menos del 8 por ciento de humedad”.⁷

2.1.9. Usos medicinales atribuidos

“La decocción de semillas se usa para tratar afecciones digestivas (diarrea, disentería, flatulencia, estreñimiento), respiratorias (asma, bronquitis, amigdalitis, tos), nerviosas y renales, dolor de oído y sarcoptosis. La tintura se usa contra la flatulencia; las semillas como masticatorio para indigestión, náusea y halitosis. Tópicamente se usa la infusión y el polvo en la preparación de cataplasmas, emplastos y enemas para tratar induraciones, inflamaciones, tumores y cáncer. Se le atribuye propiedad antiemética, aromática, carminativa, digestiva, diurética, emenagoga, espasmolítica, estomáquica, laxante, masticatoria, refrescante y tónica”.⁸

2.1.10. Otros usos populares

“Las semillas y aceite son muy usadas como condimento culinario: saborizante de bebidas, postres, repostería y caramelos; potencializa el sabor de otros condimentos y combina bien con comino y culantro. En la industria de alimentos se prefieren los aromatizantes y saborizantes de extractos naturales y no sintéticos”.⁹

2.1.11. Farmacología

“En la farmacología experimental los estudios antimicrobianos demuestran que el extracto etanólico de las semillas no tiene actividad contra bacterias gram-positivo, gram-negativo y *C. albicans*. Los estudios farmacológicos demuestran que la semilla y el aceitevolátil tienen actividad estimulante del apetito, digestiva,

⁷ CÁCERES ESTRADA, Armando. *Vademécum nacional de plantas medicinales*.118.

⁸ CÁCERES ESTRADA, Armando. *Vademécum nacional de plantas medicinales*. p. 117.

⁹ *Ibíd.*

carminativa, bacteriostática y antifúngica. Los extractos acuosos (127 mg/kg) y metanólico (109 mg/kg) disminuyen o regulan significativamente la secreción gástrica (volumen de jugo, excreción de ácido y pepsina) 3 horas después de administrar a conejos en el estómago por un catéter gástrico, comparado con la cimetidina".¹⁰

2.1.12. Composición química

"Las semillas tienen aceite esencial (2-8 %), almidón (20-40 %), pentosano, aceite graso (1-4 %), ácidos caprílico, caprónico, palmítico, esteárico, oléico y linoléico, esterol (β -sitosterol), oxalato de calcio, minerales y resina. La composición química del aceite esencial varía según las condiciones climáticas y variedades vegetales. El análisis proximal de 100 g de semilla fresca indica: 311 calorías, agua (8,3 g), proteína (10,8 g), grasa (6,7 g), carbohidratos (68,5 g), fibra (11,3 g), ceniza (5,8 g), calcio (383 mg), fósforo (178 mg), hierro (14 mg), sodio (18 mg), potasio (1 179 mg), tiamina (0,2 mg), riboflavina (0,18 mg), niacina (1,1 mg)".¹¹

"La ceniza de semillas contiene SiO_2 (24,8 %), Na_2CO_3 (20,4 %), CaO (13,3 %), Cl (2,5 %), Al_2O_3 (1,5 %) y MnO (4,3 %). De las semillas secas se obtiene el aceite esencial por destilación por arrastre con vapor con un rendimiento de 3-10 por ciento y por extracción con disolventes orgánicos se obtiene la oleorresina con un rendimiento de 52-58 por ciento es importante resaltar que los métodos de extracción anteriormente mencionados se realizaron a escala laboratorio, los rendimientos a escala planta piloto o escala industrial son menores comparados con los obtenidos a escala laboratorio".¹²

"Las características físico-químicas del aceite esencial son: líquido incoloro o amarillo muy pálido con un aroma penetrante ligeramente alcanforado, persistente, picante y de fuerte sabor aromático, densidad 0,917-0,947, índice de refracción 1,460-1.466, rotación óptica a 25°C +22, 1° a +44,0°, valor ácido 0,36-

¹⁰ CÁCERES ESTRADA, Armando. *Vademécum nacional de plantas medicinales*. p. 117.

¹¹ *Ibíd.*

¹² *Ibíd.*

1,3; índice de saponificación 96,5-156,4; insoluble en agua, soluble en etanol 70 por ciento en relación 1:5, aunque puede ser opalescente; se utiliza para saborizar alimentos, eventualmente en la industria de perfumes y en la industria farmacéutica como carminativo”.

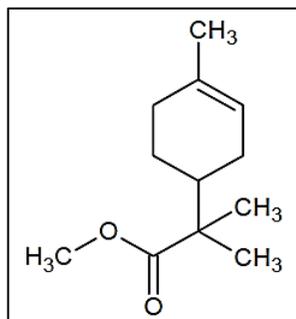
“El aceite esencial producido en Guatemala contiene acetato de α -terpinilo (50,7 %), 1,8-cineol (23,4 %), acetato de linalilo (6,3 %), linalol (4,5 %), sabineno (3,4 %), nerolidol (2,4 %), α -terpineol (1,9 %), α -terpineno (1,5 %), α -pineno (0,7 %), geraniol (0,38 %), β -pineno (0,3 %), neral (0,15 %), acetato de geranilo (0,1 %), limoneno (0,1 %) y otros 20 compuestos más. Algunas estructuras moleculares de los metabolitos secundarios presentes en el cardamomo se esquematizan a continuación”:

2.1.12.1. Acetato α -terpinilo

“Comúnmente llamado acetato de α -terpinilo, el nombre IUPAC es 2, 2 dimetil (4-metilciclohex-3-en-1-il) propanoato. Su fórmula química es $C_{12}H_{20}O_2$, su peso fórmula de 196,286 g/mol; índice de refracción de 1,466, tensión superficial de 31,8 dinas/cm y densidad de 0,962 g/cm³; composición presente de 73,43 por ciento de carbono, 10,27 por ciento de hidrógeno y 16,30 por ciento de oxígeno. Su estructura molecular se puede observar en la figura 1”.¹³

¹³ CÁCERES ESTRADA, Armando. *Vademécum nacional de plantas medicinales*. p. 117.

Figura 1. Estructura molecular de acetato de α -terpinilo



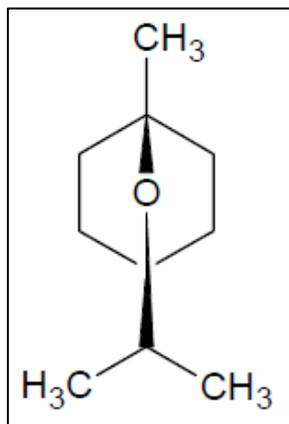
Fuente: SOBERANIS IBÁÑEZ, Adrián Antonio. *Evaluación de propiedades fisicoquímicas de la oleorresina de cardamomo obtenida a nivel laboratorio utilizando dos métodos de lixiviación a tres diferentes temperaturas.* p. 23.

2.1.12.2. 1, 8-cineol

“Su nombre abreviado es 1,8-cineol, pero IUPAC es 1, 3, 3 - trimetil – 2 - oxabicyclo [2.2.2] octano. Su fórmula química es $C_{10}H_{18}O$, su peso formula de 154,249 g/mol, índice de refracción de 1,461, tensión superficial de 32,4 dinas/cm y densidad de $0,922 \text{ g/cm}^3$; composición atómica presente en la molécula de 77,87 por ciento de carbono, 11,76 por ciento de hidrógeno y 10,37 por ciento de oxígeno. Es de gran importancia destacar la presencia de este compuesto en las semillas de cardamomo, porque dicho compuesto es el que se encuentra en mayor proporción en los extractos obtenidos a partir de esta semilla, hecho que se justifica según los análisis cromatográficos de gases acoplado con espectrometría de masas. La estructura molecular se observa en la figura 2”.¹⁴

¹⁴ SOBERANIS IBÁÑEZ, Adrián Antonio. *Evaluación de propiedades fisicoquímicas de la oleorresina de cardamomo obtenida a nivel laboratorio utilizando dos métodos de lixiviación a tres diferentes temperaturas.* p. 23.

Figura 2. Estructura molecular de 1, 8-cineol



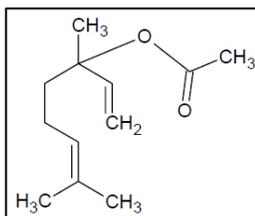
Fuente: SOBERANIS IBÁÑEZ, Adrián Antonio. *Evaluación de propiedades fisicoquímicas de la oleorresina de cardamomo obtenida a nivel laboratorio utilizando dos métodos de lixiviación a tres diferentes temperaturas.* p. 21.

2.1.12.3. Acetato de linalilo

“Su nombre abreviado es acetato de linalilo, pero su nombre IUPAC es 1, 5-dimetil-1-vinilhex-4-en-1-il acetato. Su fórmula química es C₁₂H₂₀O₂, su peso formula de 196,286 g/mol, índice de refracción de 1,452, tensión superficial de 27,7 dinas/cm y densidad de 0,897 g/cm³; composición presente de 73,43 por ciento de carbono, 10,27 por ciento de hidrógeno y 16,30 por ciento de oxígeno. Su estructura molecular se observa en la figura 3”.¹⁵

¹⁵ SOBERANIS IBÁÑEZ, Adrián Antonio. *Evaluación de propiedades fisicoquímicas de la oleorresina de cardamomo obtenida a nivel laboratorio utilizando dos métodos de lixiviación a tres diferentes temperaturas.* p. 21.

Figura 3. Estructura molecular de acetato de linalilo

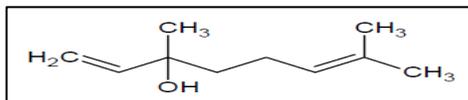


Fuente: SOBERANIS IBÁÑEZ, Adrián Antonio. *Evaluación de propiedades fisicoquímicas de la oleorresina de cardamomo obtenida a nivel laboratorio utilizando dos métodos de lixiviación a tres diferentes temperaturas.* p. 26.

2.1.12.4. Linalol

“Su nombre abreviado es linalol, pero su nombre IUPAC es 3, 7 dimetil 1, 6 dieno 3 octanol. Su fórmula química es $C_{10}H_{18}O$, su peso fórmula de 154,249 g/mol, índice de refracción de 1,463, tensión superficial de 28,2 dinas/cm y densidad de 0,858 g/cm³; composición presente de 77,87 por ciento de carbono, 11,76 por ciento de hidrógeno y 10,37 por ciento de oxígeno. Su estructura molecular se puede observar en la figura 4”.¹⁶

Figura 4. Estructura molecular de linalol



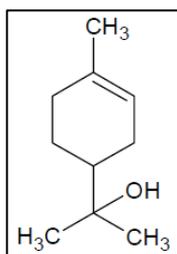
Fuente: SOBERANIS IBÁÑEZ, Adrián Antonio. *Evaluación de propiedades fisicoquímicas de la oleorresina de cardamomo obtenida a nivel laboratorio utilizando dos métodos de lixiviación a tres diferentes temperaturas.* p. 25.

¹⁶ SOBERANIS IBÁÑEZ, Adrián Antonio. *Evaluación de propiedades fisicoquímicas de la oleorresina de cardamomo obtenida a nivel laboratorio utilizando dos métodos de lixiviación a tres diferentes temperaturas.* p. 25.

2.1.12.5. α -terpineol

“Su nombre abreviado es α -terpineol, pero su nombre IUPAC es 2 - (4 - metilciclohex-3-en-1-il) 2 propanol. Su fórmula química es $C_{10}H_{18}O$, su peso fórmula de 154,249 g/mol, índice de refracción de 1,482, tensión superficial de 33,2 dinas/cm y densidad de 0,934 g/cm³; composición presente de 77,87 por ciento de carbono, 11,76 por ciento de hidrogeno y 10,37 por ciento de oxígeno. Su estructura molecular se puede observar en la figura 5”.¹⁷

Figura 5. Estructura molecular de α -terpineol



Fuente: SOBERANIS IBÁÑEZ, Adrián Antonio. *Evaluación de propiedades fisicoquímicas de la oleorresina de cardamomo obtenida a nivel laboratorio utilizando dos métodos de lixiviación a tres diferentes temperaturas.* p. 25.

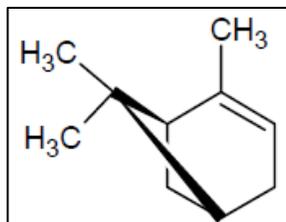
2.1.12.6. α -pineno

“Su nombre abreviado es α -pineno, pero su nombre IUPAC es 2, 6, 6 - trimetilbicyclo [3.1.1] hept - 2 - en. Su fórmula química es $C_{10}H_{16}$, su peso fórmula de 136,234 g/mol, índice de refracción de 1,479, tensión superficial de 25,3 dinas/cm y densidad de 0,879 g/cm³; composición presente de 88,16 por ciento de

¹⁷ SOBERANIS IBÁÑEZ, Adrián Antonio. *Evaluación de propiedades fisicoquímicas de la oleorresina de cardamomo obtenida a nivel laboratorio utilizando dos métodos de lixiviación a tres diferentes temperaturas.* p. 24.

carbono y 16.84 por ciento de hidrógeno. Su estructura molecular se puede observar en la figura 6".¹⁸

Figura 6. Estructura molecular de α -pineno



Fuente: SOBERANIS IBÁÑEZ, Adrián Antonio. *Evaluación de propiedades fisicoquímicas de la oleorresina de cardamomo obtenida a nivel laboratorio utilizando dos métodos de lixiviación a tres diferentes temperaturas.* p. 28.

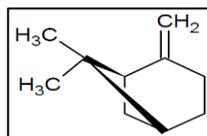
2.1.12.7. β -pineno

“Su nombre abreviado es β -pineno, pero su nombre IUPAC es 6,6 – dimetil – 2 – metilenebicyclo [3.1.1] heptano. Su fórmula química es $C_{10}H_{16}$, su peso fórmula de 136,234 g/mol, índice de refracción de 1,483, tensión superficial de 27,0 dinas/cm y densidad de 0,88 g/cm³; composición presente de 88,16 por ciento de carbono y 11.84 por ciento de hidrógeno. Su estructura molecular se puede observar en la figura 7”.¹⁹

¹⁸ SOBERANIS IBÁÑEZ, Adrián Antonio. *Evaluación de propiedades fisicoquímicas de la oleorresina de cardamomo obtenida a nivel laboratorio utilizando dos métodos de lixiviación a tres diferentes temperaturas.* p. 28.

¹⁹ *Ibíd.*

Figura 7. Estructura molecular de β -pineno

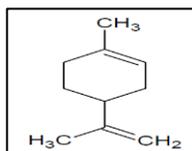


Fuente: SOBERANIS IBÁÑEZ, Adrián Antonio. *Evaluación de propiedades fisicoquímicas de la oleorresina de cardamomo obtenida a nivel laboratorio utilizando dos métodos de lixiviación a tres diferentes temperaturas.* p. 27.

2.1.12.8. Limoneno

“Su nombre abreviado es limoneno, pero su nombre IUPAC es 4-isopropenil-1-metilciclohexeno. Su fórmula química es C₁₀H₁₆, el peso fórmula de este componente es de 136,234 g/mol, índice de refracción de 1,467, tensión superficial de 25,8 dinas/cm y densidad de 0,834 g/cm³; la composición presente de esta molécula es de 88,16 por ciento de carbono y 11.84 por ciento de hidrógeno. La estructura molecular de este componente se puede observar según la figura 8”.²⁰

Figura 8. Estructura molecular de limoneno



Fuente: SOBERANIS IBÁÑEZ, Adrián Antonio. *Evaluación de propiedades fisicoquímicas de la oleorresina de cardamomo obtenida a nivel laboratorio utilizando dos métodos de lixiviación a tres diferentes temperaturas.* p. 29.

²⁰ SOBERANIS IBÁÑEZ, Adrián Antonio. *Evaluación de propiedades fisicoquímicas de la oleorresina de cardamomo obtenida a nivel laboratorio utilizando dos métodos de lixiviación a tres diferentes temperaturas.* p. 29.

2.2. Lixiviación

“La lixiviación es una operación unitaria de extracción sólido-líquido y se trata de la disolución preferente de uno o más componentes de una mezcla sólida por contacto con un disolvente líquido. Esta operación unitaria, una de las más antiguas en la industria química, ha recibido muchos nombres, según la técnica más o menos compleja utilizada para llevarla a cabo. La colada se refería originalmente a la percolación del líquido a través de un lecho fijo del sólido, pero en la actualidad se utiliza para describir la operación en forma general, sin importar la forma en que se realice. Lixiviación se utiliza con menos frecuencia como sinónimo para colada...”²¹

“El término extracción también se puede emplear por lo común para describir esta operación en particular, aunque también se aplica a todas las operaciones en las que involucra el proceso de separación, ya sea empleando métodos de transferencia de masa o empleando métodos mecánicos. La decocción se refiere específicamente al uso del disolvente a su temperatura de ebullición, independientemente de la presión dentro del sistema; la temperatura de ebullición es menor cuando se realiza presión de vacío dentro del sistema. Cuando el material soluble está sobre todo en la superficie de un sólido insoluble y simplemente se lava con el disolvente, la operación algunas veces recibe el nombre de elución”.²²

“Muchos productos orgánicos naturales se separan de sus estructuras originales mediante lixiviación. Por ejemplo, el azúcar se separa por lixiviación de la remolacha con agua caliente; los aceites vegetales se recuperan a partir de semillas, como las de soya y de algodón mediante la lixiviación con disolventes orgánicos; el tanino se disuelve a partir de diferentes cortezas arbóreas mediante lixiviación con agua; en forma similar, muchos productos farmacéuticos se recuperan a partir de raíces y hojas de plantas”.²³

²¹ TREYBAL, Robert F. *Operaciones de transferencia de masas*. p. 792.

²² Op. Cit. p. 793.

²³ *Ibíd.*

“El té y el café se preparan doméstica e industrialmente por operaciones de lixiviación. Además, los precipitados químicos con frecuencia se lavan de sus aguas madres adheridas mediante técnicas y equipo muy similares a los utilizados en las verdaderas operaciones de lixiviación, como en el lavado del licor de sosa cáustica del carbonato de calcio precipitado después de la reacción entre óxido de calcio y carbonato de sodio”.²⁴

2.2.1. Preparación del sólido

“El éxito de una lixiviación y la técnica que se va a utilizar dependen con mucha frecuencia de cualquier tratamiento anterior que se le pueda dar al sólido. En algunos casos, las pequeñas partículas del material soluble están completamente rodeadas de una matriz de materia insoluble. Entonces, el disolvente se debe difundir en la masa y la solución resultante se debe difundir hacia el exterior antes de poder lograr una separación. Los cuerpos vegetales y animales tienen una estructura celular, los productos naturales que se van a lixiviar a partir de estos materiales se encuentran, generalmente dentro de las células. Por lo tanto, es conveniente realizar un proceso previo a la lixiviación la cual involucre el rompimiento de las paredes celulares”.²⁵

“Si las paredes celulares permanecen intactas después de la exposición a un disolvente, entonces en la acción de lixiviación interviene la ósmosis del soluto a través de las paredes celulares. Este puede ser un proceso lento. Moler el material lo suficientemente pequeño como para liberar el contenido de las células es poco práctico y algunas veces indeseable. Así, la remolacha se corta en rebanadas delgadas, en forma de cuñas, antes de la lixiviación, a fin de reducir el tiempo requerido para que el agua disolvente llegue a cada célula vegetal. Sin embargo, las células se dejan deliberadamente intactas, de forma que el azúcar pase a través de las paredes celulares semipermeables y que los indeseables materiales coloidales y albumínicos queden casi completamente detrás”.²⁶

²⁴ TREYBAL, Robert F. *Operaciones de transferencia de masas*. p. 793.

²⁵ *Ibíd.*

²⁶ *Op. cit.* p. 794.

“En el caso de ciertos productos farmacéuticos, recuperados a partir de raíces, tallos y hojas vegetales, el material vegetal con frecuencia se seca antes del tratamiento; esto favorece la ruptura de las paredes celulares y la liberación del soluto mediante la acción directa del disolvente. Las semillas vegetales y los cereales, se aplanan o se hacen hojuelas para obtener partículas más pequeñas. Por supuesto, las células tienen un tamaño menor, pero se rompen bastante; entonces, los aceites se ponen más fácilmente en contacto con el disolvente”.²⁷

“Cuando el soluto se adsorbe sobre la superficie de las partículas sólidas o se disuelve simplemente en una solución adherente, no es necesaria la trituración o molienda y las partículas pueden lavarse directamente. La solvatación de las partículas vegetales o animales depende de la polaridad característica del solvente empleado para dicha extracción, los solventes comúnmente usados por su alta polaridad es el etanol, hexano y agua”.²⁸

2.2.2. Temperatura de lixiviación

“Por lo general se desea realizar la lixiviación a temperaturas lo más elevadas posible, estas producen la mayor solubilidad del soluto en el disolvente y, en consecuencia, concentraciones finales mayores en el licor de lixiviación. A temperaturas elevadas, la viscosidad del líquido es menor y mayores las difusividades; esto incrementa la rapidez de lixiviación. En el caso de algunos productos naturales, como las remolachas, las temperaturas muy elevadas pueden producir la lixiviación de cantidades excesivas de solutos indeseables o de deterioro químico del sólido”.²⁹

2.2.3. Métodos de operación y equipo

“Las operaciones de lixiviación se realizan por lotes o semilotes (estado no estacionario) y también en condiciones totalmente continuas (estado estacionario).

²⁷ TREYBAL, Robert F. *Operaciones de transferencia de masas*. p. 794.

²⁸ *Ibíd.*

²⁹ *Ibíd.*

En cada categoría se encuentran equipos del tipo de etapas y de contacto continuo. Se utilizan dos técnicas principales de manejo: la aspersion o goteo del líquido sobre el sólido y la completa inmersión del sólido en el líquido. En cualquier caso, la elección del equipo que se va a utilizar depende bastante de la forma física de los sólidos y de las dificultades y costo de manejo. En muchos casos, esto ha llevado al uso de equipos muy especializados en ciertas industrias”.³⁰

“El estado estacionario o no estacionario depende del equilibrio en el que se encuentra el sistema y si este es aislado o no. Es decir, un sistema aislado está en equilibrio si cumple con las condiciones: (a) las propiedades macroscópicas dentro y fuera de este permanecen constantes conforme el tiempo y (b) si se suprime el contacto entre sistema y entorno las propiedades macroscópicas no cambian. Si se cumple la condición a, pero no la b, se dice que el sistema se encuentra en estado continuo o en estado estacionario”.

2.2.4. Operación en estado no estacionario

“Las operaciones en estado no estacionario incluyen aquellas en que los sólidos y los líquidos se ponen en contacto únicamente en forma de lotes y también aquellas en que un lote del sólido se pone en contacto con una corriente que fluye continuamente del líquido (método por semilotes). Las partículas sólidas gruesas, generalmente se tratan en lechos fijos mediante métodos de percolación, mientras que los sólidos finamente divididos, que pueden mantenerse más fácilmente en suspensión, pueden dispersarse en todo el líquido con la ayuda de algún tipo de agitador”.³¹

2.2.4.1. Lixiviación *in situ*

“Esta operación, que algunas veces se llama minería en solución, se refiere a la lixiviación por percolación de los minerales en la mina, mediante la circulación del

³⁰ TREYBAL, Robert F. *Operaciones de transferencia de masas*. p. 795.

³¹ *Ibíd.*

disolvente sobre y a través del cuerpo del mineral. La lixiviación *in situ* se utiliza regularmente, para obtener sal a partir de los depósitos en la superficie de la tierra mediante la disolución de la sal en agua, la cual se bombea hasta el depósito. Se ha aplicado a la lixiviación de minerales con bajo contenido de cobre, tan bajo como 0,2 por ciento de cobre. En la minería en solución para uranio, el mineral debe oxidarse *in situ*, para solubilizarlo en soluciones de carbonato. Los reactivos pueden inyectarse continuamente a través de una serie de tuberías que bajan hasta la veta; el licor resultante se obtiene a través de otra serie de tuberías”.³²

2.2.4.2. Lixiviación a la intemperie

“Los minerales con bajo contenido, cuyo valor en mineral no garantiza el gasto de molienda o trituración, pueden lixivarse en forma de rocas extraídas de la mina y colocadas en grandes montones sobre terreno impermeable. El licor de lixiviación se bombea sobre el mineral y se obtiene cuando sale del montón. El cobre se ha lixiviado de esta forma a partir de minerales de pirita en montones que contienen hasta $2,2 \times 10^7$ toneladas métricas de mineral; con este propósito se han utilizado más de 20 000 m³ diarios de licor de lixiviación. Tal vez se necesiten 7 o más años para reducir el contenido de cobre de estos montones del 2 al 0,3 por ciento”.³³

2.2.4.3. Tanques de percolación

“Los sólidos de tamaño intermedio pueden lixivarse adecuadamente con métodos de percolación en tanques abiertos. La construcción de estos tanques varía bastante, según la naturaleza del sólido y del líquido que se van a manejar y el tamaño de la operación, pero son relativamente baratos. Los tanques pequeños, frecuentemente se hacen de madera, siempre y cuando este material no sea atacado químicamente por el líquido de lixiviación. Las partículas sólidas por lixiviar descansan sobre un fondo falso, que en la construcción más sencilla consiste en una rejilla de tiras de madera colocadas en forma paralela unas con respecto a otras y lo suficientemente cercanas para sostener al sólido”.³⁴

³² TREYBAL, Robert F. *Operaciones de transferencia de masas*. p. 799.

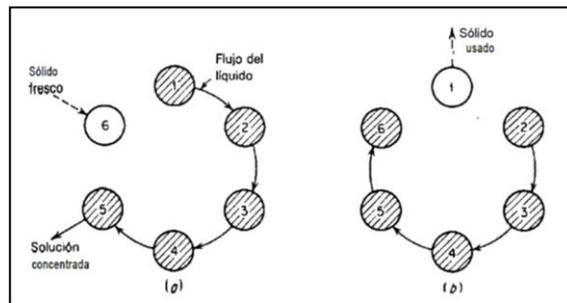
³³ *Ibíd.*

³⁴ *Ibíd.*

2.2.4.4. Contacto múltiple a contra-corriente; el sistema de Shanks

“La lixiviación y el lavado del soluto lixiviado de los tanques de percolación por métodos a corriente tangencial ya descritos, inevitablemente darán soluciones diluidas del soluto. Se obtendrá una solución más concentrada si se emplea un esquema a contra-corriente, en donde la solución final obtenida se logra por contacto con el sólido más fresco y en donde el disolvente más fresco se agrega al solido del cual ya se ha lixiviado o lavado la mayoría del soluto”.³⁵

Figura 9. Contacto múltiple a contra-corriente, sistema de Shanks



Fuente: TREYBAL, Robert. *Operaciones de transferencia de masa*. p. 800.

Con el fin de evitar el movimiento físico de los sólidos de tanque en este proceso, se utiliza el arreglo de la figura 9, que se muestra en forma esquemática para un sistema de seis tanques. El sistema de Shanks, como se llama, se opera de la siguiente manera:³⁶

³⁵ TREYBAL, Robert F. *Operaciones de transferencia de masas*. p. 800.

³⁶ *Ibíd.*

Figura 10. Sistema de Shanks

1. Supóngase que en el momento de examinarlo, el sistema de la figura 9a ya tiene cierto tiempo en operación. El tanque 6 está vacío; los tanques del 1 al 5, están llenos de sólido; el que se ha llenado más recientemente es el tanque 5 y el que lleva más tiempo, el tanque 1. Los tanques del 1 al 5 también están llenos con el líquido de lixiviación; el más concentrado se encuentra en el tanque 5, porque está en contacto con el sólido más fresco. En el tanque 1 se acaba de agregar disolvente fresco.
2. Sáquese la solución concentrada del tanque 5, transfírase el líquido del tanque 4 al 5, del 3 al 4, del 2 al 3 y del 1 al 2. Agréguese sólido fresco con el tanque 6.
3. Descártese el sólido agotado del tanque 1. Transfírase el líquido del tanque 5 al 6, del 4 al 5, del 3 al 4 y del 2 al 3. Agréguese disolvente fresco en el tanque 2. Las condiciones son ahora idénticas a las iniciales en la figura 9a.
4. Continúe la operación de la misma manera que antes.

Fuente: elaboración propia.

2.2.4.5. Percolación en tanques cerrados

“Cuando la caída de presión para el flujo del líquido es demasiado grande para el flujo por gravedad, se deben utilizar tanques cerrados y bombear el líquido a través del lecho de sólido. Algunas veces estos tanques reciben el nombre de difusores. Los tanques cerrados, también son necesarios para evitar las pérdidas por evaporación cuando el disolvente es muy volátil o cuando se desean temperaturas superiores al punto normal de ebullición del disolvente”.³⁷

“Por ejemplo, algunos taninos se tratan por lixiviación con agua a 120 °C, 345 kN/m² (50 psi) de presión en tanques cerrados de percolación. Los diseños varían considerablemente, según su aplicación. En el caso de la lixiviación de azúcar a

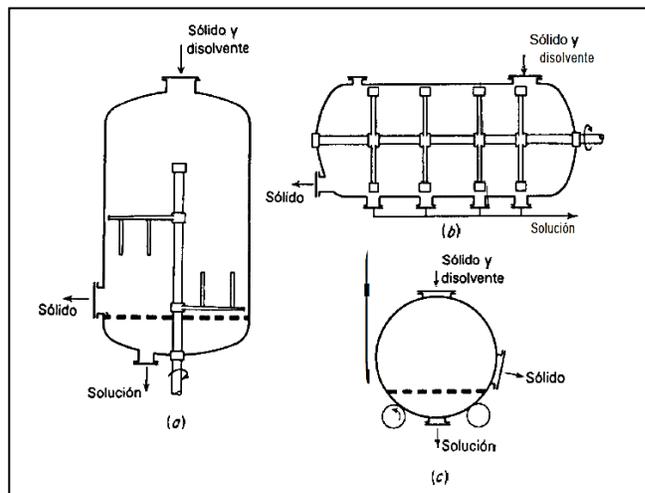
³⁷ TREYBAL, Robert F. *Operaciones de transferencia de masas*. p. 800.

partir de las rebanadas de remolacha, se utiliza un difusor; estos difusores se colocan en batería con 16 tanques como máximo”.³⁸

2.2.4.6. Lixiviación en filtro prensa

“Los sólidos finamente divididos, demasiado finos para ser tratados por percolación en tanques de percolación relativamente profundos, pueden filtrarse y lixivarse en el filtro prensa por bombeo del disolvente a través de la torta de la prensa. Evidentemente, esta práctica es común en el lavado de las aguas madres de precipitados que se han filtrado”.³⁹

Figura 11. Tanques de lixiviación por lotes con agitación



Fuente: TREYBAL, Robert. *Operaciones de transferencia de masa*. p. 802.

³⁸ TREYBAL, Robert F. *Operaciones de transferencia de masas*. p. 800.

³⁹ Op. cit. p. 801.

2.2.4.7. Tanques con agitación

“El acanalamiento del disolvente en la percolación o en la lixiviación mediante filtros prensa de lechos fijos, y su lenta e incompleta lixiviación subsecuente, pueden evitarse mediante la agitación del líquido y el sólido en tanques de lixiviación. Para sólidos gruesos se han diseñado muchos tipos de tanques con agitación. En estos casos, los tanques cilíndricos cerrados se colocan en forma vertical (figura 11a) y se les ponen remos o agitadores sobre ejes verticales, lo mismo que fondos falsos para el drenado de la solución de lixiviación al final del proceso”.⁴⁰

“En otros casos, los tanques son horizontales, como en la figura 10b, con el agitador colocado sobre un eje horizontal. En algunos casos, un tambor horizontal es el tanque de extracción y el sólido y el líquido se golpean dentro mediante la rotación del tambor sobre rodillos, como en la figura 10c. Estos aparatos se operan por lotes y proporcionan una sola etapa de lixiviación. Se pueden utilizar solos, pero con frecuencia, también se utilizan en baterías colocadas para la lixiviación a contracorriente. Se han utilizado bastante en las instalaciones europeas más antiguas y en las sudamericanas, para la lixiviación de aceites vegetales a partir de semillas; pero son raros en Norteamérica”.⁴¹

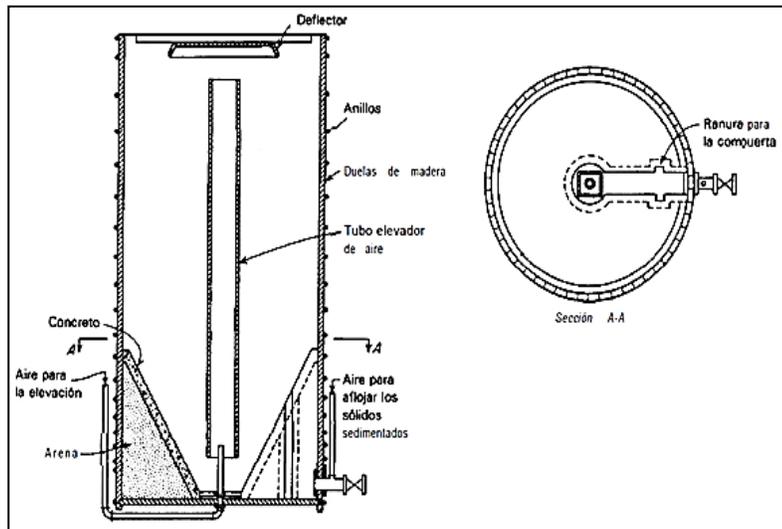
“Los sólidos finamente divididos se pueden suspender en los disolventes de lixiviación por agitación; para la operación por lotes se utiliza una gran variedad de tanques con agitación. El más sencillo es el tanque Pachuca (figura 12) que se ha usado ampliamente en las industrias metalúrgicas. Estos tanques pueden construirse de madera, metal o concreto y pueden cubrirse con un metal inerte como plomo”.⁴²

⁴⁰ TREYBAL, Robert F. *Operaciones de transferencia de masas*. p. 803.

⁴¹ Op. cit. p. 804.

⁴² *Ibíd.*

Figura 12. Tanque Pachuca



Fuente: TREYBAL, Robert. *Operaciones de transferencia de masa*. p. 803.

2.2.4.8. Percolación versus agitación

“Si se va a lixiviar un sólido en la forma de grandes rocas, con frecuencia se debe decidir si han de triturarse hasta pedazos grandes, si ha de realizarse la lixiviación por percolación o si se molerán finamente y si la lixiviación será realizada mediante agitación y sedimentación. No es posible una respuesta general a este problema, debido a las diversas características de lixiviación de los diferentes sólidos y a los distintos valores del soluto; no obstante, entre las consideraciones se encuentran las siguientes”:⁴³

“El molido fino es más costoso, pero proporciona una lixiviación más completa y más rápida. Tiene la desventaja de que siendo el peso del líquido asociado con el sólido sedimentado tan grande como el peso del sólido, se utilizará una cantidad considerable de disolvente para eliminar del sólido lixiviado el soluto y la solución

⁴³ TREYBAL, Robert F. *Operaciones de transferencia de masas*. p. 808.

resultante estará diluida. Las partículas trituradas grandes, por otra parte, se lixivian con más lentitud y posiblemente de modo menos completo, pero a lo largo del drenado pueden retener relativamente poca solución, requieren menos lavado y, por lo tanto, proporcionan una solución final más concentrada”.⁴⁴

- “En el caso de sólidos más fibrosos, como la caña de azúcar que se lixivia con agua para separar el azúcar, se ha demostrado que la lixiviación es por lo general, más eficiente en un tanque bien agitado que por percolación, probablemente debido a que la gran cantidad de retención estática del líquido hace imposible la obtención de cantidades importantes del soluto. Por lo tanto, surge la necesidad de considerar las especificaciones o la finalidad con la que se desea trabajar el proceso de lixiviación, considerando el tamaño de partícula, el tipo de materia prima, la eficiencia del equipo, el producto final, sus especificaciones y otros parámetros de menor importancia, pero significativos”.⁴⁵

2.2.5. Operación en estado estacionario (continuo)

“El equipo para las operaciones en estado estacionario continuo puede clasificarse en dos grandes categorías principales: operado por etapas o en contacto continuo. Algunas veces, el equipo por etapas puede montarse en unidades múltiples para producir efectos de varias etapas; el equipo de contacto continuo puede proporcionar el equivalente a muchas etapas en un único aparato. La selección y ordenamiento adecuado de los equipos o equipo, mejorará óptimamente el proceso de producción, independiente del tipo de proceso que se realice”.⁴⁶

2.2.5.1. Lixiviación durante el molido

Como ya se indicó, muchos sólidos deben ser molidos para que las porciones solubles sean accesibles a los disolventes de lixiviación; además, si se practica el molido húmedo continuo, parte de la lixiviación puede lograrse en ese momento.

⁴⁴ TREYBAL, Robert F. *Operaciones de transferencia de masas*. p. 808.

⁴⁵ *Ibíd.*

⁴⁶ *Ibíd.*

Por ejemplo, del 50 al 75 por ciento del oro soluble puede disolverse mediante la molienda del mineral en presencia de una solución de cianuro. En forma similar, las semillas de ricino se muelen en un molino por frotación con un disolvente para el aceite de ricino. El líquido y el sólido fluyen a través de un molino en paralelo y, en consecuencia, tienden a alcanzar su concentración en el equilibrio. Por lo tanto, estas operaciones son lixiviaciones en una sola etapa y, generalmente se completan mediante operaciones de agitación o lavado.⁴⁷

2.2.5.2. Tanques con agitación

Los sólidos finamente molidos, que son fáciles de suspender en líquidos por medio de la agitación, pueden lixivarse continuamente en cualquiera de los muchos tipos de tanques con agitación. Estos pueden utilizarse para el flujo continuo del líquido y del sólido en y fuera del tanque y deben diseñarse con cuidado para que no haya acumulación del sólido. Debido al mezclado completo que se obtiene de ordinario, estos aparatos funcionan en una sola etapa; además, el líquido y el sólido tienden a alcanzar el equilibrio en el tanque. Pueden utilizarse los tanques agitados mecánicamente, para los cuales es probable, que el agitador de tipo de turbina sea generalmente el más adecuado.⁴⁸

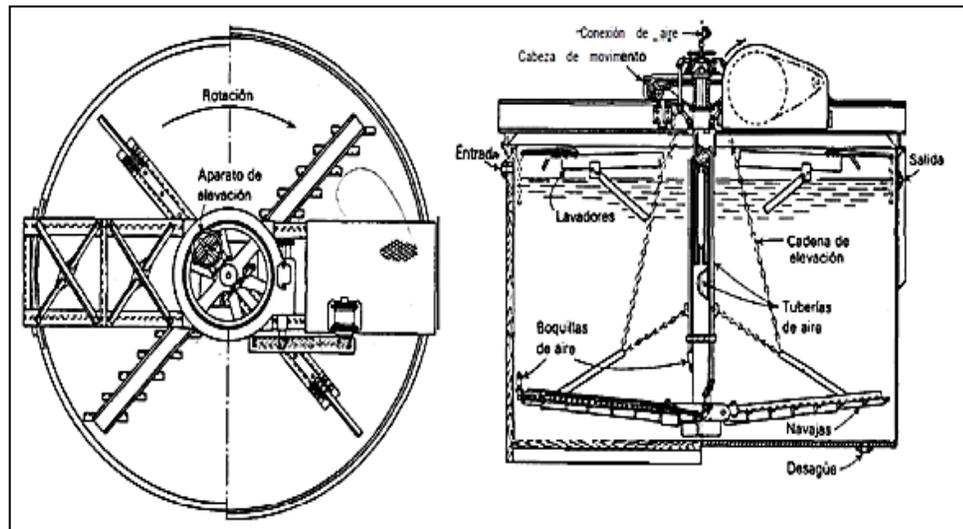
El agitador de Dorr (figura 13) utiliza tanto el principio de transporte de material con aire como el raspado mecánico de los sólidos; es muy usado tanto en la industria metalúrgica como química para la lixiviación continua y el lavado de sólidos finamente divididos. El eje central hueco del agitador actúa como un transporte de material con aire, y al mismo tiempo gira lentamente. Los brazos unidos a la parte inferior del eje raspan los sólidos sedimentados hacia el centro del fondo del tanque, en donde se levantan mediante la elevación de aire a través del eje hasta unos lavadores unidos a la parte superior.⁴⁹

⁴⁷ Op. Cit. p. 809.

⁴⁸ TREYBAL, Robert F. *Operaciones de transferencia de masas*. p. 809.

⁴⁹ *Ibíd.*

Figura 13. Agitador de Dorr



Fuente: TREYBAL, Robert. *Operaciones de transferencia de masa*. p. 810.

“Entonces, los lavadores distribuyen la mezcla elevada de líquido y sólido sobre toda la sección transversal del tanque. Los brazos de raspado pueden levantarse para eliminar los sólidos que hayan quedado sedimentados en ellos durante el tiempo en que la máquina no funcionó; también tienen unas tuberías de aire auxiliares para favorecer la eliminación del sólido sedimentado. Para sólidos de tamaño variado, la operación del agitador puede ajustarse de tal forma que las partículas gruesas, que pueden requerir mayor tiempo de lixiviación, permanezcan en el tanque por periodos más largos que las finas. Estos agitadores generalmente se construyen en tamaños que van desde 1,5 hasta 12 metros de diámetro”.⁵⁰

2.2.5.3. Espesadores

“Son aparatos mecánicos diseñados, especialmente para aumentar en forma continua la relación de sólidos a líquido en una suspensión diluida de partículas

⁵⁰ TREYBAL, Robert F. *Operaciones de transferencia de masas*. p. 810.

muy finas mediante la sedimentación y la decantación, con lo cual se produce un líquido claro y un lodo espeso en forma de dos productos separados. Los espesadores pueden utilizarse antes que cualquier filtro para reducir los costos de filtración. Dado que los dos efluentes se pueden bombear y, en consecuencia, ser transportados fácilmente, los espesadores se utilizan con frecuencia para lavar los sólidos lixiviados y los precipitados químicos, para eliminar la solución adherente en un arreglo continuo a contracorriente en varias etapas; esta aplicación es la que interesa en el presente estudio”.⁵¹

2.2.5.4. Decantación a contra-corriente continua

“El equipo de lixiviación, como agitadores y molinos, puede descargar el efluente en una cascada de espesadores, para el lavado a contra-corriente continua de los sólidos finamente divididos que han de liberarse del soluto adherido. Puede utilizarse el mismo tipo de cascada para lavar los sólidos formados durante reacciones químicas, como en la fabricación de ácido fosfórico por tratamiento de la roca de fosfato con ácido sulfúrico, o de sulfato de bario por la reacción de ácido sulfúrico y sulfuro de bario, o de litopona. Para plantas pequeñas de decantación, es posible obtener una cascada a contra-corriente de espesadores construidos uno encima del otro en una sola estructura”.⁵²

2.2.5.5. Lixiviación de semillas vegetales

“Las semillas de algodón, soya, semillas de lino, cacahuates, salvado, ricino y muchos otros productos similares, con frecuencia sufren la acción de lixiviación, o extracción, con disolventes orgánicos que separan los aceites vegetales que contienen. Las semillas, generalmente deben prepararse en forma especial para obtener la mejor lixiviación; esto puede emitir el descascarar, precocinar, el ajuste del contenido de humedad (agua), el prensado o formación de hojuelas, la reducción del tamaño de partículas y en algunos casos, el enfriamiento de la

⁵¹ TREYBAL, Robert F. *Operaciones de transferencia de masas*. p. 813.

⁵² Op. Cit. p. 813.

materia prima. Algunas veces, una parte del aceite se elimina inicialmente en forma mecánica mediante expulsión o prensado”.⁵³

“Generalmente, los disolventes de lixiviación son naftas de petróleo, para muchos aceites una fracción muy cercana al hexano; los hidrocarburos clorados dejan un residuo demasiado tóxico para el alimento lixiviado y no puede utilizarse para la alimentación animal. La solución aceite-disolvente que, por lo general, contiene una pequeña cantidad de sólidos suspendidos, finamente divididos, se conoce como miscela y los sólidos lixiviados como marca; en esta industria, los diferentes aparatos de lixiviación generalmente se conocen como extractores o reactores”.⁵⁴

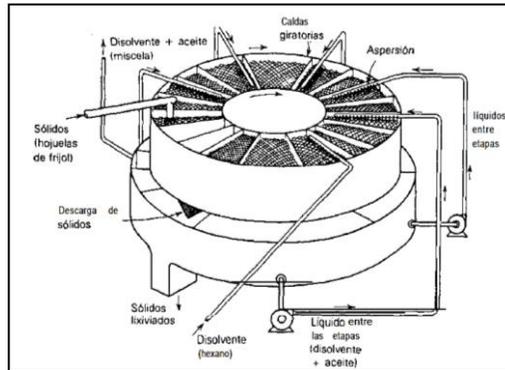
“El Rotocel es básicamente una modificación del sistema de Shanks en donde los tanques de lixiviación se mueven continuamente, de forma que permiten la introducción y descarga continua de los sólidos. En la figura 13 se encuentra una representación esquemática del aparato simplificado para mostrar cómo funciona. Un rotor circular que contiene 18 celdas, cada una con un fondo de pantalla para sostener los sólidos, gira lentamente alrededor de un tanque estacionario con compartimientos. Al girar el rotor, cada celda pasa a su vez debajo de un aparato especial para alimentar las semillas preparadas y bajo una serie de aspersores mediante los cuales cada una se empapa con el disolvente para la lixiviación”.⁵⁵

⁵³ TREYBAL, Robert F. *Operaciones de transferencia de masas*. p. 819.

⁵⁴ Op. Cit. p. 818.

⁵⁵ *Ibíd.*

Figura 14. Arreglo esquemático del Rotocel



Fuente: TREYBAL, Robert. *Operaciones de transferencia de masa*. p. 818.

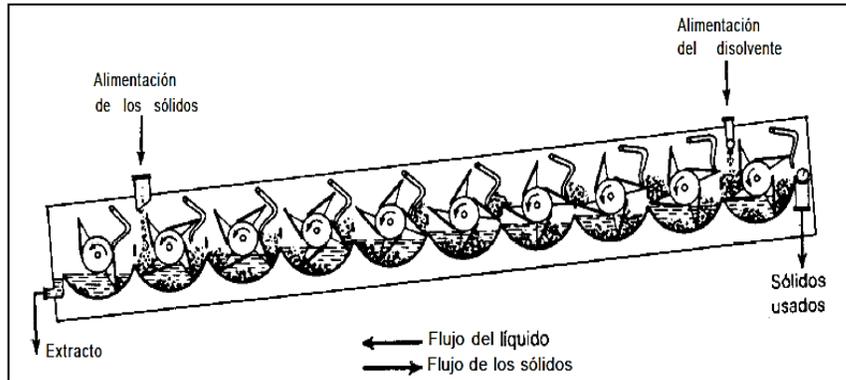
“Después de casi una vuelta, el contenido lixiviado de cada celda se arroja automáticamente a uno de los compartimientos inferiores estacionarios, de los cuales se sacan continuamente. El disolvente de cada aspersion se percuela en forma descendente a través del sólido y de la pantalla de soporte en el compartimiento apropiado del tanque inferior, del cual se bombea continuamente para la siguiente aspersion. La lixiviación es a contracorriente y la solución más concentrada se obtiene con las semillas más frescas. Varios aparatos ingeniosos son necesarios para mantener una operación sencilla; toda la máquina está encerrada en una estructura sellada para evitar que los vapores del disolvente escapen”.⁵⁶

“El extractor francés de canasta estacionaria es una variante del Rotocel. Las hojuelas se encuentran en lechos con compartimentos, estacionarios, llenos de una fuente giratoria para alimentar los sólidos; la lixiviación con el disolvente y la miscela es a contracorriente”.⁵⁷

⁵⁶ TREYBAL, Robert F. *Operaciones de transferencia de masas*. p. 819.

⁵⁷ *Ibíd.*

Figura 15. **Extractor de Kennedy**

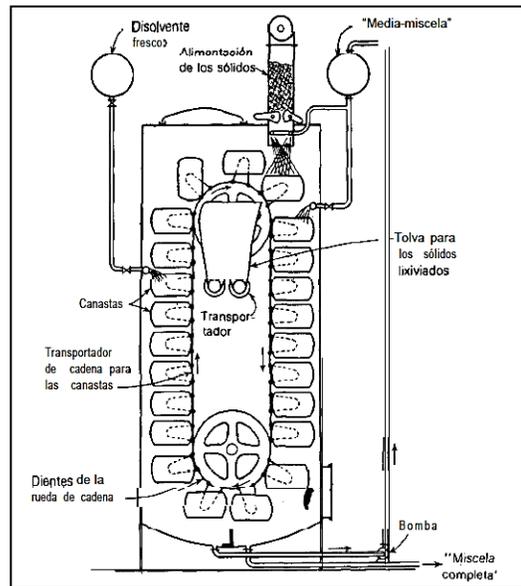


Fuente: TREYBAL, Robert. *Operaciones de transferencia de masa*. p. 819.

“El extractor de Kennedy es un arreglo moderno que se muestra en forma esquemática en la figura 14. Es otro aparato por etapas que se había utilizado desde 1927, para la lixiviación de taninos en la corteza de roble. Ahora se utiliza para las operaciones de lixiviación de los aceites de semillas y otras operaciones de lixiviación química. Los sólidos se lixivian en una serie de tinas y se empujan de una a otra mediante unos remos para formar una cascada, mientras que el disolvente fluye a contra-corriente. Unas perforaciones en los remos permiten el drenado de los sólidos entre etapas; los sólidos se desprenden de cada remo (por raspado), tal como se muestra en la figura 15. En una cascada se pueden colocar tantas tinas como sea necesario”.⁵⁸

⁵⁸ TREYBAL, Robert F. *Operaciones de transferencia de masas*. p. 819.

Figura 16. **Extractor de Bollman**



Fuente: TREYBAL, Robert. *Operaciones de transferencia de masa*. p. 820.

“El extractor de Bollman (figura 16) es una de las diferentes máquinas del tipo de canasta. Los sólidos se acarrean en canastas perforadas unidas a una cadena acarreadora, en forma descendente, a la derecha de la figura, y ascendente a la izquierda de la misma. Al descender, se lixivian a flujo paralelo mediante una solución diluida disolvente-aceite (miscela media) que se bombea desde el fondo del tanque y se esparce sobre las canastas en la parte superior. El líquido se percuela a través de los sólidos de canasta a canasta, se recoge en el fondo como la solución concentrada final del aceite (miscela total) y se separa. Al ascender, los sólidos se van lixivando a contracorriente por medio de una aspersión de disolvente fresco y proporcionan la media miscela”.⁵⁹

⁵⁹ TREYBAL, Robert F. *Operaciones de transferencia de masas*. p. 820.

2.3. Industrialización de plantas aromáticas

“Los principales productos obtenidos de plantas aromáticas son aceites esenciales, oleorresinas (obtenidas principalmente de especias), concretos, absolutos, extractos y tinturas”.

2.3.1. Aceites esenciales

“Se les da el nombre de aceites esenciales a los volátiles o aceites etéreos, mezclas complejas de sustancias, de variadas funciones químicas. Son mezclas de sustancias obtenidas de plantas, que presentan como característica principal su compleja composición química y su carácter fuertemente aromático (del término aroma y no al concepto químico de aromaticidad)”.⁶⁰

Tabla I. **Partes de plantas empleadas en la obtención de aceite esencial**

Aceite esencial	Parte de la planta utilizada
Lavanda, lavandín	Sumidades floridas
Menta, hierba limón, eneldo	Planta entera
Geranio, petitgrain	Hojas
Neroli, rosa, ylang ylang	Flor
Limón, naranja, mandarina	Flavedo (capa externa del fruto)
Romero, tomillo, ajedrea, mejorana	Planta entera con flor
Melisa	Planta fresca

⁶⁰ SHARAPIN, Nikolai. *Fundamentos de tecnología de productos fitoterapéuticos*. p. 49.

Continuación de la tabla I.

Abeto de siberia	Acículas
Manzanilla	Flor seca
Canela	Corteza
Cedro	Madera
Lima	Fruto entero
Clavo	Botones florales
Vetiver	Raíz
Mostaza	Semillas

Fuente: SHARAPIN, Nikolai. *Fundamentos de tecnología de productos fitoterapéuticos*. p. 50.

“Las plantas aromáticas son las que se concentran con mayor cantidad de esencias y, por tanto constituyen la materia prima para su obtención, bien sea empleando toda la planta, solo sus hojas, flores, frutos o raíces dependiendo de la planta concreta de que se trate. Por lo que para la albahaca, hierbabuena, menta, laurel, romero o salvia, se utilizan las hojas, mientras que son las raíces las que se emplean en el caso de la angélica, aleriana o vetiver; los frutos para pimienta y nuez moscada; las semillas para anís, cardamomo, moringa, nuez, comino, hinojo; y las flores para la rosa, manzanilla o lavanda”.

“En la tabla I se incluyen ejemplos de plantas y la parte empleada en la obtención del aceite esencial. Como lo indica la tabla es importante estudiar las diferentes partes de las plantas debido a que posee diferentes proporciones de componentes activos en las diferentes partes de esta”.⁶¹

⁶¹ SHARAPIN, Nikolai. *Fundamentos de tecnología de productos fitoterapéuticos*. p. 50.

2.3.1.1. Métodos de obtención

“En su mayoría son obtenidos por destilación. Tres procesos pueden ser considerados: la destilación con agua, la destilación con agua y vapor de agua y la destilación directa con vapor de agua. Además de la destilación, los aceites esenciales pueden ser obtenidos por extracción con solventes y por expresión, este proceso está prácticamente limitado a los aceites obtenidos de frutas cítricas”.

2.3.2. Oleorresinas

“Son extractos de especias que se obtienen por tratamiento de la droga seca con solventes. Los solventes empleados son eliminados casi completamente por procesos de destilación al vacío, destilación azeotrópica, o ambas. Las oleorresinas tienen uso en las industrias azeotrópica, o ambas. Las oleorresinas tienen uso en las industrias de alimentos y de medicamentos, sustituyendo las plantas secas o las tinturas. Las oleorresinas contienen los aceites esenciales, los aceites fijos, los colorantes y los principios activos de la planta. Las oleorresinas poseen una propiedad que es la principal característica de estos, la viscosidad”.

“El proceso de extracción de las oleorresinas se inicia con la molienda de la planta. El proceso de molienda involucra generación de calor, lo que perjudica la calidad del producto final en lo relacionado con la calidad de los componentes volátiles. Por esta razón, para el proceso de molienda se utiliza enfriamiento”.⁶²

“Especias, como la nuez moscada, cardamomo, clavo y pimienta negra pueden ser molidas en un molino de martillos adicionando hielo seco. Otras especias, como el anís, el cilantro, el hinojo y la hierba dulce deben ser molidas utilizando como proceso de enfriamiento nitrógeno líquido. El tamaño de partícula debe ser establecido experimentalmente para cada especia procesada, teniendo en cuenta la naturaleza del solvente y el tipo de equipo empleado en la extracción”.⁶³

⁶² SHARAPIN, Nikolai. *Fundamentos de tecnología de productos fitoterapéuticos*. p. 52.

⁶³ *Ibíd.*

“El proceso de extracción puede ser conducido en una o dos fases. Cuando se utiliza solamente una fase, la droga es extraída totalmente con el solvente y este se remueve del extracto por destilación. En el proceso de extracción en dos fases, la droga se somete a la extracción del aceite esencial utilizando la destilación con vapor y, posteriormente se extrae con solventes. Después de la destilación del solvente, el residuo de la destilación se mezcla con el aceite esencial. Los solventes para la extracción de aceites esenciales deben estar conforme a la legislación nacional sobre alimentos. En la mayoría de los países es permitido el uso de etanol, de la acetona, del hexano y del alcohol isopropílico”.⁶⁴

2.3.3. Concretos y absolutos

“Los concretos se obtienen de plantas aromáticas frescas por extracción con solventes apolares (hidrocarburos). Están constituidos por compuestos apolares y no contienen compuestos hidrosolubles. Tienen forma de semisólidos coloreados, libres del solvente original. Generalmente se obtienen de flores y de los cogollos florecidos, aunque pueden también de hojas y de las partes aéreas de las plantas herbáceas. El extracto absoluto es el que se utiliza, comúnmente en la industria de la perfumería. (cosméticos)”.

“El olor de las plantas herbáceas y de las flores se modifica pocas horas después de haber sido recolectadas. Por esta razón, estas plantas deben ser procesadas inmediatamente después de la recolección. El contenido de agua en las plantas frescas varía de 80-90 por ciento en las flores y 60-80 por ciento en las hojas. Si estas plantas se sometieran al proceso de deshidratación, los componentes volátiles se perderían en los alrededores. El solvente utilizado en la extracción debe ser apolar y no miscible con el agua, en caso contrario, el agua podría disolverse en el mismo, modificando su polaridad y la propiedad de disolver los componentes volátiles; si este es el caso, el rendimiento de extracción resultaría más bajo”.⁶⁵

⁶⁴ SHARAPIN, Nikolai. *Fundamentos de tecnología de productos fitoterapéuticos*. p. 53.

⁶⁵ Op. cit. p. 53.

Los solventes más usados son el hexano y el éter de petróleo por su punto de ebullición. El proceso inicia con maceración, siendo realizada a temperaturas inferiores al punto de ebullición del solvente; este debe evaporarse cuidadosamente. Los rendimientos se sitúan en el orden de 0,5 por ciento. El concreto resultante contiene la porción odorífera de la planta, las ceras vegetales, aceites fijos y colorantes. Estos componentes no son muy solubles en las bases para perfumes. Siendo así, su conversión en absolutos es necesaria. Los absolutos son productos de conversión de concretos por la extracción con etanol absoluto. El rendimiento de concretos a partir de absolutos varía de 10-65 por ciento”.⁶⁶

2.4. Análisis instrumental

El análisis químico proporciona información sobre la composición de una muestra de materia. Algunos análisis dan resultados de tipo cualitativo y aportan información útil en la que pueden reconocerse especies atómicas o moleculares, deducirse características estructurales de las mismas o reconocer en la muestra la presencia de determinados grupos funcionales. Otros análisis son de tipo cuantitativo; en estos los resultados se representan como datos numéricos y se expresan como porcentaje, partes por millón o miligramos por litro. En ambos tipos de análisis, la información necesaria se obtiene por medio de la medida de una propiedad física que se relaciona en forma característica con el o los componentes de interés.⁶⁷

“Las propiedades que se utilizan para conocer la composición química de la muestra pueden denominarse señales analíticas. Como ejemplo de este tipo cabe citar la emisión o la absorción de la luz, la conductancia, el peso, el volumen y el índice de refracción, pero ninguna es exclusiva de una especie dada. En todos los procedimientos analíticos es necesario realizar una separación. En algunos casos esta etapa consiste en la separación física de los componentes químicos individuales que están presentes en la muestra antes de la generación de la señal

⁶⁶ SKOOG, Douglas A; HOLLER, F. James; CROUCH, Stanley R. *Principios de análisis instrumental*. p. 25.

⁶⁷ *Ibíd.*

analítica. En otros, se genera y se observa la señal en la muestra entera, luego se aísla o se separa la señal deseada. Con cierto tipo de señales es posible realizar esta separación mientras que con otras no lo es”.⁶⁸

2.4.1. Instrumentos analíticos

"En el sentido más amplio, un instrumento de análisis químico es un dispositivo que convierte una señal, que no es detectable ni comprensible directamente por los seres humanos, en otra señal que sí lo es. En consecuencia, el instrumento puede considerarse como un dispositivo de comunicación entre el sistema en estudio y el científico o el técnico".

2.4.1.1. Componente de los instrumentos

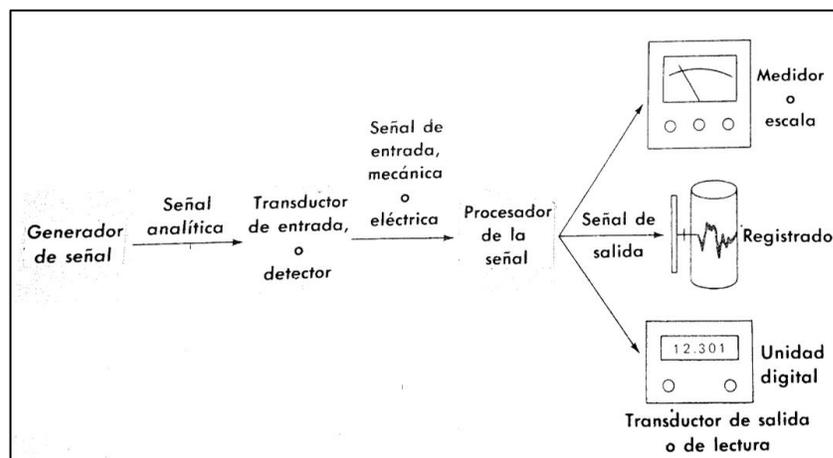
"Independientemente de su complejidad, un instrumento analítico no contiene más que cuatro componentes fundamentales".

"Estos últimos que se muestran esquemáticamente en la figura 16 son un generador de señal, un transductor de entrada o detector, un procesador de señales y un transductor de salida o de lectura".⁶⁹

⁶⁸ SKOOG, Douglas A; HOLLER, F. James; CROUCH, Stanley R. *Principios de análisis instrumental*. p. 164.

⁶⁹ *Ibíd.*

Figura 17. Componentes de un instrumento analítico típico



Fuente: SKOOG, D. WEST, D. *Análisis instrumental*. p. 4.

“Los generadores de señal producen señales analíticas a partir de los componentes de la muestra. Este generador puede ser simplemente la muestra misma; por ejemplo, la señal para una balanza analítica es la masa de los componentes de la muestra; para un potenciómetro de medir pH, la señal es la actividad de los iones hidrógeno en una solución. En muchos otros instrumentos el generador de señal es más complejo; por ejemplo, en un espectrofotómetro de infrarrojo el generador de señal comprende, además de la muestra, una fuente de radiación infrarroja, un monocromador, una ranura para cortar y poder seleccionar una parte del haz, un portamuestras y un atenuador de radiación”.⁷⁰

“Un transductor de entrada o detector es un dispositivo que puede convertir una señal de determinado tipo en otro diferente. Como ejemplo puede mencionarse un termo-par que convierte una señal de calor radiante en un voltaje eléctrico. La mayoría de los transductores que se encuentran en los instrumentos analíticos convierten las señales analíticas en un voltaje, una corriente o una resistencia eléctrica, debido a la facilidad con que este tipo de señales pueden ampliarse y

⁷⁰ SKOOG, Douglas A; HOLLER, F. James; CROUCH, Stanley R. *Principios de análisis instrumental*. p. 165.

modificarse para accionar dispositivos de lectura. Hay que tomar en cuenta, sin embargo, que existen señales transducidas por instrumentos que no son de naturaleza eléctrica”.⁷¹

“Los procesadores de señales modifican la señal transducida para hacerla más adecuada en el funcionamiento de los dispositivos de lectura. La modificación más frecuente es sin duda la amplificación, o sea la multiplicación de la señal por una constante mayor que la unidad. En una balanza analítica de dos platillos, el movimiento de los brazos es amplificado por el fiel, cuyo desplazamiento es significativamente mayor. También se suelen utilizar otras modificaciones de las señales eléctricas; estas en lugar de amplificarse se multiplican por una constante menor que uno (atenuación), se integran, se diferencian, se suman, se restan o se incrementan exponencialmente”.⁷²

“Otras operaciones comprenden la conversión en corriente alterna, la rectificación para proporcionar una corriente continua o directa, la comparación de la señal transducida con otra señal que se utiliza como referencia, la transformación de una corriente en un voltaje o la transformación de un voltaje en corriente. Los dispositivos de lectura emplean un transductor de salida que convierte la señal amplificada proveniente del procesador, en una señal que puede ser leída por el hombre. Los dispositivos de lectura tienen la forma de medidores con una aguja sobre un cuadrante o carátula, registradores de rollo de papel, osciloscopios y dispositivos digitales”.⁷³

2.4.2. Propiedades de la radiación electro-magnética

“La radiación electro-magnética es un tipo de energía que se transmite por el espacio a enormes velocidades. Adopta muchas formas, siendo las más fácilmente

⁷¹ SKOOG, Douglas A; HOLLER, F. James; CROUCH, Stanley R. *Principios de análisis instrumental*. p. 165.

⁷² Op. cit. p. 166.

⁷³ *Ibíd.* p. 166.

reconocibles la luz y el calor radiante. Manifestaciones menos evidentes son los rayos X, luz ultravioleta, microondas y las ondas de radio”.⁷⁴

“Para caracterizar a muchas de las propiedades de la radiación electro-magnética, es conveniente adjudicar una naturaleza ondulatoria a su propagación y describir estas ondas con parámetros como velocidad, frecuencia, longitud de onda y amplitud. No obstante, en contraste con otros fenómenos ondulatorios como el sonido, la radiación electro-magnética no requiere medio de apoyo para su transmisión, y pasa fácilmente por el vacío, que por un campo con algún fluido presente como lo es el aire”.⁷⁵

“El modelo ondulatorio para la radiación no explica completamente los fenómenos asociados con la absorción o la emisión de energía radiante; para estos procesos es necesario considerar la radiación electro-magnética como un flujo de partículas discretas de energía llamadas fotones. La energía de un fotón es proporcional a la frecuencia de la radiación. Este doble punto de vista de la radiación como partículas y como ondas no son mutuamente excluyentes”.⁷⁶

2.4.2.1. Propiedades de las ondas

“Se puede considerar a la radiación electro-magnética como un campo de fuerza eléctrico oscilatorio en el espacio, que está acompañado de un campo de fuerza magnético dispuestos perpendicularmente. Los campos eléctrico y magnético asociados con la radiación son magnitudes vectoriales, y pueden representarse en cualquier instante por medio de una flecha cuya longitud es proporcional a la magnitud de la fuerza del campo y su dirección es paralela a la de dicha fuerza. Para representar un haz de radiación puede graficarse una de estas magnitudes vectoriales en función del tiempo a medida que la radiación pasa por un punto fijo

⁷⁴ SKOOG, Douglas A; HOLLER, F. James; CROUCH, Stanley R. *Principios de análisis instrumental*. p. 208.

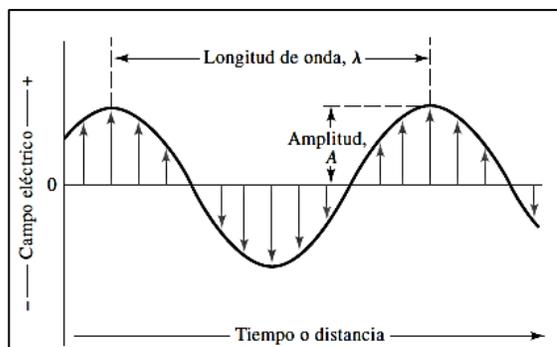
⁷⁵ Op. cit. p. 208. *Ibíd.*

⁷⁶ *Ibíd.*

del espacio. Otra forma diferente de hacer esto, consiste en graficar el vector en función de la distancia a tiempo constante”.⁷⁷

“En la figura 18 se ha representado el vector eléctrico en la ordenada. La representación gráfica del vector magnético será idéntica a esta en todos los aspectos, salvo que estará girada 90 grados alrededor del eje cero. Por lo general solo se emplea el vector eléctrico debido a que la fuerza eléctrica es causante de fenómenos, tales como: la transmisión, reflexión, refracción y la absorción de la radiación. La figura 18 es la representación gráfica del vector eléctrico de una radiación monocromática polarizada en un plano, que es el tipo más simple de radiación. Monocromática significa que la radiación tiene una sola frecuencia; polarizada en un plano, que la oscilación tiene lugar en un plano del espacio”.⁷⁸

Figura 18. **Representación de un haz de radiación monocromática, polarizado en un plano**



Fuente: SKOOG, D. WEST, D. *Análisis instrumental*. p. 98.

⁷⁷ SKOOG, Douglas A; HOLLER, F. James; CROUCH, Stanley R. *Principios de análisis instrumental*. p. 210.

⁷⁸ *Ibíd.*

2.4.2.2. Parámetros ondulatorios

“El intervalo de tiempo requerido para el paso de dos máximos sucesivos ante un punto fijo en el espacio se llama periodo p de la radiación. La frecuencia ν es el número de oscilaciones del campo por segundo. Es importante comprender que la frecuencia está determinada por la fuente y permanece invariable, cualesquiera que sean los medios por los que se transmite la radiación. En contraste, la velocidad de propagación de una onda es la velocidad con que se desplaza la onda por un medio, y depende de este y la frecuencia. Otro parámetro de interés es la longitud de onda, que es la distancia lineal entre máximos o mínimos sucesivos de una onda”⁷⁹.

“En el vacío, la velocidad de propagación de la radiación depende de la frecuencia y alcanza su valor máximo, esta velocidad se representa por el símbolo c , se ha determinada con precisión que el valor de c es de $2,997 \times 10^{10}$ cm/s. En cualquier otro medio, la velocidad de propagación es menor, debido a la interacción entre el campo electro-magnético de la radiación y los electrones del medio. Puesto que la frecuencia radiante es invariable y está fijada por la fuente, la longitud de onda debe disminuir cuando la radiación pasa desde el vacío a un medio que contiene materia”⁸⁰.

2.4.2.3. Superposición de ondas

“El principio de la superposición establece que cuando dos o más ondas atraviesan la misma región del espacio tiene lugar un desplazamiento que consiste en la suma de los desplazamientos causados por cada una de las ondas. Este principio se aplica a las ondas electro-magnéticas en las que los desplazamientos se refieren a un campo de fuerza eléctrico y también a varios otros tipos de ondas en los que existe un desplazamiento de átomos o de moléculas”⁸¹.

⁷⁹ SKOOG, Douglas A; HOLLER, F. James; CROUCH, Stanley R. *Principios de análisis instrumental*. p. 211.

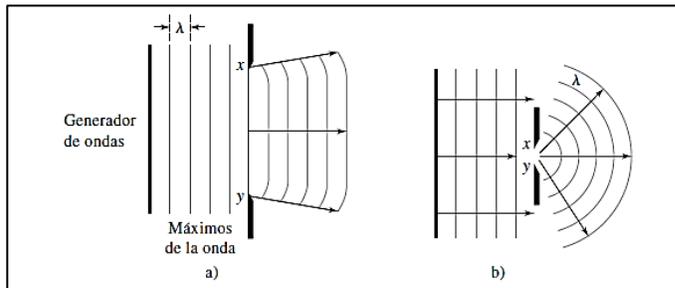
⁸⁰ *Ibíd.*

⁸¹ *Op. Cit.* 215.

2.4.2.4. Difracción

“En la figura 19 se representa en forma esquemática el fenómeno de la difracción que tiene lugar cada vez que ondas de cualquier tipo pasan a través de una barrera neta o de una abertura estrecha. La difracción se observa fácilmente en un tanque de agua cuando se generan ondas de frecuencia constante y se presta atención a las crestas de las ondas. Cuando esta es grande en relación con la longitud de onda del movimiento ondulatorio (figura 18a), la difracción es muy pequeña y difícil de detectar. En cambio, cuando la longitud de onda y la abertura de la ranura son del mismo orden de magnitud como sucede en la figura 18b, la difracción es intensa”.

Figura 19. Propagación de ondas a través de una ranura



Fuente: SKOOG, D, WEST, D. *Análisis instrumental*. p. 99.

2.4.3. Propiedades de la radiación considerada como partícula

“Ciertas interacciones de la radiación con la materia requieren que la primera sea tratada como paquetes de energía llamados fotones o cuantos. La energía del fotón depende de la frecuencia de la radiación. Por consiguiente, la energía de un fotón

de rayos X ($\lambda \sim 10^{-8}$ cm) es aproximadamente 10 000 veces mayor que la de un fotón emitido por un filamento de tungsteno caliente”.⁸²

2.4.3.1. Efecto foto-eléctrico

“La necesidad de un modelo de partículas para describir el comportamiento de la radiación electro-magnética puede verse considerando el efecto foto-eléctrico. Cuando incide suficiente radiación en energética sobre una superficie metálica, se emiten electrones. Los cálculos indican que ningún electrón aislado podría adquirir suficiente energía como para ser lanzado si la radiación que incide en el metal se distribuyera uniformemente sobre la superficie; ni tampoco ningún electro podría acumular energía suficiente para su desplazamiento en un tiempo razonable. De este modo es necesario suponer, que la energía no se distribuye uniformemente sobre el frente del haz, sino que se concentra en ciertos puntos o en partículas de energía”.⁸³

2.4.3.2. Unidades de energía

“La energía de un fotón absorbida o emitida por una muestra de materia se relaciona con la diferencia de energía entre dos estados moleculares o atómicos o de un constituyente de la materia. Por esta razón, suele ser conveniente describir la radiación en unidades de energía, o en términos de frecuencia (Hz) o número de onda (cm^{-1}), que son directamente proporcionales a la energía. Por otra parte, la medición experimental de la radiación se expresa más a menudo en unidades de longitud de onda, que guardan una relación inversa con las anteriores”.⁸⁴

⁸² SKOOG, Douglas A; HOLLER, F. James; CROUCH, Stanley R. *Principios de análisis instrumental*. p. 216.

⁸³ *Ibíd.*

⁸⁴ *Op. Cit.* 217.

2.4.4. Interacción de la radiación con la materia

“Cuando la radiación pasa desde el vacío a la superficie de una porción de materia, el vector eléctrico de la radiación interacciona con los átomos y moléculas del medio. La naturaleza de esta interacción depende de las propiedades de la materia y puede dar lugar a la transmisión, la absorción o la dispersión de la radiación”.

2.4.4.1. Transmisión de la radiación

“Se observa experimentalmente que la velocidad con que se propaga la radiación por una sustancia transparente es menor que su velocidad en el vacío; además, la velocidad depende de las clases y concentraciones de átomos, iones o moléculas presentes. Se deduce de estas observaciones que la radiación debe interactuar en cierta forma con la materia. El índice de refracción de un medio es una medida de su interacción con la radiación y se define por la variable n_i es el índice de refracción en una frecuencia especificada i , v_i es la velocidad de la radiación en un medio, y c es su velocidad en el vacío”.⁸⁵

Donde:

$$n_i = c/v_i$$

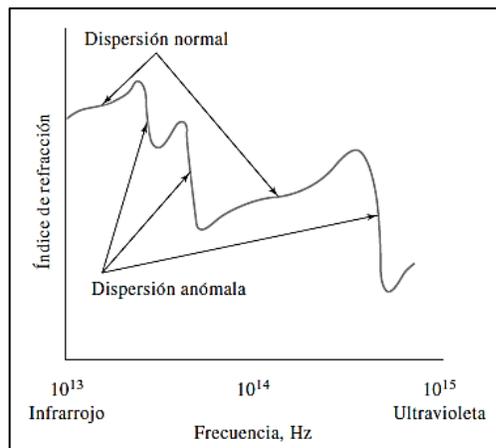
“La transmisión en un medio de partículas puede considerarse como un proceso gradual en el que intervienen átomos oscilantes, iones o moléculas como intermediarios. Se esperaría que la radiación de cada partícula polarizada en un medio se emitiera en todas direcciones. Pero si las partículas son pequeñas, puede verse que la interferencia destructiva previene la propagación de cantidades importantes de radiación en otra dirección que la trayectoria original del haz. Por otra parte, si el medio contiene partículas grandes (como se puede mencionar moléculas de polímeros o partículas coloidales), este efecto destructivo es

⁸⁵ SKOOG, Douglas A; HOLLER, F. James; CROUCH, Stanley R. *Principios de análisis instrumental*. p. 218.

incompleto y una porción de haz se dispersa como consecuencia de la etapa de interacción”.

“La velocidad de radiación en la materia depende de la frecuencia; el índice de refracción de una sustancia debe cambiar también con la frecuencia. La variación en el índice de refracción de una sustancia con la frecuencia o longitud de onda se llama dispersión. En la figura 20 se muestra la dispersión producida por una sustancia típica. Sin duda, la relación es compleja; pero típicamente las gráficas de dispersión exhiben dos tipos de regiones. En la región donde existe dispersión normal hay un aumento gradual del índice de refracción con la frecuencia creciente o la longitud de onda decreciente”.⁸⁶

Figura 20. **Curva típica de dispersión**



Fuente: SKOOG, & WEST, D. *Análisis instrumental*. p. 109.

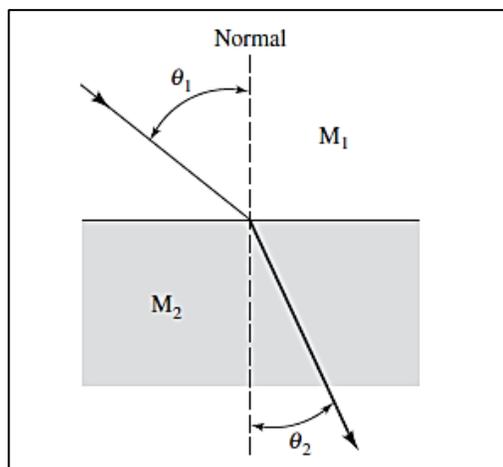
“Las regiones donde existe dispersión anómala son aquellos intervalos de frecuencia en los que se observa un brusco cambio en el índice de refracción. Se produce siempre dispersión anómala en las frecuencias de radiación que corresponden a la frecuencia armónica natural asociada con cierta parte de la

⁸⁶ SKOOG, Douglas A; HOLLER, F. James; CROUCH, Stanley R. *Principios de análisis instrumental*. p. 218.

molécula, átomo o ion de la sustancia. En tal frecuencia se produce transferencia de energía permanente de la radiación a la sustancia, observándose absorción del haz”.⁸⁷

“Se considera refracción de la radiación cuando esta pasa de un medio a otro de diferente densidad física, se observa un brusco cambio de dirección del haz a consecuencia de diferencias en la velocidad de la radiación en ambos medios. Esta refracción de un haz se ilustra en la figura 21”.⁸⁸

Figura 21. **Refracción de la luz al pasar del medio M_1 menos denso, al medio M_2 , más denso, en el cual su velocidad es menor**



Fuente: SKOOG, D. WEST, D. *Análisis instrumental*. p. 110.

2.4.4.2. Reflexión y dispersión de la radiación

“Existe reflexión cuando una radiación atraviesa una superficie de separación entre medios de diferentes índices de refracción. La fracción reflejada es mayor cuanto

⁸⁷ SKOOG, Douglas A; HOLLER, F. James; CROUCH, Stanley R. *Principios de análisis instrumental*. p. 219.

⁸⁸ *Ibíd.*

más grande es la diferencia de los índices de refracción. La transmisión de radiación en la materia se representa como la retención momentánea de la energía radiante que causa una breve polarización de los iones, átomos o moléculas. Seguida de su nueva emisión en todas direcciones cuando las partículas vuelven a su estado original”.

“Cuando las partículas son pequeñas respecto a la longitud de onda de la radiación, la interferencia destructiva elimina casi toda la radiación reemitida, excepto la que se desplaza en la dirección original del haz, y la trayectoria del haz parece que no es alterada como consecuencia de la interacción”.⁸⁹

“Sin embargo, una detenida observación revela que una fracción demasiado pequeña de la radiación (radiación dispersada) es transmitida en todos los ángulos a partir de la dirección original y que la intensidad de esta radiación dispersada aumenta con el tamaño de las partículas. Con partículas de dimensiones coloidales, la dispersión se hace suficientemente intensa para que pueda verse a simple vista (efecto Tyndall)”.⁹⁰

2.4.4.3. Polarización de la radiación

“La radiación ordinaria está constituida por un haz de ondas electro-magnéticas, en las cuales las vibraciones están distribuidas de manera equitativa entre una gran cantidad de planos centrados a lo largo de la trayectoria del haz. Desde otro punto de vista, visto de frente, un haz de radiación monocromática se puede imaginar como un conjunto infinito de vectores eléctricos que fluctúan en longitud desde cero hasta una amplitud máxima A. En la figura 21b se demuestra una vista frontal de estos vectores en varios momentos en el instante de paso de una onda de radiación monocromática por un punto fijo en el espacio (figura 21 a)”.⁹¹

⁸⁹ SKOOG, Douglas A; HOLLER, F. James; CROUCH, Stanley R. *Principios de análisis instrumental*. p. 220.

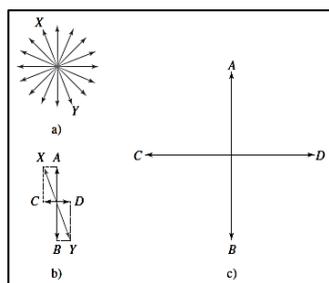
⁹⁰ *Ibíd.*

⁹¹ *Op. cit.* p. 143.

“En la figura 22 a se muestran unos pocos de los vectores que se ilustran en la figura 21 b en el instante en que la onda está en su máximo. El vector en cualquier plano, por ejemplo el XY como se ilustra en la figura 22 a, se puede resolver en dos componentes mutuamente perpendiculares AB y CD, como se ve en la figura 22 b. Si se combinan los dos componentes para todos los planos que se muestran en la figura 22a, la resultante se parece a la que se muestra en la figura 22 c. Si se elimina uno de los dos planos de vibración resultantes de la figura 22 c se genera un haz que está polarizado en el plano. El vector eléctrico resultante de un haz polarizado en el plano ocupa entonces un solo plano”.⁹²

“En la figura 22 c se ilustra una vista frontal de un haz de radiación polarizada en un plano después de diferentes tiempos. Ciertas fuentes de energía radiante producen radiación electromagnética polarizada en un plano. Por ejemplo, tanto las ondas de radio que parten de una antena como las microondas producidas por un tubo klystron están polarizadas en un plano. La radiación visible y la ultravioleta provenientes de la relajación de un solo átomo o molécula excitado también está polarizada, pero el haz de tal fuente no tiene polarización neta, ya que está formada por una multitud de trenes de ondas individuales producidos por una gran cantidad de fenómenos atómicos o moleculares individuales”.⁹³

Figura 22. **Representación de vectores eléctricos**



Fuente: SKOOG, D. *Principios de análisis instrumental*. p. 143.

⁹² SKOOG, Douglas A; HOLLER, F. James; CROUCH, Stanley R. *Principios de análisis instrumental*. p. 143.

⁹³ *Ibíd.*

“El plano de polarización de estas ondas individuales es aleatorio, de modo que sus polarizaciones individuales se anulan. La radiación polarizada ultravioleta y la visible se producen por el paso de radiación a través de medios que absorben, reflejan o refractan de manera selectiva radiación que vibra solo en un plano”.⁹⁴

2.4.4.4. Absorción de la radiación

“Cuando la radiación atraviesa una capa de un sólido, líquido o gas, es posible eliminar en forma selectiva ciertas frecuencias mediante absorción, un proceso en el cual la energía electro-magnética se transfiere a los átomos, iones o moléculas que forman la muestra. La absorción impulsa a estas partículas desde su estado normal a temperatura ambiente, o estado fundamental, a uno o más estados excitados de energía superior.”⁹⁵

De acuerdo con la teoría cuántica, los átomos, moléculas e iones tienen sólo una cantidad limitada de niveles energéticos discretos. Para que haya absorción de radiación, la energía del fotón excitador debe corresponder exactamente con la diferencia de energía entre el estado fundamental y uno de los estados excitados de la especie absorbente. Como estas diferencias de energía son únicas para cada especie, el estudio de las frecuencias de radiación absorbida proporciona un medio para caracterizar los constituyentes de una muestra de materia. Con este objetivo, se determina en forma experimental una gráfica de absorbancia en función de la longitud de onda o de la frecuencia (la absorbancia es una medida de la disminución de la potencia radiante).⁹⁶

Las cuatro gráficas de la figura 23 revelan que los espectros de absorción varían ampliamente en apariencia. Algunos contienen numerosos picos muy bien definidos, pero otros están constituidos por curvas continuas suaves. En general, la naturaleza del espectro se ve influenciada por variables como la complejidad, el estado físico y el entorno de la especie absorbente. Sin embargo, son más

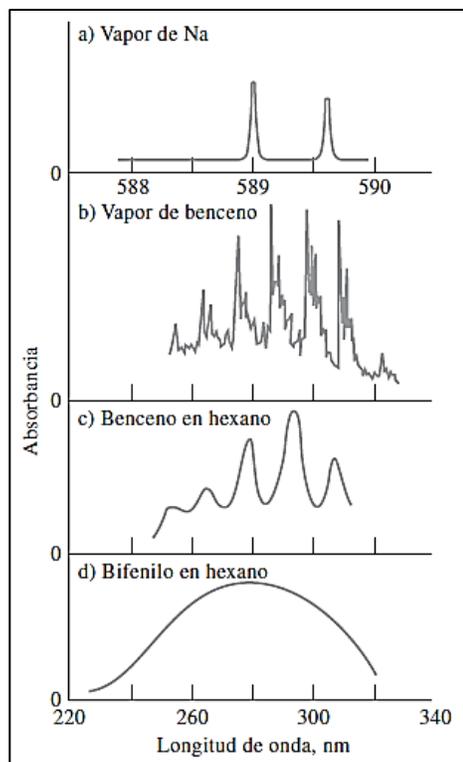
⁹⁴ SKOOG, Douglas A; HOLLER, F. James; CROUCH, Stanley R. *Principios de análisis instrumental*. p. 153.

⁹⁵ *Ibíd.*

⁹⁶ *Ibíd.*

fundamentales las diferencias entre los espectros de absorción de los átomos y los de las moléculas.

Figura 23. **Algunos espectros típicos de absorción en luz ultravioleta**



Fuente: SKOOG, D. *Principios de análisis instrumental*. p. 153.

2.4.4.5. Emisión de la radiación

“A menudo se produce radiación electro-magnética cuando las partículas excitadas (iones, átomos o moléculas) retornan a niveles de energía más baja o a su estado fundamental. La excitación puede producirse por diferentes medios, entre ellos el bombardeo con electrones u otras partículas elementales, la exposición a chispas

de corriente alterna de alto potencial, tratamiento térmico en un arco o una llama, o absorción de radiación electromagnética”.⁹⁷

“Si las partículas radiantes están muy separadas entre sí, como en el estado gaseoso, se comportan como cuerpos independientes y a menudo producen radiación que contiene relativamente pocas longitudes de onda específicas. El espectro resultante se dice entonces que es discontinuo, y se denomina espectro de líneas. Por el contrario, un espectro continuo es aquel en que todas las longitudes de onda están representadas con un valor apreciable, o en el que las longitudes de onda individuales están tan poco espaciadas de modo que su separación no es factible por medios ordinarios”.⁹⁸

“Resultan espectros continuos de la excitación de: 1) sólidos o líquidos, en los que los átomos están tan próximos que son incapaces de un comportamiento independiente, o 2) moléculas de energía estrechamente relacionados. También hay espectros continuos cuando en los cambios de energía intervienen energías cinéticas no cuantizadas”.⁹⁹

“Los espectros continuos y los espectros de líneas tienen importancia en química analítica. Los primeros se emplean frecuentemente como fuentes en los métodos basados en la interacción de las radiaciones con la materia, como la espectrofotometría. Los espectros de líneas, por el contrario, son importantes porque permiten la identificación y la determinación de la especie emisora. Existe radiación térmica si se calientan sólidos hasta la incandescencia, se emite radiación continua que es más característica de la temperatura de la superficie emisora que del material de que esta está compuesta. La radiación de esta clase (o radiación del cuerpo negro) es producida por las innumerables oscilaciones atómicas y moleculares excitadas en el sólido condensado por la energía térmica”.¹⁰⁰

⁹⁷ SKOOG, Douglas A; HOLLER, F. James; CROUCH, Stanley R. *Principios de análisis instrumental*. p. 154.

⁹⁸ *Ibíd.*

⁹⁹ *Ibíd.*

¹⁰⁰ *Ibíd.*

“En la emisión por gases los átomos, iones o moléculas en el estado gaseoso pueden ser excitados a menudo por descargas eléctricas o calor para producir radiación en las regiones ultravioleta y visible”.

“De ordinario, tal excitación da lugar a transiciones que afectan a los electrones exteriores de la especie; se emite entonces radiación cuando los átomos excitados vuelven al estado fundamental. En el caso de los átomos simples, los espectros de emisión pueden hacerse más complicados porque pueden existir varios estados vibratorios y rotatorios para cada nivel posible de energía electrónica; en vez de una sola línea para cada transición electrónica, pueden observarse numerosas líneas poco espaciadas que forman una banda de emisión”.¹⁰¹

“La fluorescencia de resonancia se refiere a un proceso en el que la radiación emitida tiene la misma frecuencia que la radiación utilizada para la excitación. La fluorescencia de resonancia es producida, generalmente, por los átomos en estado gaseoso que no poseen estados energéticos vibratorios superpuestos a los estados energéticos electrónicos”.

“La fluorescencia no resonante se produce como consecuencia de la irradiación de moléculas en solución o en estado gaseoso. Es evidente que la fluorescencia de las moléculas puede acompañarse tanto de radiación resonante como no resonante. Sin embargo, esta última tiende a predominar debido a que el número de estados vibratorios excitados es mucho mayor”.¹⁰²

2.4.5. Análisis de mezclas por métodos espectrales de masas acoplados

“Aunque la espectrometría de masas es una poderosa herramienta para la identificación de compuestos puros, es insuficiente para el análisis de mezclas, incluso de las más simples, debido al gran número de fragmentos con diferentes

¹⁰¹ SKOOG, Douglas A; HOLLER, F. James; CROUCH, Stanley R. *Principios de análisis instrumental*. p. 154.

¹⁰² *Ibíd.*

valores de m/z que se producen en cada caso. La interpretación del complejo espectro resultante es a menudo imposible. Por esta razón, los químicos han perfeccionado métodos en los que el espectrómetro de masas está acoplado a varios dispositivos efectivos con los llamados métodos acoplados”.¹⁰³

“Entre estos acoplamientos existe la cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas, electroforesis capilar-espectrometría de masas, cromatografía de líquidos acoplada a espectrometría de masas y aplicaciones de la espectrometría de masas en tándem. En general, hay muy pocos métodos para el análisis químico que son específicos para una sola especie. En el mejor de los casos, los métodos analíticos son selectivos para unas pocas especies o para una clase de ellas. La separación del analito de las posibles interferencias suele ser una etapa de vital importancia en los procedimientos analíticos”.¹⁰⁴

“La cromatografía agrupa un conjunto importante y diverso de métodos que facilitan la separación, identificación y determinación de componentes estrechamente relacionados en mezclas complejas; muchas de dichas separaciones son imposibles por otros medios. En todas las separaciones cromatográficas la muestra se disuelve con una fase móvil—que puede ser un gas, un líquido o un fluido supercrítico— la cual se hace pasar a través de una fase estacionaria inmisible fija en una columna o en una superficie sólida. Las dos fases se eligen de tal forma que los componentes de la muestra se distribuyen en grados distintos entre la fase móvil y la fase estacionaria”.

“Aquellos componentes que son fuertemente retenidos por la fase estacionaria se mueven con mucha lentitud con el flujo de la fase móvil. En cambio, los componentes unidos débilmente a la fase estacionaria se mueven con rapidez. Como consecuencia de las distintas velocidades de migración, los componentes de

¹⁰³ SKOOG, Douglas A; HOLLER, F. James; CROUCH, Stanley R. *Principios de análisis instrumental*. p. 788.

¹⁰⁴ *Ibíd.*

la muestra se separan en bandas o zonas distintas que se pueden analizar en forma cualitativa y cuantitativa”.¹⁰⁵

“Los métodos cromatográficos se pueden clasificar de dos maneras. La primera de ellas se basa en los medios físicos por medio de los cuales las fases estacionaria y móvil se ponen en contacto. En la cromatografía en columna, un tubo estrecho contiene la fase estacionaria a través de la cual la fase móvil se fuerza a pasar por presión. En la cromatografía en plano, la fase estacionaria se fija sobre una placa plana o en los intersticios de un papel; en este caso la fase móvil se desplaza a través de la fase estacionaria por capilaridad o por gravedad”.¹⁰⁶

“Una clasificación más fundamental de los métodos cromatográficos se basa en los tipos de fases móviles y estacionarias, y en la clase de equilibrios involucrados en la transferencia de los solutos entre las fases. Vale la pena hacer notar que solo la cromatografía de líquidos puede llevarse a cabo en columnas o sobre superficies planas; por otra parte, tanto la cromatografía de gases como la de fluidos supercríticos están restringidas a los procedimientos en columna, de tal manera que las paredes de la columna contienen la fase móvil”.

2.4.5.1. Cromatografía acoplada a espectrometría de masas

“La cromatografía de gases-espectrometría de masas se convirtió en una de las más poderosas herramientas para el análisis de mezclas orgánicas y bioquímicas complejas. En este caso, los espectros de los compuestos se recolectan a medida que salen de la columna cromatográfica. Estos espectros se almacenan en una computadora para el siguiente proceso. La espectrometría de masas se puede acoplar también a la cromatografía de líquidos para analizar muestras que tienen componentes no volátiles”.¹⁰⁷

¹⁰⁵ SKOOG, Douglas A; HOLLER, F. James; CROUCH, Stanley R. *Principios de análisis instrumental*. p. 789.

¹⁰⁶ *Ibíd.*

¹⁰⁷ *Ibíd.*

“El principal problema que se debe superar en el desarrollo de ambos métodos acoplados es que la muestra que está en la columna cromatográfica está muy diluida por el gas o el líquido portador que atraviesa la columna. Por tanto, se han tenido que perfeccionar métodos para eliminar el diluyente antes de introducir la muestra en el espectrómetro de masas”.¹⁰⁸

2.5. Análisis sensorial

“El análisis sensorial es una herramienta muy útil que sirve para evaluar las propiedades organolépticas de algún producto de la industria alimenticia, farmacéutica, cosmética, etc. El objetivo del análisis sensorial es determinar el grado de aceptabilidad y la descripción o juicio de cierto producto, con el propósito de formular el producto acorde a la necesidad del consumidor. El análisis sensorial se realiza mediante el uso de los sentidos del ser humano (tacto, gusto, olfato, vista y oído), dependiendo de la finalidad que se requiere, el análisis sensorial puede evaluar uno, dos o más sentidos a la vez”.

“El análisis sensorial se realiza con métodos de evaluación sensorial, estos métodos de evaluación se pueden clasificar en dos grupos: pruebas analíticas y pruebas afectivas. Las pruebas analíticas se dividen en discriminatorias, escalares y descriptivas; las pruebas analíticas discriminatorias se realizan por diferenciación (pareada, duro-trío, triangular, ordenamiento y comparación múltiple) y por sensibilidad (prueba de umbral y dilución); las pruebas analíticas escalares se realizan con el método ordinal, de categoría o intervalo y estimación de magnitud; y por último, las pruebas analíticas descriptivas se realizan con los métodos tiempo e intensidad, perfil de sabor, perfil de textura y análisis cuantitativo descriptivo”.¹⁰⁹

“El grupo de las pruebas afectivas se dividen en aceptación, preferencia y escalares. Las pruebas afectivas de aceptación se realizan utilizando el método de muestra simple, las pruebas afectivas de preferencia se realizan con los métodos

¹⁰⁸ BARCINA Yolanda, IBÁÑEZ, Francisco. *Análisis sensorial de alimentos: métodos y aplicaciones*. Edición única. España: Springer, 2001.

¹⁰⁹ *Ibíd.*

pareados y ordenamiento y las prueba afectivas escalares se realizan con los métodos de escala hedónica y escala de actitud. La diferencia entre las pruebas analíticas y las pruebas afectivas se da en el tipo de jurados o encuestados a quienes se realiza el estudio, para el primer grupo se realizan con catadores profesionales o especializados y para el segundo grupo se realizan con personas o consumidores potenciales que determinaran la aceptabilidad del producto. En el presente estudio de investigación se utilizara la prueba afectiva escalar, empleando el método de escala hedónica de 7 puntos”.

“Esta prueba tiene gran aplicación práctica, de manera general son fáciles de interpretar y los resultados que de ellas se obtienen permiten tomar acciones importantes con relación a la venta del producto, posibles cambios en su formulación, etc. Las escalas hedónicas verbales recogen una lista de términos relacionados con el agrado o des-agrado del producto por parte del consumidor. Pueden ser de cinco a once puntos variando desde el máximo nivel de gusto al máximo nivel de disgusto y cuenta con un valor medio neutro o de indiferencia. En general cuando se emplean muchas descripciones se ha demostrado, que en vez de orientar al consumidor, más bien le origina confusión, de ahí que las más empleadas son las escalas hedónicas de 7 puntos”.

“Para realizar la prueba pueden presentarse una o varias muestras para que sean evaluadas por separadas según la naturaleza del estímulo. Para analizar los datos obtenidos mediante esta prueba, se realiza una conversión de la escala verbal en numérica, esto es, se le asignan valores consecutivos a cada descripción, dichos valores pueden procesarse posteriormente a través del análisis estadístico (ANOVA y prueba de Duncan), o simplemente llegar a una conclusión de la aceptación de los productos mediante el valor obtenido al calcular la media aritmética de la respuesta de los jueces para cada muestra y hacerlo coincidir con el término que corresponde con la descripción verbal”.¹¹⁰

¹¹⁰ BARCINA, Yolanda, IBÁÑEZ, Francisco. Análisis sensorial de alimentos: métodos y aplicaciones. Edición única. España: Springer, 2001.

3. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Definición de variables

Se detallan las variables necesarias para poder realizar la obtención y evaluación de rendimiento y calidad de oleoresina de cardamomo (*Elettaria cardamomum* L. Maton), extracción a escala planta piloto, empleando tres clases de calidad de semilla de cardamomo (1ra., 2da. y 3ra. calidad) y dos tipos diferentes de extracción sólido-líquido (maceración dinámica y estática). Para cada combinación se realiza tres repeticiones, resultando 18 tratamientos.

3.1.1. Variables independientes

Descripción de variables independientes que se emplearon en el procesamiento del cardamomo y el respectivo instrumento con el que se mide.

Tabla II. **Variables independientes e instrumento de medición**

Operación	VARIABLES INDEPENDIENTES	Instrumento de medición
Masa de materia prima.	Libras de semilla de cardamomo.	Balanza
Volumen de solvente.	Litros de alcohol.	Cubeta aforada.
Tiempo de maceración.	Horas de maceración.	Cronómetro.
Calidad de materia prima.	Color de pergamino.	Ojo humano.
Tipo de maceración.	Velocidad de flujo.	Velocímetro.
Humedad	Porcentaje de humedad en la semilla de cardamomo.	Balanza de humedad.

Fuente: elaboración propia.

3.1.2. Variables dependientes

En la tabla III se muestra la descripción de variables dependientes que se emplearon en el procesamiento del cardamomo y el respectivo instrumento con el que se mide.

Tabla III. **Variables dependientes e instrumento de medición**

Operación	Variables dependientes	Instrumento de medición
Acidez.	pH de la oleorresina.	Potenciómetro de hidrógeno
Densidad.	Densidad de oleorresina.	Probeta.
Índice de refracción.	Refracción en oleorresina	Refractómetro.
Masa de extracto.	Masa de oleorresina.	Balanza.
Calidad	Composición química de oleorresina.	Cromatógrafo.

Fuente: elaboración propia.

3.2. Delimitación de campo de estudio

La 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 se llevó a cabo en las instalaciones del Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales (LIEXVE) de la sección de Química Industrial del Centro de Investigaciones de Ingeniería, edificio T-5 de la Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala; los procesos que se realizaron dentro de estas instalaciones fueron de lixiviación, filtración, evaporación y granulometría.

También se realizaron procesos en otras instituciones o negocios comerciales como el proceso de reducción de tamaño de partícula que se hizo en un negocio de molienda ubicada en la colonia Villa Lobos 1, zona 12 de Guatemala. Por otra parte, se realizó el análisis cromatográfico en el Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada del Centro de Bioquímica, Departamento de Química del Instituto de Investigaciones de la Universidad del Valle de Guatemala, edificio I12-212. El análisis sensorial se realizó dentro del campus de la Universidad de San Carlos de Guatemala, donde se levantó información para la formulación de mermelada casera de pera para poder determinar y optimizar la proporción necesaria de oleorresina de cardamomo presente en la mermelada.

3.3. Recursos humanos disponibles

- Investigador: Andrés Guillermo Puac García
- Asesora: Inga. Qca. Telma Maricela Cano Morales
- Asesor: Ing. Qco. Mario José Mérida Meré

3.4. Recursos materiales disponibles

El trabajo de investigación se realizó en el LIEXVE, sección de Química Industrial del Centro de Investigaciones de Ingeniería (CII) Universidad de San Carlos de Guatemala. Se realizó el proceso de extracción de oleorresina escala planta piloto a partir de la semilla de cardamomo. Los análisis de calidad de oleorresina se realizaron en el Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada del Centro de Bioquímica/Departamento de Química del Instituto de Investigaciones de la Universidad del Valle de Guatemala, edificio I12-212.

3.4.1. Materiales y equipo

- Alcohol etílico grado alimenticio (95 % V/V)
- Bolsas plásticas
- Bolsas con sistema de cierre marca Ziploc
- Bomba sifón
- Cardamomo
- Colador
- Cubeta
- Embudo
- Guantes de laboratorio o quirúrgicos
- Juego de espátulas
- Manta para efectuar filtraciones de la oleorresina
- Papel para filtrar
- Recipientes plásticos para guardar materia prima seca
- Recipientes plásticos para guardar oleorresinas
- Viales

3.4.2. Equipo a nivel planta piloto

- Balanza marca OHRUS, modelo Defender 3 000 Xtreme W, capacidad máxima 150 Kg.
- Bomba de vacío marca Constructions Electriques Nancy, motor a prueba de explosión TR1, fase 60 Hz, No. 634039, V: 754/440.
- Caldera pirotubular marca COLUMBIA tipo CT, 115 volts, 60 ciclos, clasificación global de 12 amperios.
- Compresor de aire marca Gast.

- Condensador marca TOURNAIRE S. A. Grasse France, No. Fabricación: J.9428K, capacidad tubos internos 6 L, temperatura de proceso 60-100°C.
- Marmita de agitación marca LAQUIPAR, modelo MRM-0140, capacidad 140 L, motor 2HP/110/220 volts.
- Marmita de concentración marca TOURNAIRE S. A. Grasse France No. Fabricación: J.9428H, capacidad 100 L, capacidad en operación 40 L, temperatura de proceso 100-142°C.
- Molino estándar de dos discos con motor marca Baldor.
- Tanque de almacenamiento marca TOURNAIRE S. A. Grasse France, No. de fabricación: J.9428L, capacidad en proceso 150 L, temperatura de proceso 100°C.

3.4.3. Equipo a nivel laboratorio

- Balanza digital
- Balón de fondo plano
- Bomba peristáltica
- Condensador
- Earlenmeyer marca KYMAX
- Embudos buchner
- Equipo Soxhlet
- Imanes de agitación
- Kitasatos marca PYREX
- Micropipetas
- Perillas para pipetas
- Planchas de calentamiento
- Potenciómetro

- Probetas
- Refractómetro
- Rotavaporador marca B'U'CHI, RII 8.3.01.B.11477/11
- Soportes con pinzas sujetadoras

3.5. Técnica cualitativa o cuantitativa

Se han aplicado las técnicas cualitativas y cuantitativas de espacio estático y dinámico para la extracción y concentración de los compuestos orgánicos de la oleorresina.

3.5.1. Análisis físico

Análisis del rendimiento de extracción a escala planta piloto, la densidad, el potencial de hidrogeno, el índice de refracción y color de la oleorresina de cardamomo, como también, la humedad de la semilla de cardamomo. Los análisis físicos se realizaron en el LIEXVE, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

3.5.2. Análisis químico

El análisis de composición química de la oleorresina de cardamomo se hizo utilizando la cromatografía de gases acoplada con espectrometría de masas. Este se hizo en el Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada del Centro de Bioquímica/Departamento de Química del Instituto de Investigaciones de la Universidad del Valle de Guatemala, edificio II2-212.

3.5.3. Análisis estadístico

dividido en dos partes: el análisis sensorial y el de error experimental, tomando en cuenta el análisis de varianza de medias.

3.5.3.1. Análisis sensorial

“Determinación del porcentaje de oleorresina aceptable de cardamomo en la formulación de mermelada casera de pera, mediante la degustación técnica de diferentes muestras (A, B, C y D), encuesta que se realizó a 10 personas para evaluar el nivel de calidad que la mermelada pretende. El análisis se realizó utilizando la prueba afectiva escalar hedónica de 7 puntos, donde se evaluaron los siguientes atributos: olor, color, sabor y textura.¹¹¹

3.5.3.2. Análisis de varianza

Se comprobaron las hipótesis planteadas mediante el análisis de varianza (ANOVA) por medio de bloques aleatorios para el tipo de estudio que es factorial resultando 18 tratamientos, utilizando los siguientes tratamientos: 2 tipos de lixiviación por maceración y 3 tipos de calidad de materia, empleando 3 repeticiones para cada combinación.

3.6. Recolección y ordenamiento de la información

El cardamomo (*Elettaria cardamomum* L. Maton) se obtuvo mediante el patrocinio de una agroindustria ubicada en Alta Verapaz, departamento de

¹ BARCINA, Yolanda, IBÁÑEZ, Francisco. *Análisis sensorial de alimentos: métodos y aplicaciones*. Edición única. España: Springer, 2001.

Guatemala, por el Lic. Juan Pablo Azurdia. El alcohol etílico grado alimenticio se compró, por una parte, con la ayuda de la Lic. María Salomé García y otra parte con el apoyo del Centro de Investigaciones de Ingeniería (CII) de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Asimismo, se consiguió patrocinio de la Licda. María Salomé García en la compra del diésel necesario para realizar los procesos de concentración y en la compra de los insumos necesarios en el proceso de elaboración de la mermelada casera de pera.

La parte experimental de extracción, evaluación de rendimiento y propiedades físicas de oleorresina de semilla de cardamomo se realizó en la planta piloto de extracción de oleorresina del LIEXVE de la sección de Química industrial del Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala. La evaluación de calidad de oleorresina de cardamomo se realizó en el Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada del Centro de Bioquímica/Departamento de Química del Instituto de Investigaciones de la Universidad del Valle de Guatemala.

3.7. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

Para poder determinar el porcentaje de rendimiento del extracto de oleorresina de cardamomo, se utilizó la siguiente ecuación:

$$R = \frac{W_f}{W_o} \times 100 \quad \text{Ecuación Núm. 1}$$

Donde:

W_o = peso Inicial de semilla de cardamomo (g)

W_f = peso final obtenido del extracto de cardamomo (g)

R = rendimiento extractivo de oleorresina de cardamomo (%)

3.7.1. Tablas de tabulación de datos

En esta sección se detallan y definen los formatos de las tablas que se utilizaron en el experimento, tabla de datos originales. Estos son los que se llevaron a cabo el cumplimiento de los objetivos planteados, por lo tanto, el ordenamiento y tabulación es de suma importancia tenerlos organizados.

Tabla IV. **Tabla de recolección de datos y propiedades físicas de oleorresina de cardamomo (*Elettaria cardamomum* L. Maton) obtenidas a escala planta piloto y escala laboratorio**

No.	Escala laboratorio		Escala planta piloto				
	Peso I. (kg)	Peso F. (kg)	Peso I. (kg)	Peso F. (kg)	pH	Índice de refracción	Densidad (g/mL)
1							
2							
...							
n							

Fuente: elaboración propia.

Nota: esta tabla es el formato de recolección de datos tanto para cada método de extracción como para cada clase de calidad de semilla.

Tabla V. **Resultados de análisis de composición química de oleorresina de cardamomo (*Elettaria cardamomum* L. Maton) obtenidas a escala planta piloto**

Componente	Nombre del componente	Proporción (%)
1		
2		
...		
n		

Fuente: elaboración propia.

Nota: esta tabla es el formato de recolección de datos, tanto para cada método de extracción como para cada clase de calidad de semilla. Formato que se usará para los resultados de los análisis de calidad oleorresina de cardamomo.

Tabla VI. **Resultados de la prueba hedónica de 7 puntos**

MUESTRA	Calificación para cada atributo			
	OLOR	COLOR	SABOR	TEXTURA
A				
B				
C				
D				

Fuente: elaboración propia.

Nota: este formato es el estipulado para realizar la encuesta de degustación técnica, análisis sensorial. Se realizaron 3 encuestas donde la tabla precedente a la otra indicara el grado de cualidad que la mermelada pretende.

3.8. Procesos de extracción de oleorresina de cardamomo a escala planta piloto y a escala laboratorio

En este apartado se detallan los algoritmos que permiten llevar a cabo la extracción de oleorresina de cardamomo a escala planta piloto y a escala laboratorio; a escala planta piloto, los procedimientos se detallan por el tipo de operación unitaria. En las extracciones a escala planta piloto se sigue la secuencia de operaciones unitarias después de almacenar las semillas de cardamomo (previamente deshidratadas) hasta el enfrascado de la oleorresina de cardamomo. Las operaciones unitarias involucradas en secuencia son: clasificación de semilla, reducción de tamaño de partícula, granulometría, lixiviación, filtración y evaporación.

3.8.1. Clasificación de semilla de cardamomo

El proceso de clasificación de semilla de cardamomo se realizó siguiendo la Norma COGUANOR NGO 34-152 (anexo C), especificaciones del cardamomo. Las cápsulas de cardamomo se clasifican según su estado, su color y su tamaño o masa. La clasificación se realizó con el reflejo de la luz solar, de 08:00-17:00.

En el apartado 5.1 de esta Norma indica que por el estado de la cápsula se clasifica en dos tipos: tipo 1 las semillas con cápsula entera y tipo 2 con cápsula abierta. La clasificación según su color se da por:

- 1ra. calidad las cápsulas de color verde
- 2da. calidad de color verde pálido y
- 3ra. calidad de color manchado y amarillo pálido

Esto independientemente si la cápsula es del tipo 1 o del 2. Según el tamaño, aplica solamente para cápsulas del tipo 1 de 1ra. y 2da. calidad: súper grande (1,70 cm o más), extra grande (1,50-1,69 cm), grande (1,30-1,49 cm), mediano (1,10-1,29 cm), pequeño (0,90-1,09) y *baby* (0,70 cm o menos). Por su masa, aplicable solamente a las cápsulas enteras de tercera, son: grado 1, grado 2, grado 3 y grado 4.

3.8.2. Reducción de tamaño de partícula

La reducción de tamaño se realizó con un molino de discos (de nixtamal), se redujo el tamaño de partícula hasta separar las semillas de la cápsula, la reducción de tamaño se graduaba manualmente al reducir el espacio entre los discos. En este proceso es importante mencionar que, según el análisis granulométrico, se obtuvo mayor presencia de sólidos fino en la 2da. calidad, seguido por la 3ra. calidad y por último la primera.

3.8.3. Análisis granulométrico

El análisis granulométrico se realizó para justificar los datos de rendimiento de extracción de oleorresina a escala planta piloto. En el análisis granulométrico se utilizaron los siguientes tamices: 10, 20, 30, 40, 50, 60 y 80 mesh. En este análisis se tomaron 3 muestras del cardamomo molido por cada tipo de calidad, cada muestra pesaba 150 g y la muestra se extrajo de diferente puntos del contenedor. Después de pesar la muestra se procedió a tamizar manualmente durante un tiempo aproximado de 10 min; cada tamiz se pesó con los sólidos contenidos en ellos (tamices previamente tarados).

3.8.4. Procesos de extracción de oleorresina obtenida a escala planta piloto y a escala laboratorio

En la tabla VII se muestra el detalle paso a paso de los procedimientos necesarios en la extracción de oleorresina de cardamomo obtenida a escala planta piloto y a escala laboratorio.

Tabla VII. **Proceso de extracción de oleorresina, escala planta piloto**

Paso	Procedimiento o medición a utilizar
1	Limpiar e inspeccionar los instrumentos y equipo a utilizar.
2	Pesar la muestra necesaria de materia prima para la extracción (4,54 Kg).
3	Medir el volumen de solvente necesario (etanol 95%), relación Kg de materia prima/Kg de solvente es 1/11.
4	Agregar el solvente y luego la materia prima en el tanque.
5	Definir tipo extracción de maceración: maceración dinámica y maceración estática.
6	Realizar 3 horas de maceración.
7	Filtrar al vacío el extracto etanólico con sólidos finos suspendidos.
8	Guardar el extracto etanólico en recipiente plástico

Fuente: elaboración propia.

Nota: se realizó el mismo procedimiento descrito anteriormente para las 18 extracciones de oleorresina de cardamomo.

Tabla VIII. **Proceso de evaporación de solvente de extracción utilizado en extracción de oleorresina a escala planta piloto**

Paso	Procedimiento o medición a utilizar
1	Evaluar el nivel de agua y de combustible que se requiere para el funcionamiento de la caldera.
2	Abrir las válvulas necesarias y cerrar las válvulas innecesarias para el funcionamiento de la caldera.
3	Encender caldera para la producción de vapor.
4	Evaluar la presión del vapor entre 110-120 psi.
5	Abrir las válvulas que se requieren para el funcionamiento de la marmita de concentración, y accionar el funcionamiento del sistema al vacío.
6	Limpiar con vapor e inspeccionar los instrumentos y equipo a utilizar.
7	Agregar el extracto etanólico filtrado en la marmita de concentración.
8	Concentrar la oleorresina de cardamomo entre 24-25 °C (presión al vacío de -7,8 Kpa) durante un tiempo aproximado de 9-10 h.
9	Apagar la caldera al girar la llave de la caldera, de encendido a apagado. La caldera se apaga 1 hora antes de terminar la evaporación, para aprovechar el vapor remanente en la caldera.
10	Después del proceso de concentración, cerrar la válvula de paso de vapor hacia la chaqueta de la marmita de concentración, presionar el interruptor de apagado del sistema de vacío y abrir válvulas de enfriamiento (línea de agua municipal).
11	Guardar la oleorresina de cardamomo en contenedor plástico, contenedor previamente tarado, y evaluar el rendimiento extractivo.
12	Identificar el tratamiento realizado.

Fuente: elaboración propia.

Nota: se realizó el mismo procedimiento de evaporación de oleorresina para los 18 tratamientos definidos en el diseño experimental.

Tabla IX. **Proceso de extracción de oleorresina, escala laboratorio**

Paso	Procedimiento o medición a utilizar
1	Limpiar e inspeccionar los instrumentos y equipo a utilizar.
2	Pesar la muestra necesaria de materia prima para la extracción (10 g).
3	Medir el volumen de solvente necesario (etanol 95 %) con relación kg de materia prima/Kg de solvente, 1/11.
4	Agregar la materia prima y el solvente en el balón de fondo plano
5	Definir tipo de extracción por maceración: maceración dinámica o maceración estática.
6	Realizar 3 horas de maceración.
7	Filtrar a vacío el extracto etanólico.
8	Guardar el extracto etanólico en un balón de 500 mL.
9	Tapar el balón con parafilm.

Fuente: elaboración propia.

Nota: se realizó el mismo procedimiento de concentración de oleorresina para los 4 métodos diferentes de extracción. La temperatura de trabajo es 25°C.

Tabla X. **Proceso de evaporación de solvente de extracción utilizado en extracción de oleorresina a escala laboratorio**

Paso	Procedimiento o medición a utilizar
1	Limpiar e inspeccionar los instrumentos y equipo a utilizar.
2	Tarar el balón a utilizar en el rotaevaporador.
3	Agregar el filtrado de extracto etanólico al balón para rotaevaporar.
4	Encender el rotaevaporador.
5	Definir en el rota-evaporador el tipo de solvente utilizado, etanol.
6	Definir temperatura para calentamiento en el rotaevaporador a 60°C.
7	Poner a funcionar la rotación en el rotaevaporador.
8	Presionar Start en el rotaevaporador, para generar vacío.
9	Rotaevaporar de 5 a 10 min después de dejar de condensar etanol.
10	Apagar todos los interruptores del rota-evaporador.
10	Pesar la oleorresina contendía en el balón.
11	Evaluar el rendimiento de extracción

Fuente: elaboración propia.

Nota: se realizó el mismo procedimiento de concentración de oleorresina para todas las extracciones a escala laboratorio.

3.9. Procedimientos de análisis físicos y análisis sensorial

En la tabla XI se describe el proceso de análisis de oleorresina.

Tabla XI. **Proceso de análisis físico de oleorresina**

Paso	Procedimiento o medición a utilizar
1	Limpiar e inspeccionar los instrumentos y equipos a utilizar.
3	Determinar la densidad con la ayuda de una probeta.
4	Evaluar el pH con la ayuda de un potenciómetro de hidrógeno.
5	Medir el índice de refracción utilizando refractómetro.
6	Tabular resultados obtenidos en las tablas correspondientes

Fuente: elaboración propia.

Nota: el análisis físico se realizó de la misma forma para cada tratamiento definido en el diseño experimental.

Tabla XII. **Proceso de elaboración de mermelada casera de pera**

Paso	Procedimiento o medición a utilizar
1	Limpiar y pelar las peras.
2	Limpieza de corazón y pepitas de peras.
3	Añadir 1,5 kg de peras limpias a una cacerola.
4	Añadir 300 ml de agua pura y una pizca de sal, calentar a fuego lento hasta que las peras estén completamente blandas.
5	Pasar la pulpa por un tamiz para eliminar las impurezas.

Continuación de la tabla XII.

6	Pesar y colocar en una cacerola o recipiente plástico junto con el 60 % de su peso en azúcar.
7	Agregar el zumo de limón, la proporción "X" de oleorresina de cardamomo y el jengibre.
8	Enfrascar la mermelada de pera
9	Realizar 4 muestras de mermelada de pera con diferentes proporciones de cardamomo.

Fuente: elaboración propia.

Nota: los intervalos de las proporciones de oleorresina de cardamomo en la mermelada se definen por las encuestas o por límites permitidos.

Tabla XIII. **Análisis sensorial, prueba hedónica de 7 puntos**

Paso	Procedimiento o medición a utilizar
1	Limpiar e inspeccionar los instrumentos y equipos a utilizar en la encuesta.
2	Realizar las cuatro muestras con diferentes proporciones de oleorresina de cardamomo (las proporciones, según porcentaje en peso, son: 0,003 para A; 0,006 para B; 0,009 para C y 0,012).
3	Realizar la prueba hedónica de 7 puntos en la Universidad de San Carlos de Guatemala.
4	Realizar prueba hedónica de 7 puntos a 10 personas.
5	Definir la proporción final de cardamomo utilizando el análisis de varianza.

Fuente: elaboración propia.

3.10. Análisis estadístico

Muestra representativa de datos que busca explicar las correlaciones y dependencias de ocurrencia en forma aleatoria o condicional.

3.10.1. Análisis de varianza

Para cada componente de la determinación fisicoquímica se utilizará un análisis de varianza (ANOVA) por medio de un diseño de bloques aleatorio.

Tabla XIV. Datos típicos para el diseño de bloques al azar

COMPONENTE	OBSERVACIONES O SERIES					
C_n						
Tratamientos	1	2	3	J	Total a	Promedio a
1	$Y_{1,1}$	$Y_{1,2}$	$Y_{1,3}$	$Y_{1,j}$	$Y_{1,a}$	$Y_{1,a}$
2	$Y_{2,1}$	$Y_{2,2}$	$Y_{2,3}$	$Y_{2,j}$	$Y_{2,a}$	$Y_{2,a}$
:	:	:	:	:	:	:
i	$Y_{i,1}$	$Y_{i,b}$	$Y_{i,b}$	$Y_{i,j}$	$Y_{i,a}$	$Y_{i,a}$
Total b	$Y_{i,b}$	$Y_{2,b}$	$Y_{3,b}$	$Y_{1,b}$	$Y_{i,j}$	
Promedio b	$Y_{i,b}$	$Y_{2,b}$	$Y_{3,b}$	$Y_{1,b}$		Y

Fuente: elaboración propia.

Donde:

$Y_{i,j}$ = total de las observaciones bajo el i,j-ésimo tratamiento.

Y = promedio total de las observaciones bajo el i,j-ésimo tratamiento.

$Y_{a,b}$ = datos obtenidos para cada observación bajo cada tratamiento

Por lo general un procedimiento para el diseño de un bloque aleatorio consiste en seleccionar b bloques y en ejecutar una repetición completa del experimento en cada bloque, con un solo factor con a niveles. Cada una de las observaciones establecidas puede representarse por medio de un modelo estadístico lineal de la siguiente manera:

$$i = 1, 2, \dots, a \quad (\text{Ecuación No. 1})$$

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij} \quad (\text{Ecuación No. 2})$$

$$j = 1, 2, \dots, b \quad (\text{Ecuación No. 3})$$

Donde:

y_{ij} = observación

μ = media general

τ_i = efecto del tratamiento i -ésimo

β_j = efecto del bloque j -ésimo

ε_{ij} = error aleatorio

Nota: el formato de la tabla VII es el que se utilizó para tabular todos los resultados obtenidos a partir del análisis de varianza.

Tabla XV. **Análisis de varianza para el experimento de bloque aleatorio**

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F _o
Tratamientos	$\sum_{i=1}^a y_i^2 b - y^2 \dots ab$	$a - 1$	$(SS_{tratamientos}) / (a - 1)$	$(MS_{tratamientos}) / MS_E$
Bloques	$\sum_{j=1}^b y_j^2 b - y^2 \dots ab$	$b - 1$	$(SS_{tratamientos}) / (b - 1)$	-
Error	SS_E (por sustracción)	$(a - 1)(b - 1)$	$(SS_E) / [(a - 1)(b - 1)]$	-
Total	$\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b y_i^2 - y^2 \dots ab$	$ab - 1$	-	-

Fuente: TREYBAL, Robert. *Operaciones de transferencia de masa*. p. 820.

Los efectos de bloque y tratamiento se definen como desviaciones respecto a la media general. Como el interés es probar la igualdad de los efectos del tratamiento y observaciones con base a las hipótesis nulas y alternativas, siendo de la siguiente forma:

$$H_0: \tau_1 = \tau_2 = \dots = \tau_a = 0$$

$$H_1: \tau_i \neq 0 \text{ al menos una } i$$

Las operaciones para el análisis de varianza se resumen en la siguiente tabla, así como las fórmulas para el cálculo de suma de cuadrados. La hipótesis nula de ningún efecto de tratamiento se prueba mediante la razón de Fisher, que se define como: $F = \frac{MS_{Tratamientos}}{MS_E}$ donde $MS_{tratamientos}$ es la media cuadrática de los tratamientos y MSE es la media cuadrática del error.

3.10.2. Prueba múltiple de Duncan

El procedimiento o prueba de Duncan de rango múltiple. Este se basa en el concepto general del rango studentizado. El rango de cualquier subconjunto de p medias muestrales debe superar cierto valor antes de que se encuentre que cualquiera de las p medias es diferente. Este valor recibe el nombre de rango mínimo significativo para las p medias y se denota como R_p .

Donde:

$$R_p = r_p \sqrt{\frac{\sigma^2}{n}} \quad (\text{Ecuación 4})$$

Los valores de a cantidad r_p , llamados rango mínimo significativo studentizado, dependen del nivel de significancia deseado y de número de grados de libertad de error cuadrático medio.

4. RESULTADOS

4.1. Extracción de oleorresina de cardamomo (*Elettaria cardamomum* L. Maton) a escala planta piloto

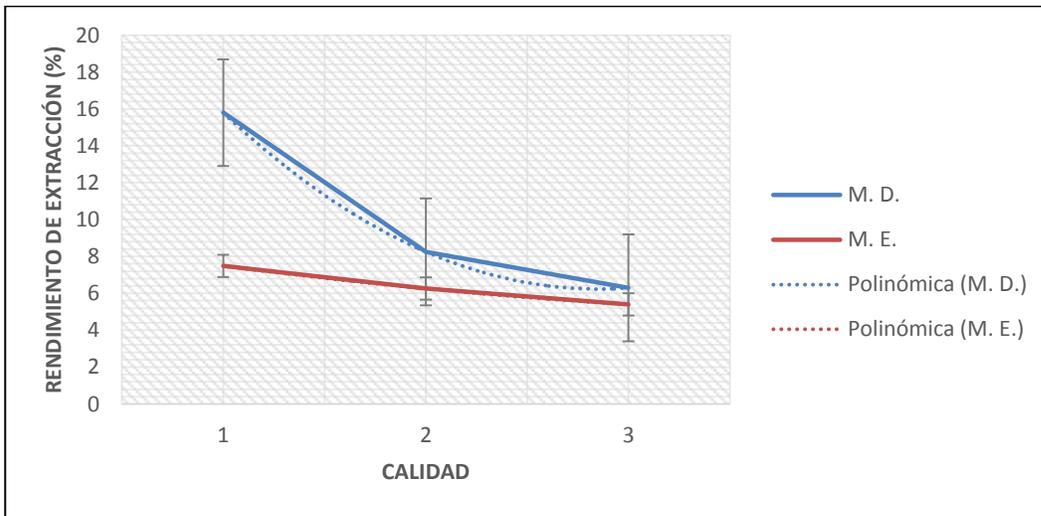
Promedio, desviación estándar y error relativo del rendimiento de extracción de oleorresina de cardamomo (*Elettaria cardamomum* L. Maton) obtenida a escala planta piloto y escala laboratorio por maceración dinámica y maceración estática, empleando materia prima de 1ra., 2da. y 3ra. calidad.

Tabla XVI. Rendimiento de extracción

Observaciones		Rendimiento de extracción			
		Rendimiento, escala planta piloto		Rendimiento, escala laboratorio	Error relativo (%)
Maceración	Calidad	\bar{X}	σ	\bar{X}	
Dinámica	1ra.	15,795	0,596	21,543	26,680
	2da.	8,252	0,680	13,564	39,165
	3ra.	6,297	0,554	8,978	29,862
Estática	1ra.	7,486	1,447	12,546	40,334
	2da.	6,258	0,788	7,984	21,618
	3ra.	5,400	0,914	6,489	16,787

Fuente: elaboración propia, con datos experimentales obtenidos en LIEXVE.

Figura 24. Rendimiento de extracción de oleorresina de cardamomo (*Elettaria cardamomum* L. Maton) obtenida a escala planta piloto en función del tipo de calidad de materia prima (1ra., 2da. y 3ra. calidad)



Fuente: elaboración propia, con datos experimentales obtenidos en LIEXVE.

Tabla XVII. Modelo matemático y coeficiente de correlación del rendimiento de extracción de oleorresina de cardamomo (*Elettaria cardamomum* L. Maton) obtenida a escala planta piloto en función del tipo de calidad de materia prima (1ra., 2da. y 3ra. calidad)

Color	Descripción	Función matemática	R ²
	Maceración dinámica	$y = 2,795X^2 - 15,927X + 28,928$	1
	Maceración estática	$y = 0,185X^2 - 1,782X + 9,083$	1

Fuente: elaboración propia, con datos experimentales obtenidos en LIEXVE.

4.2. Calidad de oleorresina de cardamomo

A continuación se presenta la composición química de oleorresina de cardamomo en la tabla XVIII.

Tabla XVIII. Composición química de oleorresina de cardamomo

No.	METABOLITO SECUNDARIO			CALIDAD		
	No. CAS	Nombre común	Nombre IUPAC	1ra.	2da.	3ra.
1	000080-26-2	Acetato de terpinilo	Acetato de 4-trimetil- alpha,alpha-3- ciclohexano-1- metanol	X	X	X
2	000470-82-6	1,8-cineol	Eucaliptol	X	X	X
3	000078-36-4	Acetato de linalilo	Butirato de 1,5- dimetil-1-vinil-4- hexenil	X	X	X
4	00078-70-6	Linalool	3,7-dimetil-1,6- octadien-3-ol	X	X	X
5	000064-17-5	Etanol	Alcohol etílico	X	X	X
6	000142-50-7	Nerolidol	[S-(Z)]-3,7,11-trimetil- 1,6,10-dodecatrien-3- ol	X	X	X
7	000624-15-7	Geraniol	3,7-dimetil-2,6- octadien-1-ol	X	X	X
8	000057-10-3	Acido palmítico	Acido n- hexadecanoico	X	X	X
9	020126-76-5	α -terpineol	(R)-4-metil-1-(1- metiletil)-3- ciclohexen-1-ol	X	X	X
10	007299-41-4	-	Cis-beta-terpineol	X	X	X
11	013466-78-9	-	3-careno	X	X	-

Continuación de la tabla XVIII.

12	000105-87-3	Acido acético, geraniol éster	(E)-acetato de 3,7-dimetil-2,6-octadien-1-ol	X	X	-
13	000141-27-5	(E)-citral	(E) 3,7-dimetil octa-2,6-dienal	X	X	X
14	007299-41-4	Cis- beta- terpineol	1-methyl-4-(1-methylethenyl)-cyclohexanol	X	X	X
15	000106-26-3	Z-citral	(Z)-3,7dimetil-2,6-octadienol	X	X	X
16	003790-71-4	(Z,E)-farnesol	(Z,E)-3,7,11-trimetil-2,6,10-dodecatrien-1-ol	X	-	-
17	1000245-88-7	-	Eter pentametildisilil-exo-norbornanol	X	X	X
18	000123-51-3	Alcohol isoamilico	3-metil-1-butanol	X	-	-
19	000502-67-0	Farnesal	3,7,11-trimetil-2,6,10-dodecatrienol	X	X	X
20	000060-33-3	Ácido linoléico	Acido (Z,Z)-9,12-octadienoico	-	X	X
21	007785-26-4	L(-)-alfa-pineno	1s-alfa-pineno	X	X	X
22	061141-64-8	-	2,3-dihidro-1-metil-1-propil-1-sila-1H-ideno	-	X	-
23	000112-79-8	Ácido elaídico	Acido <i>trans</i> -octadecenoico	-	X	X
24	000106-28-5	(E,E) farnesol	(E,E)-3,7,11,trimetil-2,6,10-dodecatrien-1-ol	X	X	-
25	000593-39-5	Ácido petroselénico	Ácido (Z)-6-octadecenoico	-	X	X

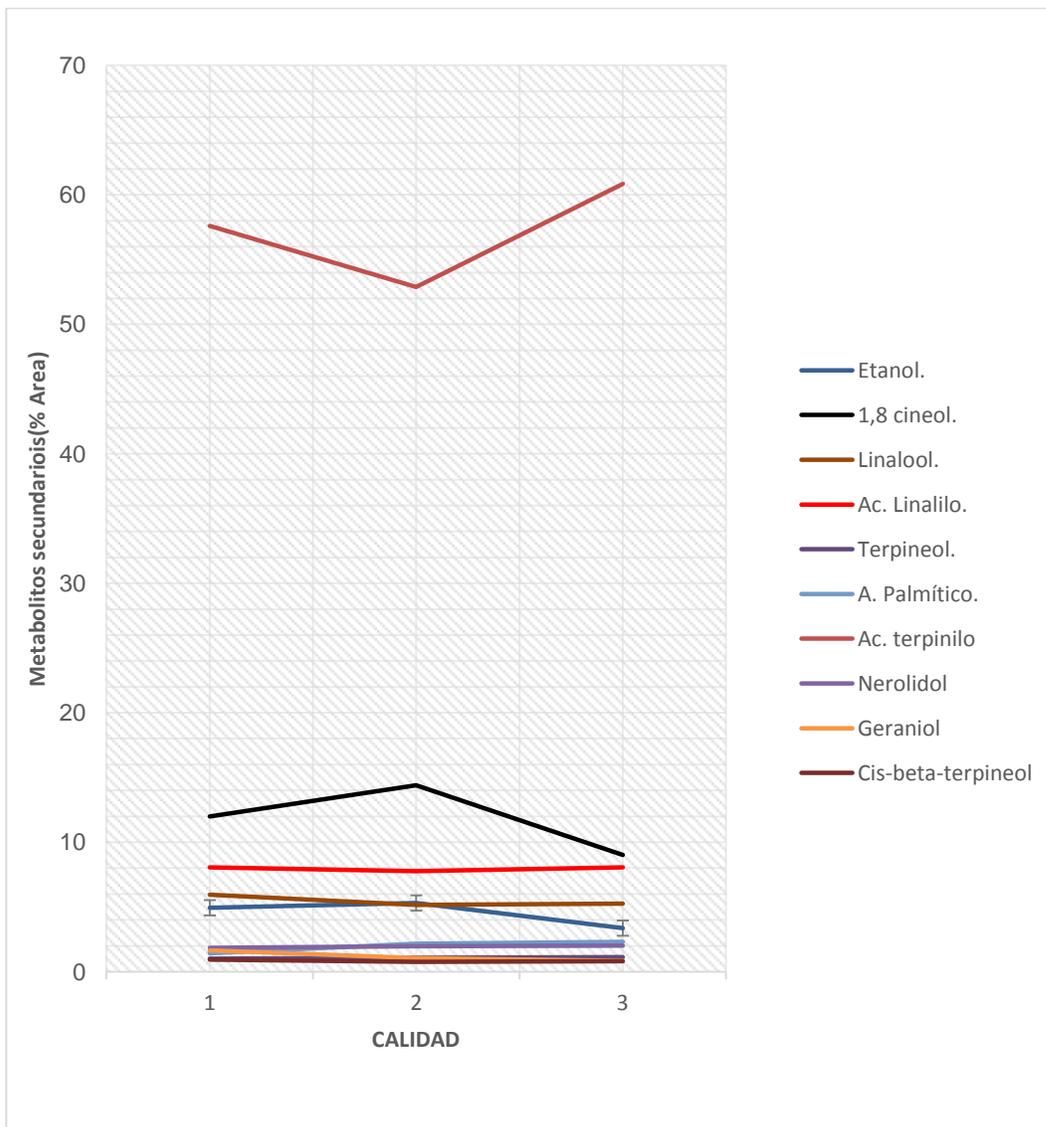
Fuente: datos experimentales obtenidos en el Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, Centro de Bioquímica/Departamento de Química, Instituto de Investigaciones, Universidad del Valle de Guatemala.

Tabla XIX. **Metabolitos secundarios presentes en oleoresina de cardamomo (*Elettaria cardamomum* L. Maton) obtenida a escala planta piloto por maceración dinámica, utilizando materia prima de 1ra., 2da. y 3ra. calidad**

No.	Metabolito secundario	Área (%), calidad		
		1ra.	2da.	3ra.
1	Acetato de terpinilo	57,596	52,894	60,854
2	1,8-cineol	11,980	14,389	9,013
3	Acetato de linalilo	8,059	7,770	8,069
4	Linalool	5,952	5,151	5,266
5	Etanol	4,940	5,307	3,365
6	Nerolidol	1,834	1,960	2,021
7	Geraniol	1,635	1,062	0,837
8	Acido palmítico	1,416	2,159	2,320
9	α -terpineol	1,016	1,091	1,120
10	<i>Cis</i> -beta-terpineol	0,939	0,768	0,800
11	(E)-citral	0,679	0,676	0,930
12	<i>Cis</i> - beta- terpineol	0,523	0,467	0,477
13	Z-citral	0,413	0,435	0,588
14	Farnesal	0,272	0,300	0,391

Fuente: elaboración propia, con datos experimentales obtenidos en el Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, Centro de Bioquímica/Departamento de Química, Instituto de Investigaciones, Universidad del Valle de Guatemala.

Figura 25. **Metabolitos secundarios presentes en oleorresina de cardamomo (*Elettaria cardamomum* L. Maton) obtenida a escala planta piloto por maceración dinámica en función del tipo de calidad de materia prima (1ra., 2da. y 3ra. calidad)**



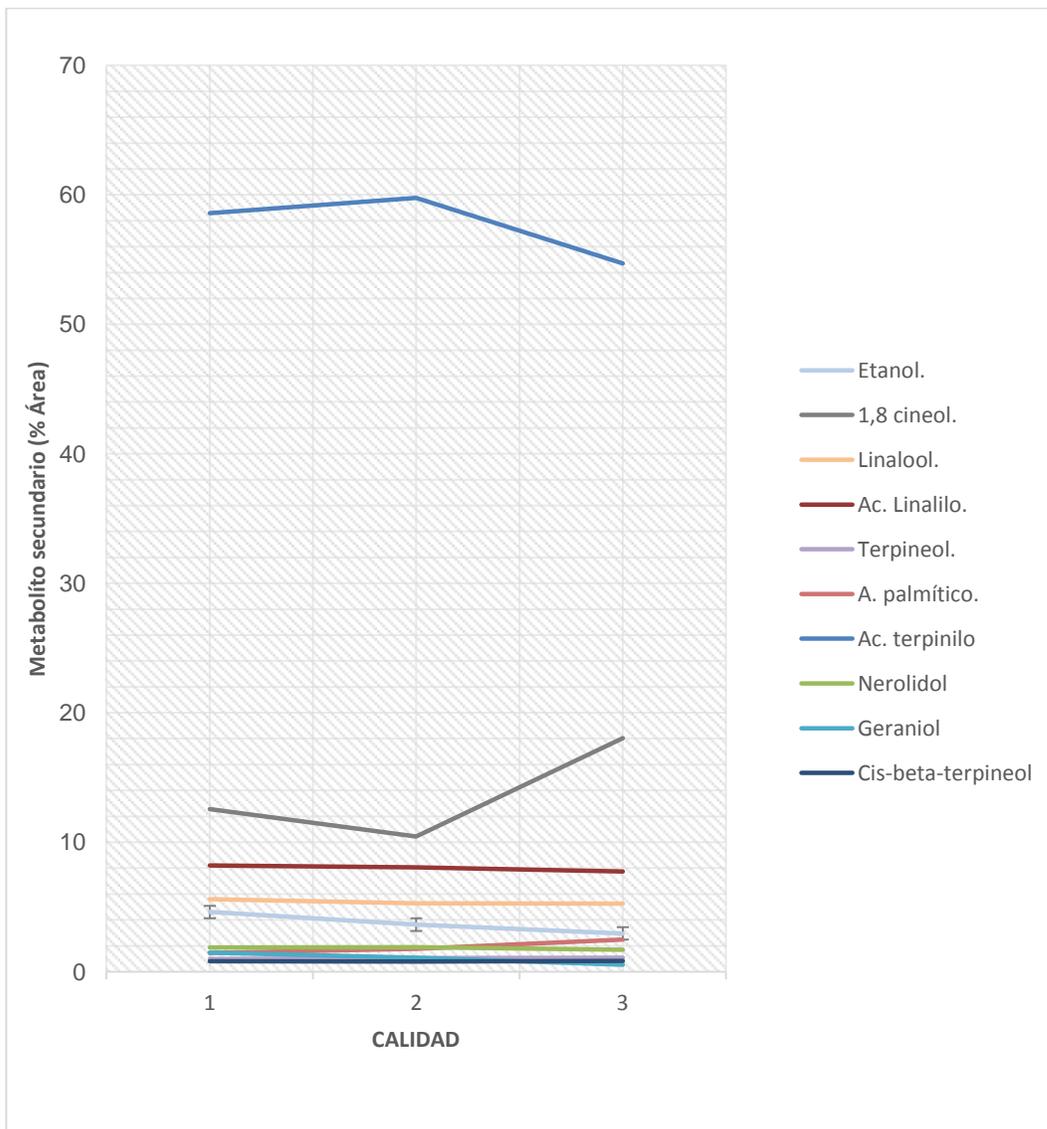
Fuente: elaboración propia, con datos experimentales obtenidos en el Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, Centro de Bioquímica/Departamento de Química, Instituto de Investigaciones, Universidad del Valle de Guatemala.

Tabla XX. **Metabolitos secundarios presentes en oleorresina de cardamomo (*Elettaria cardamomum* L. Maton) obtenida a escala planta piloto por maceración estática, utilizando materia prima de 1ra., 2da. y 3ra. calidad**

No.	Metabolito secundario	Área (%), calidad		
		1ra.	2da.	3ra.
1	Acetato de terpinilo	58,577	59,765	54,709
2	1,8-cineol	12,566	10,450	18,046
3	Acetato de linalilo	8,206	8,069	7,730
4	Linalool	5,591	5,288	5,267
5	Etanol	4,607	3,637	2,950
6	Nerolidol	1,873	1,899	1,696
7	Geraniol	1,475	1,084	0,546
8	Acido palmítico	1,458	1,778	2,480
9	α -terpineol	0,982	1,045	1,092
10	Cis-beta-terpineol	0,820	0,786	0,828
11	(E)-citral	0,614	0,783	0,748
12	Cis- beta- terpineol	0,480	0,458	0,481
13	Z-citral	0,372	0,485	0,479

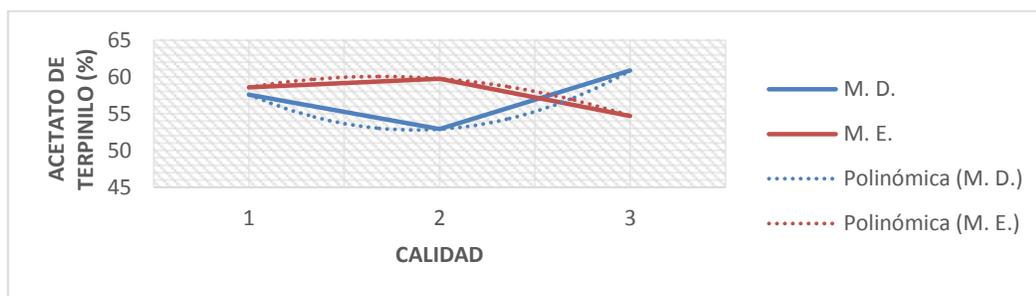
Fuente: elaboración propia, con datos experimentales obtenidos en el Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, Centro de Bioquímica/Departamento de Química, Instituto de Investigaciones, Universidad del Valle de Guatemala.

Figura 26. **Gráfica de metabolitos secundarios presentes en oleorresina de cardamomo (*Elettaria cardamomum* L. Maton) obtenida a escala planta piloto por maceración estática en función del tipo de calidad de materia prima (1ra., 2da. y 3ra. calidad)**



Fuente: elaboración propia, con datos experimentales obtenidos en el Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, Centro de Bioquímica/Departamento de Química, Instituto de Investigaciones, Universidad del Valle de Guatemala.

Figura 27. **Contenido acetato de terpinilo presente en oleorresina de cardamomo (*Elettaria cardamomum* L. Maton) obtenida a escala planta piloto por maceración dinámica y estática en función del tipo de calidad de materia prima (1ra., 2da. y 3ra. calidad)**



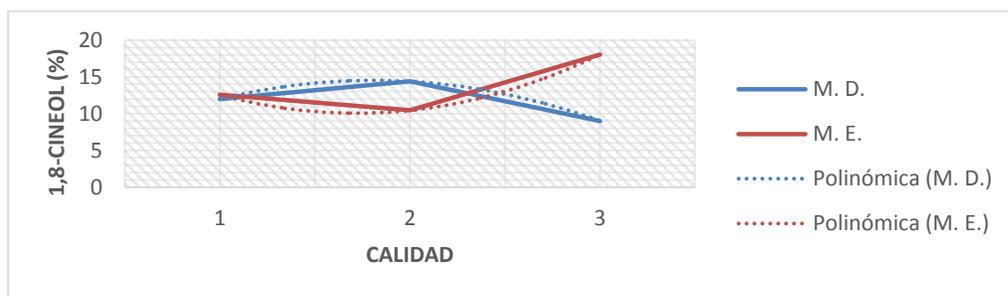
Fuente: elaboración propia, con datos experimentales obtenidos en el Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, Centro de Bioquímica/Departamento de Química, Instituto de Investigaciones, Universidad del Valle de Guatemala.

Tabla XXI. **Modelo matemático y coeficiente de correlación del contenido de acetato de terpinilo presente en oleorresina de cardamomo (*Elettaria cardamomum* L. Maton) obtenida a escala planta piloto por maceración dinámica y estática en función del tipo de calidad de materia prima (1ra., 2da. y 3ra. calidad)**

Color	Descripción	Función matemática	R ²
	Maceración dinámica	$y = 6,331X^2 - 23,695X + 74,960$	1
	Maceración estática	$y = -3,122X^2 + 10,554X + 51,145$	1

Fuente: elaboración propia, con datos experimentales obtenidos en el Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, Centro de Bioquímica/Departamento de Química, Instituto de Investigaciones, Universidad del Valle de Guatemala.

Figura 28. **Contenido de 1,8-cineol presente en oleorresina de cardamomo (*Elettaria cardamomum* L. Maton) obtenida a escala planta piloto por maceración dinámica y estática en función del tipo de calidad de materia prima (1ra., 2da. y 3ra. calidad)**



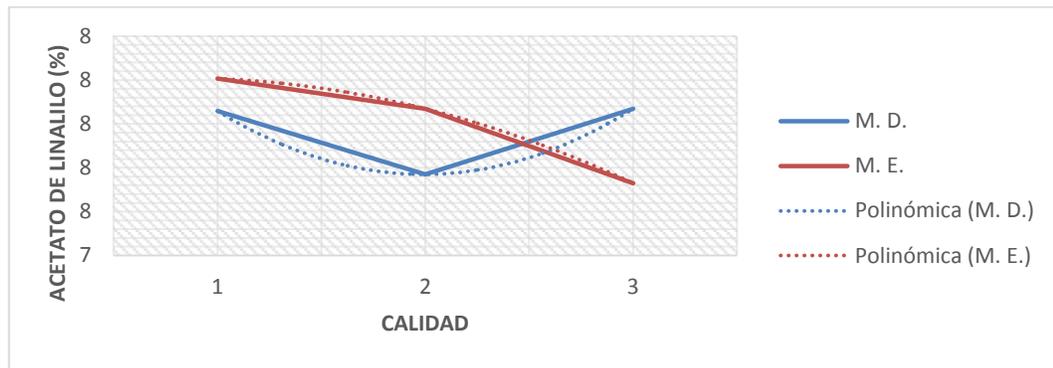
Fuente: elaboración propia, con datos experimentales obtenidos en el Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, Centro de Bioquímica/Departamento de Química, Instituto de Investigaciones, Universidad del Valle de Guatemala.

Tabla XXII. **Modelo matemático y coeficiente de correlación del contenido de 1,8-cineol presente en oleorresina de cardamomo (*Elettaria cardamomum* L. Maton) obtenida a escala planta piloto por maceración dinámica y estática en función del tipo de calidad de materia prima (1ra., 2da. y 3ra. calidad)**

Color	Descripción	Función matemática	R ²
	Maceración dinámica	$y = -3,893X^2 + 14,087X + 1,786$	1
	Maceración estática	$y = 4,856X^2 - 16,684X + 24,394$	1

Fuente: elaboración propia, con datos experimentales obtenidos en el Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, Centro de Bioquímica/Departamento de Química, Instituto de Investigaciones, Universidad del Valle de Guatemala.

Figura 29. **Contenido de acetato de linalilo presente en oleorresina de cardamomo (*Elettaria cardamomum* L. Maton) obtenida a escala planta piloto por maceración dinámica y estática en función del tipo de calidad de materia prima (1ra., 2da. y 3ra. calidad)**



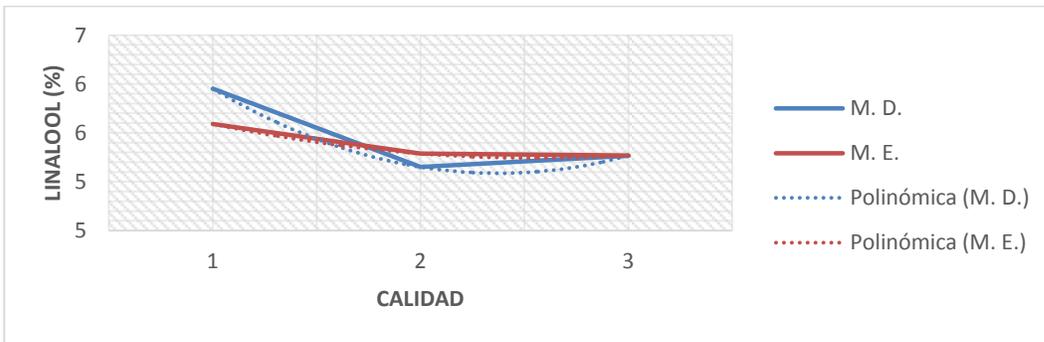
Fuente: elaboración propia, con datos experimentales obtenidos en el Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, Centro de Bioquímica/Departamento de Química, Instituto de Investigaciones, Universidad del Valle de Guatemala.

Tabla XXIII. **Modelo matemático y coeficiente de correlación del contenido de acetato de linalilo presente en oleorresina de cardamomo (*Elettaria cardamomum* L. Maton) obtenida a escala planta piloto por maceración dinámica y estática en función del tipo de calidad de materia prima (1ra., 2da. y 3ra. calidad)**

Color	Descripción	Función matemática	R ²
	Maceración dinámica	$y = 0,294X^2 - 1,171X + 8,936$	1
	Maceración estática	$y = -0,101X^2 + 0,166X + 8,141$	1

Fuente: elaboración propia, con datos experimentales obtenidos en el Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, Centro de Bioquímica/Departamento de Química, Instituto de Investigaciones, Universidad del Valle de Guatemala.

Figura 30. **Contenido de linalool presente en oleorresina de cardamomo (*Elettaria cardamomum* L. Maton) obtenida a escala planta piloto por maceración dinámica y estática en función del tipo de calidad de materia prima (1ra., 2da. y 3ra. calidad)**



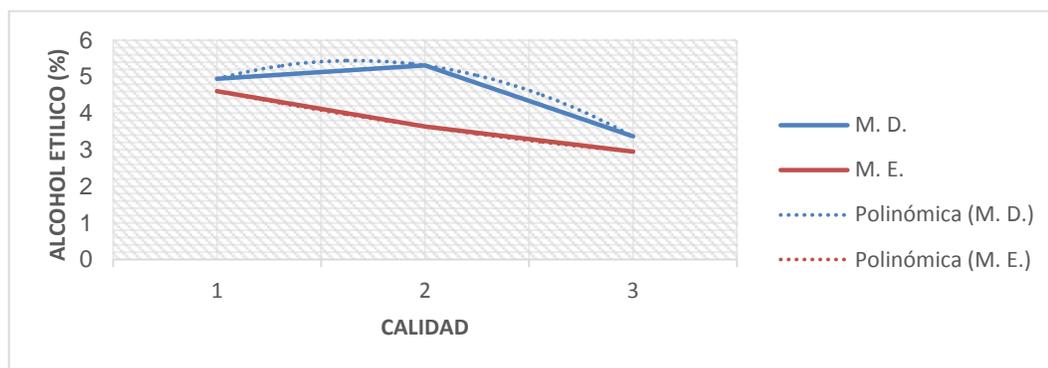
Fuente: elaboración propia, con datos experimentales obtenidos en el Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, Centro de Bioquímica/Departamento de Química, Instituto de Investigaciones, Universidad del Valle de Guatemala.

Tabla XXIV. **Modelo matemático y coeficiente de correlación del contenido de linalool presente en oleorresina de cardamomo (*Elettaria cardamomum* L. Maton) obtenida a escala planta piloto por maceración dinámica y estática en función del tipo de calidad de materia prima (1ra., 2da. y 3ra. calidad)**

Color	Descripción	Función matemática	R ²
	Maceración dinámica	$y = 0,458X^2 - 2,175X + 7,669$	1
	Maceración estática	$y = 0,141X^2 - 0,726X + 6,176$	1

Fuente: elaboración propia, con datos experimentales obtenidos en el Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, Centro de Bioquímica/Departamento de Química, Instituto de Investigaciones, Universidad del Valle de Guatemala.

Figura 31. **Contenido de alcohol etílico presente en oleorresina de cardamomo (*Elettaria cardamomum* L. Maton) obtenida a escala planta piloto por maceración dinámica y estática en función del tipo de calidad de materia prima (1ra., 2da. y 3ra. calidad)**



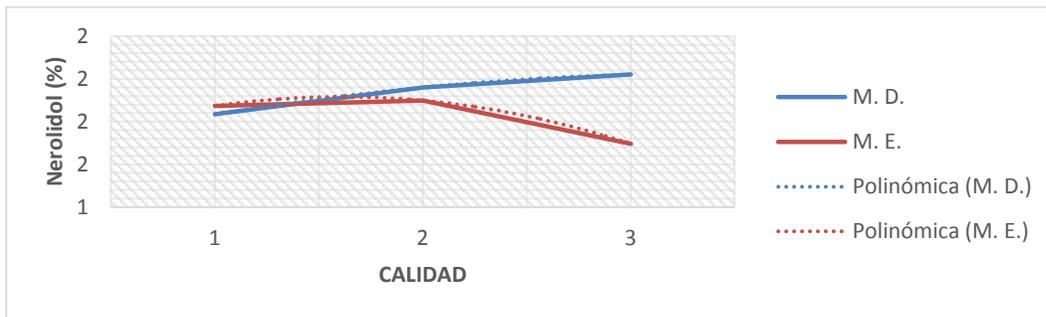
Fuente: elaboración propia, con datos experimentales obtenidos en el Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, Centro de Bioquímica/Departamento de Química, Instituto de Investigaciones, Universidad del Valle de Guatemala.

Tabla XXV. **Modelo matemático y coeficiente de correlación del contenido de alcohol etílico presente en oleorresina de cardamomo (*Elettaria cardamomum* L. Maton) obtenida a escala planta piloto por maceración dinámica y estática en función del tipo de calidad de materia prima (1ra., 2da. y 3ra. calidad)**

Color	Descripción	Función matemática	R ²
	Maceración dinámica	$y = -1,155X^2 + 3,831X + 2,264$	1
	Maceración estática	$y = 0,142X^2 - 1,395X + 5,860$	1

Fuente: elaboración propia, con datos experimentales obtenidos en el Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, Centro de Bioquímica/Departamento de Química, Instituto de Investigaciones, Universidad del Valle de Guatemala.

Figura 32. **Contenido de nerolidol presente en oleorresina de cardamomo (*Elettaria cardamomum* L. Maton) obtenida a escala planta piloto por maceración dinámica y estática en función del tipo de calidad de materia prima (1ra., 2da. y 3ra. calidad)**



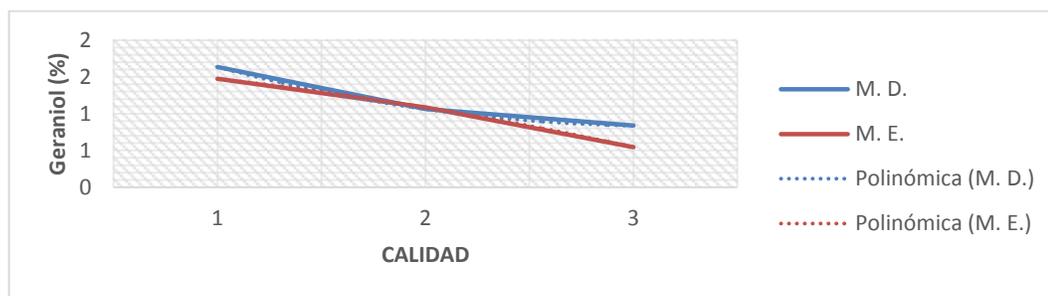
Fuente: elaboración propia, con datos experimentales obtenidos en el Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, Centro de Bioquímica/Departamento de Química, Instituto de Investigaciones, Universidad del Valle de Guatemala.

Tabla XXVI. **Modelo matemático y coeficiente de correlación del contenido de nerolidol presente en oleorresina de cardamomo (*Elettaria cardamomum* L. Maton) obtenida a escala planta piloto por maceración dinámica y estática en función del tipo de calidad de materia prima (1ra., 2da. y 3ra. calidad)**

Color	Descripción	Función matemática	R ²
	Maceración dinámica	$y = -0,033X^2 + 0,224X + 1,643$	1
	Maceración estática	$y = -0,115X^2 + 0,370X + 1,618$	1

Fuente: elaboración propia, con datos experimentales obtenidos en el Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, Centro de Bioquímica/Departamento de Química, Instituto de Investigaciones, Universidad del Valle de Guatemala.

Figura 33. **Contenido de geraniol presente en oleorresina de cardamomo (*Elettaria cardamomum* L. Maton) obtenida a escala planta piloto por maceración dinámica y estática en función del tipo de calidad de materia prima (1ra., 2da. y 3ra. calidad)**



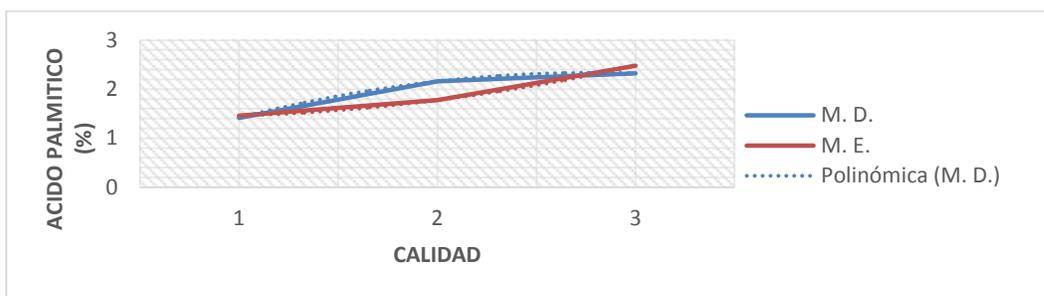
Fuente: elaboración propia, con datos experimentales obtenidos en el Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, Centro de Bioquímica/Departamento de Química, Instituto de Investigaciones, Universidad del Valle de Guatemala.

Tabla XXVII. **Modelo matemático y coeficiente de correlación del contenido de geraniol presente en oleorresina de cardamomo (*Elettaria cardamomum* L. Maton) obtenida a escala planta piloto por maceración dinámica y estática en función del tipo de calidad de materia prima (1ra., 2da. y 3ra. calidad)**

Color	Descripción	Función matemática	R ²
	Maceración dinámica	$y = 0,174X^2 - 1,095X + 2,556$	1
	Maceración estática	$y = -0,074X^2 - 0,171X + 1,719$	1

Fuente: elaboración propia, con datos experimentales obtenidos en el Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, Centro de Bioquímica/Departamento de Química, Instituto de Investigaciones, Universidad del Valle de Guatemala.

Figura 34. **Contenido de ácido palmítico presente en oleorresina de cardamomo (*Elettaria cardamomum* L. Maton) obtenida a escala planta piloto por maceración dinámica y estática en función del tipo de calidad de materia prima (1ra., 2da. y 3ra. calidad)**



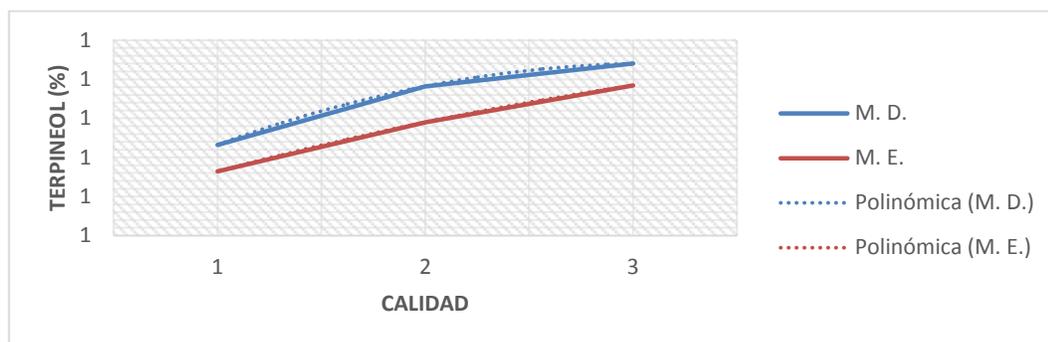
Fuente: elaboración propia, con datos experimentales obtenidos en el Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, Centro de Bioquímica/Departamento de Química, Instituto de Investigaciones, Universidad del Valle de Guatemala.

Tabla XXVIII. **Modelo matemático y coeficiente de correlación del contenido de ácido palmítico presente en oleorresina de cardamomo (*Elettaria cardamomum* L. Maton) obtenida a escala planta piloto por maceración dinámica y estática en función del tipo de calidad de materia prima (1ra., 2da. y 3ra. calidad)**

Color	Descripción	Función matemática	R ²
	Maceración dinámica	$y = -0,291X^2 + 1,616X + 0,091$	1
	Maceración estática	$y = 0,191X^2 - 0,253X + 1,520$	1

Fuente: elaboración propia, con datos experimentales obtenidos en el Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, Centro de Bioquímica/Departamento de Química, Instituto de Investigaciones, Universidad del Valle de Guatemala.

Figura 35. **Contenido de α -terpineol presente en oleorresina de cardamomo (*Elettaria cardamomum* L. Maton) obtenida a escala planta piloto por maceración dinámica y estática en función del tipo de calidad de materia prima (1ra., 2da. y 3ra. calidad)**



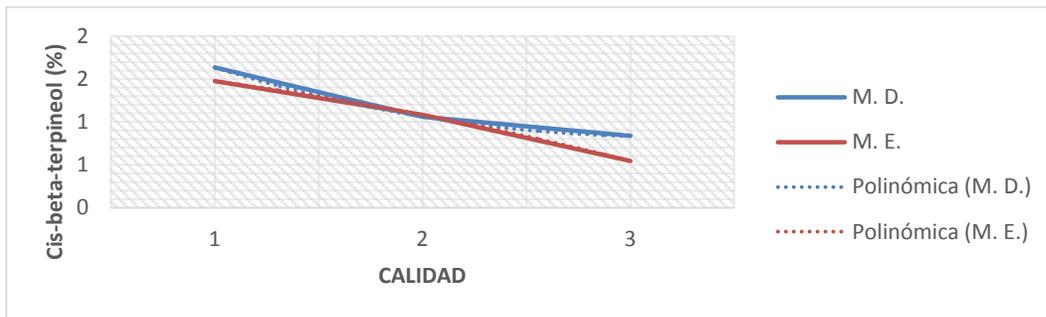
Fuente: elaboración propia, con datos experimentales obtenidos en el Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, Centro de Bioquímica/Departamento de Química, Instituto de Investigaciones, Universidad del Valle de Guatemala.

Tabla XXIX. **Modelo matemático y coeficiente de correlación del contenido de α -terpineol presente en oleorresina de cardamomo (*Elettaria cardamomum* L. Maton) obtenida a escala planta piloto por maceración dinámica y estática en función del tipo de calidad de materia prima (1ra., 2da. y 3ra. calidad)**

Color	Descripción	Función matemática	R ²
	Maceración dinámica	$y = -0,023X^2 + 0,144X + 0,895$	1
	Maceración estática	$y = -0,008X^2 + 0,087X + 0,903$	1

Fuente: elaboración propia, con datos experimentales obtenidos en el Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, Centro de Bioquímica/Departamento de Química, Instituto de Investigaciones, Universidad del Valle de Guatemala.

Figura 36. Contenido de *cis*-beta-terpineol presente en oleorresina de cardamomo (*Elettaria cardamomum* L. Maton) obtenida a escala planta piloto por maceración dinámica y estática en función del tipo de calidad de materia prima (1ra., 2da. y 3ra. calidad)



Fuente: elaboración propia, con datos experimentales obtenidos en el Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, Centro de Bioquímica/Departamento de Química, Instituto de Investigaciones, Universidad del Valle de Guatemala.

Tabla XXX. Modelo matemático y coeficiente de correlación del contenido de *cis*-beta-terpineol presente en oleorresina de cardamomo (*Elettaria cardamomum* L. Maton) obtenida a escala planta piloto por maceración dinámica y estática en función del tipo de calidad de materia prima (1ra., 2da. y 3ra. calidad)

Color	Descripción	Función matemática	R ²
	Maceración dinámica	$y = 0,174X^2 - 1,095X + 2,556$	1
	Maceración estática	$y = -0,074X^2 - 0,171X + 1,719$	1

Fuente: elaboración propia, con datos experimentales obtenidos en el Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, Centro de Bioquímica/Departamento de Química, Instituto de Investigaciones, Universidad del Valle de Guatemala.

4.3. Propiedades físicas de oleoresina de cardamomo (*Elettaria cardamomum* L. Maton) obtenida a escala planta piloto

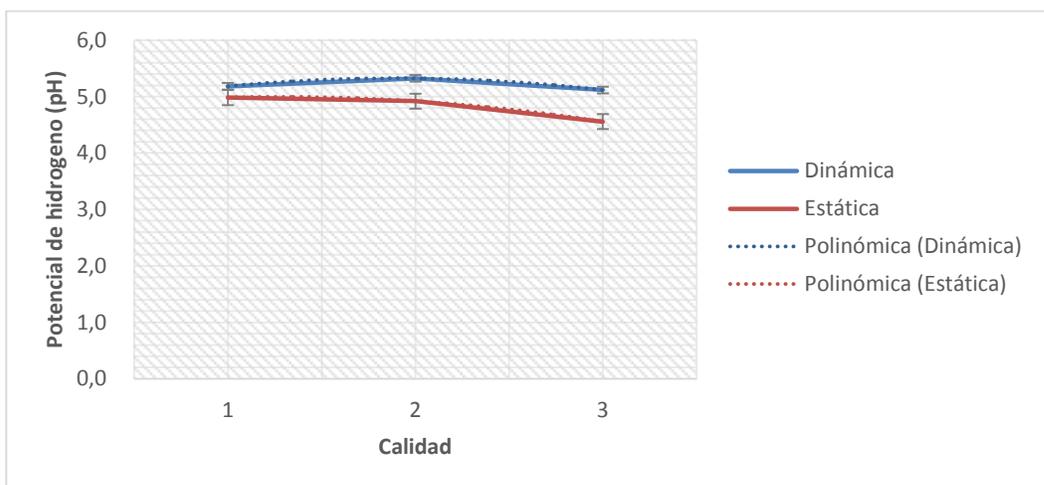
En las gráficas siguientes se observa el promedio y desviación estándar de las propiedades físicas de oleoresina de cardamomo.

Tabla XXXI. **Promedio y desviación estándar de propiedades físicas de oleoresina de cardamomo (*Elettaria cardamomum* L. Maton) obtenida a escala planta piloto por maceración dinámica y estática, utilizando materia prima de 1ra., 2da. y 3ra. calidad**

Observaciones		Propiedad física					
		Potencial de hidrogeno (pH)		Índice de refracción		Densidad (g/mL)	
Maceración	Calidad	\bar{X}	σ	\bar{X}	σ	\bar{X}	σ
Dinámica	1ra.	5,183	0,300	1,580	0,004	0,956	0,015
	2da.	5,323	0,752	1,579	0,003	0,984	0,038
	3ra.	5,117	0,862	1,575	0,002	0,959	0,005
Estática	1ra.	4,983	0,850	1,581	0,004	1,011	0,048
	2da.	4,920	0,185	1,580	0,004	0,971	0,030
	3ra.	4,557	0,862	1,580	0,004	0,960	0,006

Fuente: elaboración propia, con datos experimentales obtenidos en LIEXVE.

Figura 37. Promedio de potencial de hidrógeno de oleorresina de cardamomo (*Elettaria cardamomum* L. Maton) obtenida a escala planta piloto por maceración dinámica y estática en función del tipo de calidad de materia prima (1ra., 2da. y 3ra. calidad)



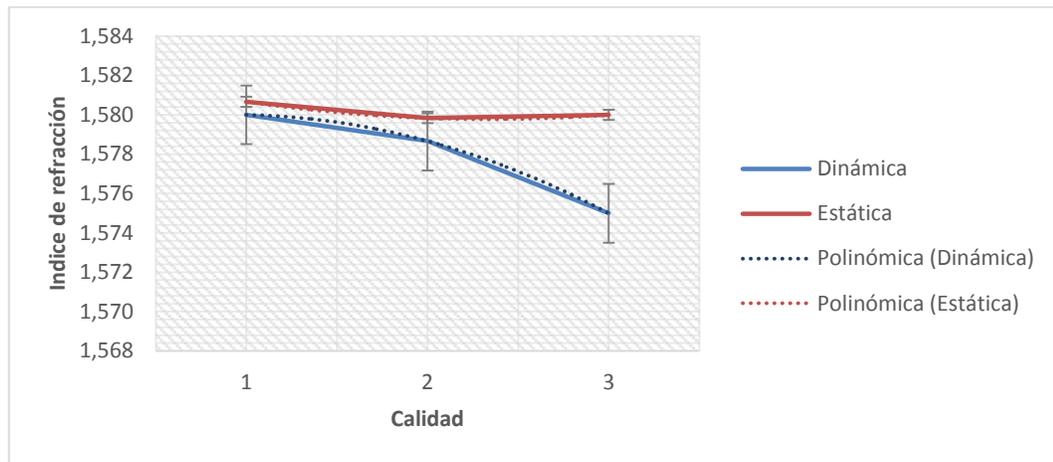
Fuente: elaboración propia, con datos experimentales obtenidos en LIEXVE.

Tabla XXXII. Modelo matemático y coeficiente de correlación del potencial de hidrógeno de oleorresina de cardamomo (*Elettaria cardamomum* L. Maton) obtenida a escala planta piloto por maceración dinámica y estática en función del tipo de calidad de materia prima (1ra., 2da. y 3ra. calidad)

Color	Descripción	Función matemática	R ²
	Maceración dinámica	$y = -0,173X^2 + 0,660X + 4,697$	1
	Maceración estática	$y = -0,150X^2 + 0,387X + 4,747$	1

Fuente: elaboración propia, con datos experimentales obtenidos en LIEXVE.

Figura 38. Promedio de índice de refracción de oleorresina de cardamomo (*Elettaria cardamomum* L. Maton) obtenida a escala planta piloto por maceración dinámica y estática en función del tipo de calidad de materia prima (1ra., 2da. y 3ra. calidad)



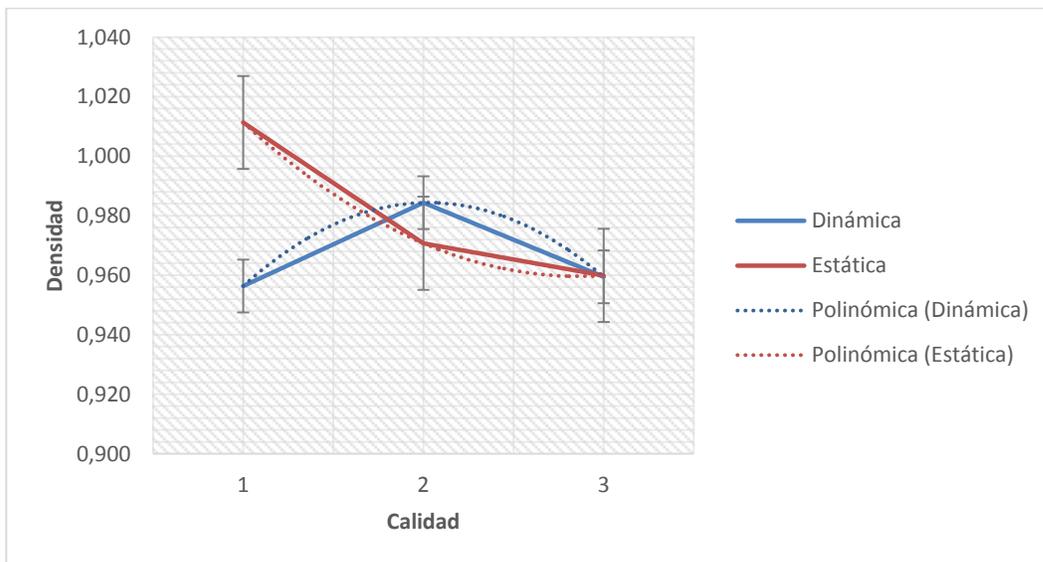
Fuente: elaboración propia, con datos experimentales obtenidos en LIEXVE.

Tabla XXXIII. Modelo matemático y coeficiente de correlación del índice de refracción de oleorresina de cardamomo (*Elettaria cardamomum* L. Maton) obtenida a escala planta piloto por maceración dinámica y estática en función del tipo de calidad de materia prima (1ra., 2da. y 3ra. calidad)

Color	Descripción	Función matemática	R ²
	Maceración dinámica	$y = -0,001X^2 + 0,002X + 1,579$	1
	Maceración estática	$y = 0,005X^2 - 0,002X + 1,583$	1

Fuente: elaboración propia, con datos experimentales obtenidos en LIEXVE.

Figura 39. **Promedio de densidad de oleoresina de cardamomo (*Elettaria cardamomum* L. Maton) obtenida a escala planta piloto por maceración dinámica y estática en función del tipo de calidad de materia prima (1ra., 2da. y 3ra. calidad)**



Fuente: elaboración propia, con datos experimentales obtenidos en LIEXVE.

Tabla XXXIV. **Modelo matemático y coeficiente de correlación de la densidad de oleoresina de cardamomo (*Elettaria cardamomum* L. Maton) obtenida a escala planta piloto por maceración dinámica y estática en función del tipo de calidad de materia prima (1ra., 2da. y 3ra. calidad)**

Color	Descripción	Función matemática	R ²
	Maceración dinámica	$y = -0,026X^2 + 0,107X + 0,876$	1
	Maceración estática	$y = 0,015X^2 - 0,085X + 1,082$	1

Fuente: elaboración propia, con datos experimentales obtenidos en LIEXVE.

4.4. Análisis sensorial

A continuación se presenta en la tabla XXXV el análisis sensorial aceptable para el consumidor.

Tabla XXXV. **Muestra de mermelada de pera con aditivo de oleoresina de cardamomo (*Elettaria cardamomum* L. Maton) aceptable para el consumidor (fracción de oleoresina de cardamomo en muestra A, B, C y D de 0,003 %, 0,006 %, 0,009 % y 0,0120 % respectivamente)**

ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Muestra	4,875	3	1,625	1,261	0,290	2,667
Columnas	7,075	3	2,358	1,830	0,144	2,667
Interacción	9,225	9	1,025	0,795	0,621	1,945
Dentro del grupo	185,600	144	1,289	-	-	-
Total	206,775	159		-		

Respuesta: no existe diferencia significativa entre el olor, color, sabor y textura de la mermelada de pera con aditivo de cardamomo. Así mismo, no existe diferencia significativa entre las muestras de mermelada A, B, C y D. Con base en los promedios por olor y sabor, la muestra de mermelada aceptable para el consumidor es la B al obtener los valores entre muy agradable y enormemente agradable.

Fuente: elaboración propia, con base a la prueba hedónica de 7 puntos.

4.5. Análisis granulométrico

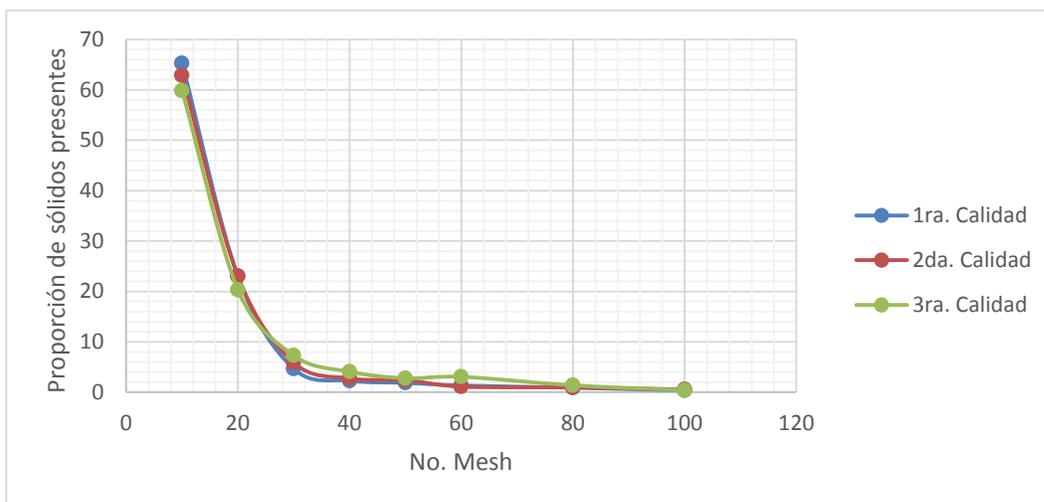
A continuación se presenta en la tabla XXXVI el análisis granulométrico aceptable para el consumidor.

Tabla XXXVI. **Análisis granulométrico de cardamomo (*Elettaria cardamomum* L. Maton) para 1ra., 2da. y 3ra. calidad de materia prima**

No. mesh	1ra. calidad		2da. calidad		3ra. calidad	
	\bar{X}	σ	\bar{X}	σ	\bar{X}	σ
10	65,307	7,637	62,880	2,093	59,853	4,573
Continuación tabla XXXVI						
20	23,050	3,257	23,063	0,203	20,313	0,990
30	4,687	1,820	5,897	1,372	7,287	0,783
40	2,277	0,816	2,743	0,834	4,077	1,570
50	1,860	0,952	2,410	0,561	2,780	2,112
60	1,350	0,561	1,107	0,066	3,060	2,093
80	0,897	0,269	0,955	0,187	1,380	1,593
Fondo	0,367	0,066	0,549	0,267	0,397	0,533
Suma	99,793	-	99,603	-	99,603	-

Fuente: elaboración propia, con datos experimentales obtenidos en LIEXVE.

Figura 40. **Gráfica de análisis granulométrico de cardamomo (*Elettaria cardamomum* L. Maton) molido para 1ra., 2da. y 3ra. calidad de materia prima, semilla con pergamino**



Fuente: elaboración propia, con datos experimentales obtenidos en LIEXVE.

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En este apartado se describen los resultados obtenidos que llevaron a cabo el cumplimiento del diseño experimental estipulado. Se describen los resultados acorde a los objetivos específicos, siguiendo una secuencia, desde la obtención de oleorresina de cardamomo a escala planta piloto hasta la elaboración de la mermelada casera de pera con oleorresina de cardamomo con especia.

El primer objetivo se cumplió al realizar las 18 extracciones de oleorresina de cardamomo (*Elettaria cardamomum* L. Maton) a escala planta piloto, las operaciones unitarias involucradas en este proceso de extracción de oleorresina se mencionan en orden cronológico: clasificación de materia prima, reducción de tamaño de partícula, lixiviación, filtración, evaporación y envasado de producto. El proceso de clasificación de materia prima se realizó según la Norma COGUANOR NGO 34-152 adjunta en el anexo C, especificaciones del cardamomo; el cardamomo se clasifica según su estado, su color y su tamaño o masa (sistema de clasificación detallada en el apéndice).

El proceso de reducción de tamaño de partícula se realizó con un molino industrial de discos, la reducción de tamaño de partícula se ajusta al reducir el espacio entre los discos del molino de forma manual. Es importante resaltar que la reducción de tamaño de partícula es un proceso que influye en los resultados de porcentaje de rendimiento de extracción, comentario que se justifica con el área de interfase sólido-líquido al momento de realizar el proceso de lixiviación; como resultado se tiene que según la tabla XXXVI y la figura 39, comparando la 1ra., 2da. y 3ra calidad de cardamomo, existió mayor presencia de sólidos finos

en la 3ra. calidad que en la 2da. calidad y muchos más que en la primera calidad.

Entre mayor sea la presencia de sólidos finos, el área de interfase sólido-líquido aumenta y, por lo tanto, aumenta el rendimiento de extracción. No obstante, el tamaño de la semilla de cardamomo también influye en el rendimiento de extracción porque la semilla de 1ra. calidad contiene mayor proporción de semillas que de pergamino; lo contrario es con la semilla de 3ra. calidad, que posee mayor proporción de pergamino que de semillas en si. Por lo tanto, aunque exista mayor presencia de sólidos finos en la 3ra. calidad ($R=5,400\%$), no significa que se obtenga mayor porcentaje de rendimiento de extracción comparado con el cardamomo de 1ra. calidad ($R=15,795\%$); hecho que se justifica en la tabla XVI y la figura 23, donde se observa que el mayor rendimiento se obtuvo para el cardamomo de 1ra. calidad.

Al culminar el proceso de reducción de tamaño de partícula, el siguiente paso es el proceso de lixiviación, donde se realizaron pruebas preliminares para estipular el tiempo de extracción óptimo. La prueba preliminar se hizo a escala laboratorio, utilizando la extracción tipo Soxhlet y se determinó que se obtiene el mismo porcentaje de rendimiento de extracción para 3 y 4 horas, por lo que el tiempo óptimo de extracción es de 3 horas. Posterior al proceso de lixiviación, sigue el de evaporación, el cual se trabajó con una presión de vacío dentro del sistema de $-7,8$ Kpa y con una temperatura de ebullición de $24-25$ °C. La presión de vapor que circulaba en el enchaquetado de la marmita de concentración fue de $1,2$ Kpa.

En el rendimiento de extracción de oleorresina de cardamomo se obtuvo el mayor cuando se realizó la maceración dinámica de cardamomo de 1ra. calidad, teniendo un valor de $15,795$ por ciento. En otro extremo, se obtuvo el

menor porcentaje de rendimiento de extracción de oleorresina cuando se realizó la maceración estática con cardamomo de 3ra. calidad, siendo 5,400 por ciento

Los rendimientos de extracción se visualizan detalladamente en la tabla XVI y la figura 23.

El análisis de varianza del rendimiento de extracción resultó tener diferencia significativa según el tipo de calidad de cardamomo y también hubo diferencia significativa según el método de extracción. Por lo que, se aceptan las hipótesis nulas para el rendimiento de extracción.

El análisis de error relativo se utiliza para comparar un dato experimental con base en otro dato como referencia. En esta investigación se usaron como datos medidos los porcentajes de rendimiento de extracción obtenidos a escala planta piloto y como datos reales se utilizaron los porcentajes de rendimiento de extracción obtenidos a escala laboratorio. El análisis de error relativo tuvo un valor máximo cuando se realizó la maceración estática de cardamomo de 1ra. calidad (40,334 %); por el otro extremo, el menor error relativo se obtuvo cuando se realizó la maceración estática de cardamomo de 3ra. calidad (16,787 %). El análisis de error relativo se detalla en el apéndice, sección de muestra de cálculo.

Para el segundo objetivo específico se realizó un análisis de cromatografía gaseosa acoplada con espectrometría de masas, resultando que se encuentra en mayor proporción la presencia de los siguientes metabolitos secundarios: alcohol etílico (solvente de extracción), 1,8-cineol, linalool, acetato de linalilo, α -terpineol, acetato terpinilo, geraniol, nerolidol, ácido palmítico, ácido oléico y ácido linoléico; como se verifica en la tabla XVIII. Según la tabla XIX, el metabolito secundario que tiene mayor porcentaje de área es el acetato de

terpinilo (60,854 %) al ser extraído con maceración dinámica y utilizando materia prima de 3ra. calidad y por el otro extremo, se tiene el farmesal (0,272 %) al ser extraído con maceración dinámica y empleando materia prima de 1ra. calidad.

Según el texto *Vademécum nacional de plantas medicinales* elaborado por el científico Armando Cáceres Estrada, el aceite esencial de cardamomo contiene acetato de terpinilo (50,7 %), 1,8-cineol (23,4 %), acetato de linalilo (6,3 %), linalool (4,5 %), nerolidol (2,4 %), α -terpineol (1,9 %), geraniol (0,4 %). Por otra parte, la oleorresina de cardamomo de 1ra. calidad obtenida a escala planta piloto por maceración dinámica (ver tabla XIX), contiene acetato de terpinilo (57,6 %), 1,8-cineol (12,0 %), acetato de linalilo (8,1 %), linalool (6,0 %), nerolidol (1,8 %), α -terpineol (1,0 %), geraniol (1,6 %). Comparando los datos anteriormente descritos, se observa que la composición química tanto en aceite esencial como en oleorresina de cardamomo poseen proporciones similares.

Según se ilustra en las figura 24 y 25, la oleorresina de cardamomo está compuesta, principalmente por acetato de terpinilo, y en menor presencia, por el 1,8-cineol, linalool, α -terpineol y acetato de linalilo. Los metabolitos secundarios restantes no se distinguen entre si, debido a que la proporción de estos componentes es menor al 5 %. Por otra parte, los metabolitos secundarios que son favorecidos en la extracción con maceración dinámica son: linalool, alcohol etílico, nerolidol, geraniol, α -terpineol y *cis*-beta-terpineol (ver figuras 29, 30, 31, 32, 34 y 35, respectivamente); los metabolitos secundarios que son favorecidos en la extracción con maceración estática son: acetato de terpinilo, 1,8-cineol, acetato de linalilo y ácido palmítico (ver figuras 26, 27, 28 y 33).

El cumplimiento del tercer objetivo se llevó a cabo al analizar físicamente la oleorresina de cardamomo, estos análisis son: rendimiento de extracción, potencial de hidrógeno (pH), índice de refracción y densidad. No importando el proceso de extracción o el tipo de calidad de cardamomo, el pH de la oleorresina se encuentra entre 4,6 – 5,3, el índice de refracción de la oleorresina esta entre 1,575 - 1,581 y la densidad de la oleorresina esta entre 0,956–1,011 g/mL; verificar tabla XXXI y figuras 36, 37 y 38. El análisis de varianza para estas 3 propiedades físicas indica que no existe diferencia significativa en el tipo de calidad de cardamomo y tampoco existe diferencia significativa según el método de extracción; se rechazan las hipótesis nulas de estas propiedades.

El último objetivo por discutir es sobre la proporción de oleorresina de cardamomo presente en la mermelada casera de pera, este objetivo se cumplió al realizar un análisis sensorial, prueba afectiva escalar hedónica de 7 puntos; para determinar el tipo de oleorresina de cardamomo que se emplearía para realizar las muestras de mermelada, se escogió la oleorresina extraída con maceración dinámica y utilizando materia prima de primera calidad. Se escogió ésta muestra debido a que posee el mayor rendimiento de extracción. La prueba hedónica estableció que la muestra aceptable para los consumidores es la B, la cual contenía una proporción de oleorresina de cardamomo de $X=0,006\%$.

Según la tabla XXXV no existe diferencia significativa entre el olor, color, sabor y textura de la mermelada de pera con aditivo de cardamomo. Asimismo, no existe diferencia significativa entre las muestras de mermelada A, B, C y D. Debido a que no existe diferencia significativa, y para poder determinar la muestra aceptable para el consumidor se analizaron los promedios según el olor y el sabor y así poder determinar que la muestra de mermelada aceptable

para el consumidor es la B al obtener los valores promedio, tanto para el olor como el sabor de 1,8 –muy agradable y enormemente agradable según prueba hedónica.

CONCLUSIONES

1. Según el análisis de varianza del rendimiento de extracción de oleorresina se acepta la hipótesis nula: existe diferencia significativa en el porcentaje de rendimiento de extracción de oleorresina obtenida de la semilla de cardamomo respecto a la calidad de materia prima y según el método de extracción con maceración dinámica y maceración estática.
2. El mayor porcentaje de rendimiento de extracción de oleorresina de cardamomo se obtiene cuando se realiza la maceración dinámica de cardamomo de 1ra. calidad, 15,795 %. El menor porcentaje de rendimiento de extracción de oleorresina de cardamomo se obtiene cuando se realiza la maceración estática con cardamomo de 3ra. calidad, 5,400 %.
3. El porcentaje de rendimiento de extracción se ve afectado según la escala en la que se esté trabajando. Se obtiene mayor porcentaje de rendimiento de extracción a escala laboratorio que a escala planta piloto.
4. El proceso de extracción de oleorresina de cardamomo a escala planta piloto se optimiza al trabajar bajo las siguientes condiciones: tiempo de lixiviación de 3 horas, relación Kg materia prima/Kg solvente 1:11, tiempo de evaporación de solvente (etanol 95% grado alimenticio) de 10 horas, presión de vacío dentro del sistema de evaporación de -7,8 Kpa y presión de vapor de operación en la marmita de concentración de 1,2 Kpa.

5. La oleorresina de cardamomo de 1ra. calidad obtenida a escala planta piloto por maceración dinámica está compuesta principalmente de acetato de terpinilo (57,596 %), y en menor presencia de 1,8-cineol (11,980 %), acetato de linalilo (8,059 %), linalool (5,952 %), etanol (4,940 %), nerolidol (1,834 %), geraniol (1,635 %), ácido palmítico (1,416 %) y α -terpineol (1,016 %) y otros 15 componentes más.
6. Según el análisis de varianza para las propiedades físicas de potencial de hidrógeno, índice de refracción y densidad de oleorresina de cardamomo, se aceptan las hipótesis alternativas: no existe diferencia significativa en el porcentaje de rendimiento de extracción de oleorresina obtenida de la semilla de cardamomo respecto a la calidad de materia prima y según el método de extracción con maceración dinámica y maceración estática.
7. Independientemente del tipo de extracción o el tipo de calidad de cardamomo, el pH de la oleorresina se encuentra entre 4,6 – 5,3, el índice de refracción de la oleorresina está entre 1,575 - 1,581 y la densidad de oleorresina esta entre 0,956–1,011 g/mL.
8. El análisis sensorial, prueba afectiva escala hedónica de 7 puntos, establece que la proporción de cardamomo aceptable para el consumidor es de $X=0,006$ %.

RECOMENDACIONES

1. Verificar el comportamiento que tienen las propiedades fisicoquímicas en el proceso de extracción de oleorresina de cardamomo a escala planta piloto y evaluar el tipo de solvente de extracción, temperatura de lixiviación y/o tamaño de partícula.
2. Evaluar otras propiedades físicas de la oleorresina de cardamomo que no sean el rendimiento de extracción, densidad, pH e índice de refracción de la oleorresina de cardamomo. Las propiedades físicas pueden ser la solubilidad en diferentes tipos de solventes, viscosidad, tensión superficial, punto de ebullición, punto de sublimación, entre otros.
3. Analizar los metabolitos secundarios de menor proporción ($\leq 1\%$) en oleorresina de cardamomo para verificar si interfieren en la comercialización de oleorresina de cardamomo.
4. Establecer a escala planta piloto algún método que optimice la completa separación del solvente de extracción de la oleorresina de cardamomo.
5. Evaluar la proporción de oleorresina de cardamomo en diferentes tipos de mermelada u otro producto alimenticio.
6. Investigar sobre los beneficios y riesgos del consumo humano de los metabolitos secundarios presentes en la oleorresina de cardamomo extraída a escala planta piloto.

7. Investigar la degradabilidad de los metabolitos secundarios presentes en la oleorresina de cardamomo extraída a escala planta piloto.

BIBLIOGRAFÍA

1. CÁCERES ESTRADA, Armando. *Vademécum nacional de plantas medicinales*. Guatemala. 2012. 45 p.
2. Corporación DeVecchi Ediciones, S. A. *Cocina tradicional: confituras, mermeladas y jaleas..* España: DeVecchi, S. A. de C. V. P. 2010. p 3.
3. DEULOFEU GABRIEL, Nora Matilde. *Determinación del rendimiento de la oleorresina de tres distintas clases de cardamomo (Elettaria cardamomum L. Maton) cultivado en Alta Verapaz, extraída por maceración dinámica y dos solventes distintos, a nivel laboratorio*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2006. p.112.
4. FONNEGRA, Ramiro; JIMÉNEZ, Silvia. *Plantas medicinales aprobadas en Colombia*. 2a ed. Colombia: Universidad de Antioquia. 2010. p. 110.
5. SANCHO, J.; BOTA, Enric; CASTRO, J. Josep de. *Introducción al análisis sensorial de los alimentos*. España: Publicaciones de la Universidad de Barcelona. 2005. p. 80.
6. SHARAPIN, Nikolai. *Fundamentos de tecnología de productos fitoterapéuticos*. Colombia: Quebecor-impreandes. 2005. p. 120.

7. _____. *Fundamentos de tecnología de productos fitoterapéuticos*. Colombia: Quebecor-impreandes. p. 250.
8. SKOOG, Douglas A; HOLLER, F. James; CROUCH, Stanley R. *Principios de análisis instrumental*. 6ta. ed. México: Cengage Learning. 2008. p. 205.
9. SOBERANIS IBÁÑEZ, Adrián Antonio. *Evaluación de propiedades fisicoquímicas de la oleoresina de cardamomo (Elettaria cardamomum L. Maton) 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, 2009. p. 203.
10. TREYBAL, Robert F. *Operaciones de transferencia de masas*. 2a ed. México: McGraw-Hill. p. 640.
11. WALPOLE, Ronad E; et. al. *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias*. 8a ed. México: Pearson Educación, 2007. p. 720 .
12. YOLANDA, Barcina; IBÁÑEZ, Francisco. *Análisis sensorial de alimentos: métodos y aplicaciones*. España: Springer, 2001. p. 150.

APÉNDICES

Apéndice A:	Muestra de cálculo.....	121
Apéndice B:	Tablas de datos y datos calculados.....	133
Apéndice C:	Diagrama de requisitos académicos.....	151
Apéndice D:	Diagrama de Ishikawa.....	152
Apéndice E:	Fotografías tomadas durante la investigación.....	153
Apéndice F:	Prueba hedónica de 7 puntos, encuestas.....	156

Apéndice A. **Muestra de cálculo**

A continuación se detallan las ecuaciones y los procedimientos que permitieron llegar a obtener los resultados, desde que se pesó la materia prima con la balanza analítica hasta que se realizó la mermelada casera de pera utilizando el análisis sensorial con la prueba hedónica de 7 puntos. Las ecuaciones que se utilizaron fueron para realizar los siguientes cálculos: porcentaje de rendimiento de extracción, densidad de oleorresina, promedio, desviación estándar, análisis de varianza, prueba de Duncan y análisis sensorial.

Cálculo del porcentaje de rendimiento de extracción

El porcentaje de rendimiento de extracción relaciona la mayor cantidad de masa que fue extraída (peso de oleorresina) de cierta cantidad de masa inicial de materia prima, multiplicado por cien. El porcentaje de rendimiento de extracción se representa mediante la siguiente ecuación

$$R = \frac{W_f}{W_o} \times 100 \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde:

W_o = peso Inicial de semilla de cardamomo (g)

W_f = peso de oleorresina de cardamomo (g)

R = rendimiento extractivo de oleorresina de cardamomo (%)

Ejemplo 1

Cálculo del porcentaje de rendimiento de extracción de oleorresina de cardamomo donde se realizó el tratamiento A con maceración dinámica y utilizando cardamomo de 3ra. calidad. En este caso se utilizó una cantidad de masa inicial de semilla de cardamomo de 4 540,000 g y el peso de la oleorresina de 266,270 g.

$$R = \frac{266,270}{4\ 540,000} \times 100 = 5,865 \%$$

Nota: todos los cálculos de porcentaje de rendimiento de extracción de oleorresina se realizaron de la misma forma que el ejemplo No. 1.

Cálculo de la densidad

La densidad de oleorresina se realizó empleando un picnómetro con capacidad de 25 mL (exactamente el picnómetro tiene una capacidad de 24,381 mL) y una balanza digital. La densidad se calculó con la siguiente ecuación:

$$\rho = \frac{M}{V} \quad (\text{Ecuación 5})$$

Donde:

ρ = densidad (g/mL).

M = masa (g).

V = volumen (mL).

Ejemplo 2

Cálculo de la densidad de oleorresina de cardamomo donde se realizó el tratamiento A con maceración dinámica y utilizando cardamomo de 3ra. calidad. La masa contenida dentro del picnómetro de 24,381 mL es de 23,469 g.

$$\rho = \frac{23,469 \text{ g}}{24,381 \text{ mL}} = 0,963 \text{ g/mL}$$

Nota: todos los cálculos de densidad de oleorresina se realizaron de la misma forma que el ejemplo No. 2.

Cálculo del promedio o media aritmética

En los datos donde existe repetitividad de 2 o más veces se calculó un valor medio o promedio que representa numéricamente un valor intermedio.

Ecuación:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n} \quad (\text{Ecuación 6})$$

Donde:

\bar{X} = promedio.

$x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ = datos repetidos.

N = cantidad de repeticiones.

Ejemplo 3

Cálculo del valor medio o promedio de densidad de oleorresina de cardamomo donde se realizó el tratamiento A, maceración dinámica y cardamomo de 3ra. calidad. Las tres densidades son: 0,952, 0,985 y 0,952 g/mL.

$$\bar{X} = \frac{0,952 + 0,985 + 0,952}{3} \text{ g/mL} = 0.963 \text{ g/mL}$$

Nota: todos los cálculos de valor medio o promedio se realizaron de la misma forma que el ejemplo No. 3.

Cálculo de la desviación estándar

La desviación estándar es una medida de dispersión para variables de razón o de intervalo, se utiliza para determinar el valor en el que se alejan los valores puntuales de la media o promedio. La desviación estándar se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}} \quad (\text{Ecuación 7})$$

Donde:

σ = desviación estándar.

Ejemplo 4

Cálculo de la desviación estándar del ejemplo No. 3, los valores de densidad de 0,952 g/mL, 0,985 g/mL y 0,952 g/mL. Utilizando la ecuación 8.

$$\sigma = \sqrt{\frac{(0,952 - 0,963)^2 + (0,985 - 0,963)^2 + (0,952 - 0,963)^2}{3}} \text{ g/mL} = 0,019 \text{ g/mL}$$

Nota: todos los cálculos de desviación estándar se realizaron de la misma forma que el ejemplo 4.

Cálculo de proporción de oleoresina de cardamomo en mermelada

La proporción aceptable de oleoresina presente en la mermelada de pera se realizó mediante un análisis sensorial llevado a cabo con 10 personas encuestadas. Este análisis se dividió en dos etapas, cada etapa consta de la degustación de 4 muestras de mermelada con diferentes proporciones de cardamomo; en la primer etapa, la proporción de cardamomo presente en la mermelada fue de $X_1=0,000\%$, $X_2=0,040\%$, $X_3=0,080\%$ y $X_4=0,120\%$. El último límite se cálculo de la siguiente manera:

La receta culinaria indica que la cantidad de cardamomo molido que se debe agregar a la mermelada es de 1 cucharada, se tomó como referencia que 1 cucharada es igual a 12 g de extracto fluido. Tomando en cuenta que el rendimiento de extracción de oleoresina de cardamomo es 15 %, la cantidad de masa límite (X_4) de oleoresina presente en la mermelada es:

$$\text{Masa Oleo.} = \frac{1,5 \text{ Kg mermelada} / 12 \text{ g de cardamomo molido} \times 0,1135 \text{ Kg de mermelada} \times 12 \text{ g} \times 0,15795}{1,5 \text{ Kg de mermelada}} = 0,1434 \text{ g}$$

Por lo tanto, la proporción límite es:

$$X_4 = \frac{0,1434g}{(113,5 + 0,1434)g} * 100 = 0,126\%$$

Bajo este límite calculado, aproximado a 0,120 %, se realizó la primera etapa del análisis sensorial, el resultado de la encuesta es:

Resultado análisis sensorial, primer etapa

No. encuestado	Proporción aceptable de oleorresina de cardamomo			
	X ₁ =0,000%	X ₂ =0,040%	X ₃ =0,080%	X ₄ =0,120%
1	-	X	-	-
2	-	X	-	-
3	-	-	X	-
4	-	X	-	-
5	X	-	-	-
6	X	-	-	-
7	X	-	-	-
8	-	-	X	-
9	X	-	-	-
10	-	X	-	-
Promedio	X=0,033%			

Fuente: encuesta análisis sensorial.

Después de culminada la primer etapa del análisis sensorial, se procedió a encontrar la nueva proporción límite de oleorresina de cardamomo presente en la mermelada. Este nuevo límite se define según el promedio obtenido en la primer parte, por lo tanto, las nuevas proporciones de oleorresina son de X₁=0,000%, X₂=0,011%, X₃=0,022% y X₄=0,033%. El resultado de la 2da etapa del análisis sensorial es:

Resultado análisis sensorial, segunda etapa

No. encuestado	Proporción aceptable de oleorresina de cardamomo			
	X ₁ =0,000%	X ₂ =0,011%	X ₃ =0,022%	X ₄ =0,033%
1	-	X	-	-
2	-	X	-	-
3	-	-	X	-
4	-	-	X	-
5	-	X	-	-
6	-	X	-	-
7	-	X	-	-
8	X	-	-	-
9	X	-	-	-
10	-	X	-	-
Promedio	X=0,011%			

Fuente: encuesta análisis sensorial.

Como resultado se definió que la nueva proporción promedio límite es de 0,011%. Este límite se aproximó a 0,012% para realizar la prueba hedónica de 7 puntos, con proporciones de 0,003%, 0,006%, 0,009% y 0,012%.

Ponderación numérica de prueba hedónica de 7 puntos

Categoría	Puntaje
Enormemente agradable	1
Muy agradable	2
Poco agradable	3
Indiferente	4
Poco desagradable	5
Muy desagradable	6
Enormemente desagradable	7

Prueba hedónica de 7 puntos

Atributo	Olor				Color				Sabor				Textura			
Evaluador	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
1	2	2	2	2	4	4	4	4	2	2	3	3	2	2	2	3
2	2	2	3	3	2	2	2	3	1	1	3	3	1	1	1	1
3	1	2	3	4	2	2	2	2	2	2	3	3	2	3	3	3
4	4	2	4	2	2	2	3	2	2	3	5	2	3	5	2	3
5	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	1	1	2	3	2	2
6	1	1	1	3	4	4	4	4	1	2	1	3	2	5	3	3
7	2	2	3	6	2	2	3	2	2	1	6	7	4	4	5	5
8	1	1	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1
9	2	2	2	2	3	3	3	3	2	1	2	2	2	2	2	2
10	3	2	2	2	3	3	2	4	3	2	1	5	3	3	3	3

Fuente: encuesta análisis sensorial, prueba hedónica de 7 puntos.

Análisis de varianza

El análisis de varianza (ANOVA) se realizó utilizando el programa Microsoft Office Excel. Se realizaron análisis de varianza para los siguientes resultados obtenidos: porcentaje de rendimiento de extracción, densidad de oleorresina, índice de refracción de la oleorresina, potencial de hidrogeno de la oleorresina y para determinar la proporción de oleorresina aceptable en la mermelada.

Prueba múltiple de Duncan

Se realiza para comparar medias mediante una diferencia entre ellas, con el propósito de encontrar un valor de significancia entre estas diferencias de medias; asimismo para una probabilidad menor al 0,05 en el análisis de varianza. La prueba de Duncan se hace según la siguiente ecuación:

$$R_p = r_p \sqrt{\frac{S_e^2}{n}} \quad (\text{Ecuación 8})$$

Donde:

R_p = rango mínimo significativo

r_p = rango mínimo significativo studentizado

Ejemplo 5.

Evaluación de la prueba múltiple de Duncan para el porcentaje de rendimiento de extracción, utilizando maceración dinámica para la prueba. El nivel de significancia es del 5 %. Los porcentajes de rendimiento son:

Rendimiento de extracción, maceración dinámica

Repetición	Rendimiento de extracción (%)		
	1ra.	2da.	3ra.
A	15,567	8,745	5,865
B	15,347	7,476	6,921
C	16,472	8,534	6,105

Cada porcentaje de rendimiento se elevó al cuadrado y se sumó, dependiendo del tipo de calidad. Se calculó el promedio y la suma de cuadrados SS_i según la siguiente ecuación:

$$SS_i = \sum_{i=1}^n X_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n X_i)^2}{n} \quad (\text{Ecuación 9})$$

Promedio y suma de cuadrados

Repetición	X ₁	X ₁ ²	X ₂	X ₂ ²	X ₃	X ₃ ²
A	15,567	242,331	8,745	76,475	5,865	34,398
B	15,347	235,530	7,476	55,891	6,921	47,900
C	16,472	271,327	8,534	72,829	6,105	37,271
SUMA	47,386	749,189	24,755	205,195	18,891	119,569
PROMEDIO	15,795	-	8,252	-	6,297	-
SS _i	0,711	-	0,925	-	0,613	-

Se procedió a calcular el valor S_e con la siguiente ecuación, tomando en cuenta que la variable K es el número de observaciones o repeticiones:

$$S_e = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n SS_i}{K(n-1)}} \quad \text{Ecuación 10}$$

$$S_e = \sqrt{\frac{0,711 + 0,925 + 0,613}{3(3-1)}} = 0,612$$

Para la prueba de medias de Duncan, se calcularon los grados de libertad utilizando la siguiente ecuación:

$$g.l. = N - K \quad \text{Ecuación 11}$$

Donde:

g.l. = grados de libertad

N = total de valores.

$$g.l. = 9 - 3 = 6$$

Se encontraron los valores de r_p (nivel de significancia del 5%) con 6 grados de libertad, para 2 y para 3 grupos; resultando 3,461 para 2 grupos y 3,587 para 3 grupos. Se calculan los valores R_p según ecuación No. 8 para 2 y para 3 grupos. Resultando:

Para diferencias entre 2 grupos:
$$R_p = 3,461 \sqrt{\frac{(0,612)^2}{3}} = 1,223$$

Para diferencias entre 3 grupos:
$$R_p = 3,587 \sqrt{\frac{(0,612)^2}{3}} = 1,268$$

Por último se ordenaron ascendentemente las medias, se calcularon las diferencias entre estas medias y se procedió a comparar dicho valor con el valor calculado, R_p . Si la diferencia de medias es mayor que R_p , existe diferencia significativa y entonces, se rechaza la hipótesis alternativa.

Diferencia entre 2 y 3 grupos

Calidad	Media o promedio	Diferencia entre 2 grupos	Diferencia entre 3 grupos
3ra.	6,297	-	-
2da.	8,252	1,955	-
1ra.	15,795	7,544	9,498

Resultado: existe diferencia significativa entre cada calidad y se rechaza la hipótesis alternativa. Extracción con maceración dinámica

Nota: los análisis de prueba múltiple de Duncan se realizaron igual que el ejemplo No. 5, para probabilidades menores a 5 %, según ANOVA.

Cálculo del porcentaje de error relativo

El error relativo corresponde al cociente del error absoluto y el dato real o teórico, el error absoluto la diferencia entre el dato medido y el dato real o teórico. El dato real que se utilizó en esta investigación fue el valor obtenido a escala laboratorio. El porcentaje de error relativo se calcula con la siguiente ecuación:

$$E_r = \frac{|D_M - D_R|}{D_R} \times 100 \quad (\text{Ecuación 12})$$

Donde:

E_r = porcentaje de error relativo

D_M = dato medido

D_R = dato real

Ejemplo 6

Cálculo del porcentaje de error relativo de rendimiento de extracción de oleorresina de cardamomo donde se realizó el tratamiento A, maceración dinámica y cardamomo de 3ra. calidad. El porcentaje de rendimiento a escala planta piloto (D_M) fue de 5,865 % y a escala laboratorio (D_R) fue de 8,978 %.

$$E_r = \frac{|5,865 - 8,978|}{8,978} \times 100 = 34.674 \%$$

Nota: se calcularon los porcentajes de error relativo siguiendo el mismo procedimiento que el ejemplo No. 6. Los datos reales se estimaron al obtener el rendimiento de extracción de oleorresina a escala laboratorio.

Fuente: elaboración propia.

Apéndice B. **Tablas de datos y datos calculados**

A continuación se presentan tablas con todos los resultados obtenidos a partir de la muestra de cálculo o a partir de cálculos obtenidos directamente de un instrumento de medición.

Promedio y desviación estándar del rendimiento de extracción de oleoresina de cardamomo (*Elettaria cardamomum* L. Maton) obtenida a escala planta piloto por maceración dinámica y maceración estática, empleando materia prima de 1ra., 2da. Y 3ra. Calidad

Observaciones		Rendimiento de extracción (%)			\bar{X}	σ
Maceración	Calidad	A	B	C		
Dinámica	1ra.	15,567	15,347	16,472	15,795	0,596
	2da.	8,745	7,476	8,534	8,252	0,680
	3ra.	5,865	6,921	6,105	6,297	0,554
Estática	1ra.	8,168	5,824	8,465	7,486	1,447
	2da.	7,022	5,448	6,304	6,258	0,788
	3ra.	5,789	6,054	4,356	5,400	0,914

Error relativo de rendimiento de extracción de oleoresina de cardamomo (*Elettaria cardamomum* L. Maton) obtenida a escala planta piloto y escala laboratorio por maceración dinámica y maceración estática, empleando materia prima de 1ra., 2da. Y 3ra. Calidad

Observaciones		Rendimiento (E. laboratorio)	Error relativo (%)			\bar{X}
Maceración	Calidad		A	B	C	
Dinámica	1ra.	21,543	27,740	28,761	23,539	26,680
	2da.	13,564	35,528	44,884	37,083	39,165
Continuación tabla XLV						
Dinámica	3ra.	8,978	34,674	22,912	32,000	29,862
Estática	1ra.	12,546	34,896	53,579	32,528	40,334
	2da.	7,984	12,049	31,764	21,042	21,618
	3ra.	6,489	10,787	6,704	32,871	16,787

Potencial de hidrógeno de oleoresina de cardamomo (*Elettaria cardamomum* L. Maton) obtenida a escala planta piloto por maceración dinámica y estática, utilizando materia prima de 1ra., 2da. y 3ra. calidad

Observaciones		Potencial de hidrógeno (pH)			\bar{X}	σ
Maceración	Calidad	A	B	C		
Dinámica	1ra.	5,530	5,000	5,020	5,183	0,300
	2da.	5,670	4,460	5,840	5,323	0,752
	3ra.	4,490	4,760	6,100	5,117	0,862
Estática	1ra.	4,350	4,650	5,950	4,983	0,850
	2da.	4,850	4,780	5,130	4,920	0,185
	3ra.	3,660	5,380	4,630	4,557	0,862

Índice de refracción de oleorresina de cardamomo (*Elettaria cardamomum* L. Maton) obtenida a escala planta piloto por maceración dinámica y estática, utilizando materia prima de 1ra., 2da. y 3ra. calidad

Observaciones		Índice de refracción (I_R)			\bar{X}	σ
Maceración	Calidad	A	B	C		
Dinámica	1ra.	1,583	1,576	1,582	1,580	0,004
Dinámica	2da.	1,576	1,583	1,578	1,579	0,003
	3ra.	1,573	1,576	1,577	1,575	0,002
Estática	1ra.	1,583	1,576	1,583	1,581	0,004
	2da.	1,582	1,583	1,576	1,580	0,004
	3ra.	1,576	1,583	1,582	1,580	0,004

Densidad de oleorresina de cardamomo (*Elettaria cardamomum* L. Maton) obtenida a escala planta piloto por maceración dinámica y estática, utilizando materia prima de 1ra., 2da. y 3ra. calidad

Observaciones		Densidad (g/mL)			\bar{X} (g/mL)	σ (g/mL)
Maceración	Calidad	A	B	C		
Dinámica	1ra.	0,972	0,941	0,957	0,956	0,015
	2da.	1,027	0,955	0,971	0,984	0,038
	3ra.	0,963	0,953	0,963	0,959	0,005
Estática	1ra.	1,046	0,957	1,032	1,011	0,048
	2da.	1,005	0,957	0,950	0,971	0,030
	3ra.	0,954	0,964	0,962	0,960	0,006

Composición química de oleorresina de cardamomo (*Elettaria cardamomum* L. Maton) obtenida a escala planta piloto por maceración dinámica y estática, utilizando materia prima de 1ra., 2da. y 3ra. calidad

No.	METABOLITO SECUNDARIO			CALIDAD		
	No. CAS	Nombre común	Nombre IUPAC	1ra.	2da.	3ra.
Continuación tabla XLIX						
1	000080-26-2	Acetato de terpinilo	Acetato de 4-trimetil- alpha,alpha-3- ciclohexano-1-metanol	X	X	X
2	000470-82-6	1,8-cineol	Eucaliptol	X	X	X
3	000078-36-4	Acetato de linalilo	Butirato de 1,5-dimetil-1- vinil-4-hexenil	X	X	X
4	00078-70-6	Linalool	3,7-dimetil-1,6-octadien-3- ol	X	X	X
5	000064-17-5	Etanol	Alcohol etílico	X	X	X
6	000142-50-7	Nerolidol	[S-(Z)]-3,7,11-trimetil- 1,6,10-dodecatrien-3-ol	X	X	X
7	000624-15-7	Geraniol	3,7-dimetil-2,6-octadien-1- ol	X	X	X
8	000057-10-3	Ácido palmítico	Ácido n-hexadecanoico	X	X	X
9	020126-76-5	α -terpineol	(R)-4-metil-1-(1-metiletil)- 3-ciclohexen-1-ol	X	X	X
10	007299-41-4	-	Cis-beta-terpineol	X	X	X
11	013466-78-9	-	3-careno	X	X	-
12	000105-87-3	Ácido acético, geraniol éster	(E)-acetato de 3,7-dimetil- 2,6-octadien-1-ol	X	X	-
13	000141-27-5	(E)-citral	(E) 3,7-dimetil octa-2,6- dienal	X	X	X
14	007299-41-4	Cis- beta- terpineol	1-methyl-4-(1- methylethenyl)- cyclohexanol	X	X	X
15	000106-26-3	Z-citral	(Z)-3,7dimetil-2,6- octadienol	X	X	X
16	003790-71-4	(Z,E)-farnesol	(Z,E)-3,7,11-trimetil- 2,6,10-dodecatrien-1-ol	X	-	-
17	1000245-88-7	-	Éter pentametildisilil-exo- norbornanol	X	X	X
18	000123-51-3	Alcohol isoamilico	3-metil-1-butanol	X	-	-
19	000502-67-0	Farnesal	3,7,11-trimetil-2,6,10- dodecatrienol	X	X	X
20	000060-33-3	Ácido linoléico	Ácido (Z,Z)-9,12- octadienoico	-	X	X
21	007785-26-4	L(-)-alfa-pineno	1s-alfa-pineno	X	X	X
22	061141-64-8	-	2,3-dihidro-1-metil-1- propil-1-sila-1H-ideno	-	X	-
23	000112-79-8	Ácido elaidico	Ácido <i>trans</i> -octadecenoico	-	X	X
24	000106-28-5	(E,E) farnesol	(E,E)-3,7,11,trimetil- 2,6,10-dodecatrien-1-ol	X	X	-
25	000593-39-5	Acido petroselénico	Acido (Z)-6-octadecenoico	-	X	X

**Metabolitos secundarios presentes en oleorresina de cardamomo
(*Elettaria cardamomum* L. Maton) obtenida a escala planta piloto por
maceración dinámica, 1ra. Calidad**

No.	METABOLITO SECUNDARIO			TR (min)	A (%)
	No. CAS	Nombre común	Nombre IUPAC		
1	000080-26-2	Acetato de terpinilo	Acetato de 4-trimetil- alpha,alpha-3- ciclohexano-1- metanol	33,251	57,596
2	000470-82-6	1,8-cineol	Eucaliptol	13,815	11,980
3	000078-36-4	Acetato de linalilo	Butirato de 1,5- dimetil-1-vinil-4- hexenil	27,470	8,059
4	00078-70-6	Linalool	3,7-dimetil-1,6- octadien-3-ol	26,997	5,952
5	000064-17-5	Etanol	Alcohol etílico	6,214	4,940
6	000142-50-7	Nerolidol	[S-(Z)]-3,7,11-trimetil- 1,6,10-dodecatrien-3- ol	44,769	1,834
7	000624-15-7	Geraniol	3,7-dimetil-2,6- octadien-1-ol	38,291	1,635
8	000057-10-3	Ácido palmítico	Acido n- hexadecanoico	72,088	1,416
9	020126-76-5	α -terpineol	(R)-4-metil-1-(1- metiletil)-3- ciclohexen-1-ol	29,349	1,016
10	007299-41-4	-	Cis-beta-terpineol	23,786	0,939
11	013466-78-9	-	3-careno	23,909	0,911
12	000105-87-3	Ácido acético, geraniol éster	(E)-acetato de 3,7- dimetil-2,6-octadien- 1-ol	35,012	0,707
13	000141-27-5	(E)-citral	(E) 3,7-dimetil octa- 2,6-dienal	34,216	0,679
14	007299-41-4	Cis- beta- terpineol	1-methyl-4-(1- methylethenyl)- cyclohexanol	27,211	0,523
15	000106-26-3	Z-citral	(Z)-3,7dimetil-2,6- octadienol	32,301	0,413
16	003790-71-4	(Z,E)-farnesol	(Z,E)-3,7,11-trimetil- 2,6,10-dodecatrien-1- ol	54,416	0,389
17	1000245-88-7	-	Éter pentametildisilil- exo-norbornanol	65,665	0,383
18	000123-51-3	Alcohol isoamilico	3-metil-1-butanol	13,310	0,351
19	000502-67-0	Farnesal	3,7,11-trimetil-2,6,10- dodecatrienol	51,865	0,272

**Metabolitos secundarios presentes en oleorresina de cardamomo
(*Elettaria cardamomum* L. Maton) obtenida a escala planta piloto por
maceración dinámica, 2da. Calidad**

No.	METABOLITO SECUNDARIO			TR (min)	A (%)
	No. CAS	Nombre común	Nombre IUPAC		
1	000080-26-2	Acetato de terpinilo	Acetato de 4-trimetil- alpha,alpha-3- ciclohexano-1-metanol	33,252	52,894
2	000470-82-6	1,8-cineol	Eucaliptol	13,879	14,389
3	000078-36-4	Acetato de linalilo	Butirato de 1,5-dimetil- 1-vinil-4-hexenil	27,511	7,770
4	000064-17-5	Etanol	Alcohol etílico	6,228	5,307
5	00078-70-6	Linalool	3,7-dimetil-1,6- octadien-3-ol	27,020	5,151
6	000057-10-3	Ácido palmítico	Acido n-hexadecanoico	72,147	2,159
7	000142-50-7	Nerolidol	[S-(Z)]-3,7,11-trimetil- 1,6,10-dodecatrien-3-ol	44,791	1,960
8	020126-76-5	α -terpineol	(R)-4-metil-1-(1- metiletil)-3-ciclohexen- 1-ol	29,372	1,091
9	000624-15-7	Geraniol	3,7-dimetil-2,6- octadien-1-ol	38,296	1,062
10	007299-41-4	-	Cis-beta-terpineol	23,786	0,768
11	007785-26-4	L-(-)-alfa-pineno	1s-alfa-pineno	23,927	0,750
12	000141-27-5	(E)-citral	(E) 3,7-dimetil octa-2,6- dienal	34,257	0,676
13	000060-33-3	Ácido linoléico	Ácido (Z,Z)-9,12- octadienoico	64,310	0,563
14	061141-64-8	-	2,3-dihidro-1-metil-1- propil-1-sila-1H-ideno	65,683	0,497
15	000105-87-3	Ácido acético, geraniol éster	(E)-acetato de 3,7- dimetil-2,6-octadien-1- ol	35,025	0,469
16	007299-41-4	Cis- beta- terpineol	1-methyl-4-(1- methylethenyl)- cyclohexanol	27,229	0,467
17	000106-26-3	Z-citral	(Z)-3,7dimetil-2,6- octadienol	32,319	0,435
18	000112-79-8	Ácido elaídico	Ácido <i>trans</i> - octadecenoico	59,338	0,349
19	000502-67-0	Farnesal	3,7,11-trimetil-2,6,10- dodecatrienol	51,874	0,300
20	000106-28-5	(E,E) farnesol	(E,E)-3,7,11,trimetil- 2,6,10-dodecatrien-1-ol	54,425	0,281

**Metabolitos secundarios presentes en oleorresina de cardamomo
(*Elettaria cardamomum* L. Maton) obtenida a escala planta piloto por
maceración dinámica, 3ra. Calidad**

No.	METABOLITO SECUNDARIO			TR (min)	A (%)
	No. CAS	Nombre común	Nombre IUPAC		
1	000080-26-2	Acetato de terpinilo	Acetato de 4-trimetil- alpha,alpha-3- ciclohexano-1- metanol	33,251	60,854
2	000470-82-6	1,8-cineol	Eucaliptol	13,770	9,013
3	000078-36-4	Acetato de linalilo	Butirato de 1,5- dimetil-1-vinil-4- hexenil	27,443	8,069
4	00078-70-6	Linalool	3,7-dimetil-1,6- octadien-3-ol	26,979	5,266
5	000064-17-5	Etanol	Alcohol etílico	6,187	3,365
6	000057-10-3	Acido palmítico	Acido n- hexadecanoico	72,092	2,320
7	000142-50-7	Nerolidol	[S-(Z)]-3,7,11-trimetil- 1,6,10-dodecatrien-3- ol	44,769	2,021
8	000060-33-3	Ácido linoléico	Ácido (Z,Z)-9,12- octadienoico	64,310	1,222
9	000112-79-8	Ácido elaídico	Ácido <i>trans</i> - octadecenoico	59,333	1,148
10	020126-76-5	α -terpineol	(R)-4-metil-1-(1- metiletil)-3- ciclohexen-1-ol	29,349	1,120
11	000141-27-5	(E)-citral	(E) 3,7-dimetil octa- 2,6-dienal	34,211	0,930
12	000624-15-7	Geraniol	3,7-dimetil-2,6- octadien-1-ol	38,278	0,837
13	007299-41-4	-	Cis-beta-terpineol	23,786	0,800
14	000106-26-3	Z-citral	(Z)-3,7dimetil-2,6- octadienol	32,305	0,588
15	007785-26-4	L-(-)-alfa-pineno	1s-alfa-pineno	23,904	0,557
16	1000245-88-7	-	Eter pentametildisilil- exo-norbornanol	65,670	0,526
17	000593-39-5	Ácido petroselénico	Ácido (Z)-6- octadecenoico	59,201	0,496
18	007299-41-4	Cis- beta- terpineol	1-methyl-4-(1- methylethenyl)- cyclohexanol	27,211	0,477
19	000502-67-0	Farnesal	3,7,11-trimetil-2,6,10- dodecatrienol	51,869	0,391

**Metabolitos secundarios presentes en oleorresina de cardamomo
(*Elettaria cardamomum* L. Maton) obtenida a escala planta piloto por
maceración estática, 1ra. Calidad**

No.	METABOLITO SECUNDARIO			TR (min)	A (%)
	No. CAS	Nombre común	Nombre IUPAC		
Continuación tabla LIII					
1	000080-26-2	Acetato de terpinilo	Acetato de 4-trimetil- alpha,alpha-3- ciclohexano-1- metanol	33,252	58,577
2	000470-82-6	1,8-cineol	Eucaliptol	13,824	12,566
3	000078-36-4	Acetato de linalilo	Butirato de 1,5- dimetil-1-vinil-4- hexenil	27,470	8,206
4	00078-70-6	Linalool	3,7-dimetil-1,6- octadien-3-ol	26,997	5,591
5	000064-17-5	Etanol	Alcohol etílico	6,205	4,607
6	000142-50-7	Nerolidol	[S-(Z)]-3,7,11-trimetil- 1,6,10-dodecatrien-3- ol	44,778	1,873
7	000624-15-7	Geraniol	3,7-dimetil-2,6- octadien-1-ol	38,291	1,475
8	000057-10-3	Ácido palmítico	Ácido n- hexadecanoico	72,088	1,458
9	020126-76-5	α-terpineol	(R)-4-metil-1-(1- metiletil)-3- ciclohexen-1-ol	29,358	0,982
10	007785-26-4	L(-)-alfa-pineno	1s-alfa-pineno	23,922	0,978
11	007299-41-4	-	Cis-beta-terpineol	23,799	0,820
12	000105-87-3	Ácido acético, geraniol éster	(E)-acetato de 3,7- dimetil-2,6-octadien- 1-ol	35,016	0,671
13	000141-27-5	(E)-citral	(E) 3,7-dimetil octa- 2,6-dienal	34,220	0,614
14	007299-41-4	Cis- beta- terpineol	1-methyl-4-(1- methylethenyl)- cyclohexanol	27,220	0,480
15	183483-46-7	-	2-acetoxy-4-fenilhex- 2-en-5-on	65,674	0,382
16	000106-26-3	Z-citral	(Z)-3,7dimetil-2,6- octadienol	32,310	0,372
17	000106-28-5	(E,E) farnesol	(E,E)-3,7,11,trimetil- 2,6,10-dodecatrien-1- ol	54,421	0,347

**Metabolitos secundarios presentes en oleorresina de cardamomo
(*Elettaria cardamomum* L. Maton) obtenida a escala planta piloto por
maceración estática, 2da. Calidad**

No.	METABOLITO SECUNDARIO			TR (min)	A (%)
	No. CAS	Nombre común	Nombre IUPAC		
1	000080-26-2	Acetato de terpinilo	Acetato de 4-trimetil- alpha,alpha-3- ciclohexano-1- metanol	33,251	59,765
2	000470-82-6	1,8-cineol	Eucaliptol	13,788	10,450
3	000078-36-4	Acetato de linalilo	Butirato de 1,5- dimetil-1-vinil-4- hexenil	27,447	8,069
4	00078-70-6	Linalool	3,7-dimetil-1,6- octadien-3-ol	26,979	5,288
5	000064-17-5	Etanol	Alcohol etílico	6,192	3,637
6	000142-50-7	Nerolidol	[S-(Z)]-3,7,11-trimetil- 1,6,10-dodecatrien-3- ol	44,764	1,899
7	000057-10-3	Acido palmítico	Acido n- hexadecanoico	72,088	1,778
8	000060-33-3	Ácido linoléico	Ácido (Z,Z)-9,12- octadienoico	64,314	1,117
9	000624-15-7	Geraniol	3,7-dimetil-2,6- octadien-1-ol	38,278	1,084
10	020126-76-5	α -terpineol	(R)-4-metil-1-(1- metiletil)-3- ciclohexen-1-ol	29,353	1,045
11	000593-39-5	Ácido petroselinico	Ácido (Z)-6- octadecenoico	59,356	0,832
12	007299-41-4	-	Cis-beta-terpineol	23,790	0,786
13	000141-27-5	(E)-citral	(E) 3,7-dimetil octa- 2,6-dienal	34,207	0,783
14	013466-78-9	-	3-careno	23,909	0,701
15	1000245-88-7	-	Éter pentametildisilil- exo-norbornanol	65,670	0,493
16	000106-26-3	Z-citral	(Z)-3,7dimetil-2,6- octadienol	32,305	0,485
17	007299-41-4	Cis- beta- terpineol	1-methyl-4-(1- methylethenyl)- cyclohexanol	27,215	0,458
18	000112-79-8	Ácido elaidico	Ácido <i>trans</i> - octadecenoico	59,420	0,450
19	000105-87-3	Ácido acético, geraniol éster	(E)-acetato de 3,7- dimetil-2,6-octadien- 1-ol	35,003	0,440
20	000112-79-8	Ácido elaidico	Ácido <i>trans</i> - octadecenoico	59,215	0,440

**Metabolitos secundarios presentes en oleorresina de cardamomo
(*Elettaria cardamomum* L. Maton) obtenida a escala planta piloto por
maceración estática, 3ra. Calidad**

No.	METABOLITO SECUNDARIO			TR (min)	A (%)
	No. CAS	Nombre común	Nombre IUPAC		
1	000080-26-2	Acetato de terpinilo	Acetato de 4-trimetil- alpha,alpha-3- ciclohexano-1- metanol	33,251	54,709
2	000470-82-6	1,8-cineol	Eucaliptol	13,847	18,046
3	000078-36-4	Acetato de linalilo	Butirato de 1,5- dimetil-1-vinil-4- hexenil	27,452	7,730
4	00078-70-6	Linalool	3,7-dimetil-1,6- octadien-3-ol	26,988	5,267
5	000064-17-5	Etanol	Alcohol etílico	6,192	2,950
6	000057-10-3	Ácido palmítico	Ácido n- hexadecanoico	72,120	2,480
7	000142-50-7	Nerolidol	[S-(Z)]-3,7,11-trimetil- 1,6,10-dodecatrien-3- ol	44,773	1,696
8	020126-76-5	α -terpineol	(R)-4-metil-1-(1- metiletil)-3- ciclohexen-1-ol	29,358	1,092
9	000060-33-3	Ácido linoléico	Ácido (Z,Z)-9,12- octadienoico	64,314	0,861
10	007299-41-4	-	Cis-beta-terpineol	23,799	0,828
11	000141-27-5	(E)-citral	(E) 3,7-dimetil octa- 2,6-dienal	34,211	0,748
12	007785-26-4	L-(-)-alfa-pineno	1s-alfa-pineno	23,918	0,707
13	000112-79-8	Ácido elaídico	Ácido <i>trans</i> - octadecenoico	59,329	0,603
14	000624-15-7	Geraniol	3,7-dimetil-2,6- octadien-1-ol	38,278	0,546
15	007299-41-4	Cis- beta- terpineol	1-methyl-4-(1- methylethenyl)- cyclohexanol	27,220	0,481
16	000106-26-3	Z-citral	(Z)-3,7dimetil-2,6- octadienol	32,310	0,479
17	1000245-88-7	-	Éter pentametildisilil- exo-norbornanol	65,679	0,430
18	000593-39-5	Ácido petroselénico	Ácido (Z)-6- octadecenoico	59,415	0,346

Análisis granulométrico de 1ra. calidad de cardamomo (*Elettaria cardamomum* L. Maton)

No. mesh	Tara (g)	Peso repetición (g)		Diferencia de peso (g)		Proporción de sólidos (%)		\bar{X}	σ
		1	2	1	2	1	2		
10	474.570	564.430	580.630	89.860	106.060	59.907	70.707	65.307	7.637
20	404.480	442.510	435.600	38.030	31.120	25.353	20.747	23.050	3.257
30	388.010	396.970	393.110	8.960	5.100	5.973	3.400	4.687	1.820
40	375.470	379.750	378.020	4.280	2.550	2.853	1.700	2.277	0.816
50	369.020	372.820	370.800	3.800	1.780	2.533	1.187	1.860	0.952
60	358.680	361.300	360.110	2.620	1.430	1.747	0.953	1.350	0.561
80	422.750	424.380	423.810	1.630	1.060	1.087	0.707	0.897	0.269
Fondo	412.950	413.570	413.430	0.620	0.480	0.413	0.320	0.367	0.066
Suma	-	-	-	-	-	99.867	99.720	99.793	-

Análisis granulométrico de 2da. calidad de cardamomo (*Elettaria cardamomum* L. Maton)

No. mesh	Tara (g)	Peso repetición (g)		Diferencia de peso (g)		Proporción de sólidos (%)		\bar{X}	σ
		1	2	1	2	1	2		
10	474.570	571.110	566.670	96.540	92.100	64.360	61.400	62.880	2.093
20	404.480	439.290	438.860	34.810	34.380	23.207	22.920	23.063	0.203
30	388.010	395.400	398.310	7.390	10.300	4.927	6.867	5.897	1.372
40	375.470	378.700	380.470	3.230	5.000	2.153	3.333	2.743	0.834
50	369.020	372.040	373.230	3.020	4.210	2.013	2.807	2.410	0.561
60	358.680	360.270	360.410	1.590	1.730	1.060	1.153	1.107	0.066
80	422.750	423.984	424.380	1.234	1.630	0.823	1.087	0.955	0.187
Fondo	412.950	414.056	413.490	1.106	0.540	0.737	0.360	0.549	0.267
Suma	-	-	-	-	-	99.280	99.927	99.603	-

Fuente: datos experimentales obtenidos en LIEXVE.

**Análisis granulométrico de 3ra. calidad de cardamomo (*Elettaria
cardamomum* L. Maton)**

No. mesh	Tara (g)	Peso repetición (g)		Diferencia de peso (g)		Proporción de sólidos (%)		\bar{X}	σ
		1	2	1	2	1	2		
10	474,570	569,200	559,500	94,630	84,930	63.087	56,620	59,853	4,573
20	404,480	433,900	436,000	29,420	31,520	19.613	21,013	20,313	0,990
30	388,010	399,770	398,110	11,760	10,100	7.840	6,733	7,287	0,783
40	375,470	383,250	379,920	7,780	4,450	5.187	2,967	4,077	1,570
50	369,020	370,950	375,430	1,930	6,410	1.287	4,273	2,780	2,112
60	358,680	361,050	365,490	2,370	6,810	1.580	4,540	3,060	2,093
80	422,750	423,130	426,510	0,380	3,760	0.253	2,507	1,380	1,593
Fondo	412,950	412,980	414,110	0,030	1,160	0.020	0,773	0,397	0,533
Suma	-	-	-	-	-	99.280	99,927	99,603	-

ANOVA, rendimiento de extracción de oleorresina

RESUMEN	Calidad			Total		
	1ra.	2da.	3ra.			
DINÁMICA						
Cuenta	3	3	3	9		
Suma	47,386	24,755	18,891	91,032		
Promedio	15,795	8,252	6,297	10,115		
Varianza	0,356	0,462	0,306	19,149		
ESTÁTICA						
Cuenta	3	3	3	9		
Suma	22,457	17,501	16,199	56,157		
Promedio	7,486	5,834	5,400	6,240		
Varianza	2,093	1,103	0,834	1,916		
Total						
Cuenta	6	6	6	-		
Suma	69,843	42,256	35,090	-		
Promedio	11,641	7,043	5,848	-		
Varianza	21,695	2,380	0,698	-		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Muestra	67,70	1	67,570	78,657	1,289E-06	4,747
Columnas	112,231	2	56,116	65,323	3,544E-07	3,885
Interacción	45,983	2	22,992	26,764	3,771E-05	3,885
Dentro del grupo	10,309	12	0,859	-	-	-
Total	236,094	17	-			
<p>Respuesta: existe diferencia significativa en el rendimiento de extracción de oleorresina de cardamomo al utilizar los métodos de maceración dinámica y maceración estática; asimismo, existe diferencia significativa al realizar la extracción con materia prima de 1ra., 2da. y 3ra. calidad. Se acepta la hipótesis nula.</p>						

ANOVA, potencial de hidrógeno de oleorresina

RESUMEN	Calidad			Total		
	1ra.	2da.	3ra.			
DINÁMICA						
Cuenta	3	3	3	9		
Suma	15,550	15,970	15,350	46,870		
Promedio	5,183	5,323	5,117	5,208		
Varianza	0,090	0,566	0,743	0,358		
ESTÁTICA						
Cuenta	3	3	3	9		
Suma	14,950	14,760	13,670	43,380		
Promedio	4,983	4,920	4,557	4,820		
Varianza	0,723	0,034	0,744	0,415		
Total						
Cuenta	6	6	6	-		
Suma	30,500	30,730	29,020	-		
Promedio	5,083	5,122	4,837	-		
Varianza	0,337	0,289	0,689	-		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Muestra	0,677	1	0,677	1,399	0,260	4,747
Columnas	0,287	2	0,144	0,297	0,748	3,885
Interacción	0,098	2	0,049	0,101	0,905	3,885
Dentro del grupo	5,802	12	0,484	-	-	-
Total	6,864	17	-			
<p>Respuesta: no existe diferencia significativa en el potencial de hidrógeno de oleorresina de cardamomo al utilizar los métodos de maceración dinámica y maceración estática; asimismo, no existe diferencia significativa en el potencial de hidrógeno al realizar la extracción con materia prima de 1ra., 2da. y 3ra. calidad. Se rechaza la hipótesis nula.</p>						

ANOVA, índice de refracción de oleorresina

RESUMEN	Calidad			Total		
	1ra.	2da.	3ra.			
DINAMICA						
Cuenta	3	3	3	9		
Suma	4,740	4,736	4,725	14,201		
Promedio	1,580	1,579	1,575	1,578		
Varianza	0,000	0,000	0,000	0,000		
ESTÁTICA						
Cuenta	3	3	3	9		
Suma	4,742	4,740	4,740	14,222		
Promedio	1,581	1,580	1,580	1,580		
Varianza	0,000	0,000	0,000	0,000		
Total						
Cuenta	6	6	6	-		
Suma	9,482	9,476	9,465	-		
Promedio	1,580	1,579	1,578	-		
Varianza	0,000	0,000	0,000	-		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Muestra	2,335E-05	1	2,335E-05	1,796	0,205	4,747
Columnas	2,453E-05	2	1,226E-05	0,943	0,416	3,885
Interacción	1,686E-05	2	8,431E-06	0,649	0,540	3,885
Dentro del grupo	2,335E-05	1	2,335E-05	-	-	-
Total	2,207E-04	17	-			
<p>Respuesta: no existe diferencia significativa en el índice de refracción de oleorresina de cardamomo al utilizar los métodos de maceración dinámica y maceración estática; asimismo, no existe diferencia significativa en el índice de refracción al realizar la extracción con materia prima de 1ra., 2da. y 3ra. calidad. Se rechaza la hipótesis nula.</p>						

ANOVA, densidad de oleorresina

RESUMEN	Calidad			Total		
	1ra.	2da.	3ra.			
DINÁMICA						
Cuenta	3	3	3	9		
Suma	2,869	2,953	2,878	8,700		
Promedio	0,956	0,984	0,959	0,967		
Varianza	0,000	0,001	0,000	0,001		
ESTÁTICA						
Cuenta	3	3	3	9		
Suma	3,034	2,912	2,880	8,826		
Promedio	1,011	0,971	0,960	0,981		
Varianza	0,002	0,001	0,000	0,001		
Total						
Cuenta	6	6	6	-		
Suma	5,903	5,865	5,758	-		
Promedio	0,984	0,978	0,960	-		
Varianza	0,002	0,001	0,000	-		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Muestra	0,001	1	0,001	1,063	0,323	4,747
Columnas	0,002	2	0,001	1,148	0,350	3,885
Interacción	0,004	2	0,002	2,396	0,133	3,885
Dentro del grupo	0,010	12	0,001	-	-	-
Total	0,017	17	-			
<p>Respuesta: no existe diferencia significativa en la densidad de oleorresina de cardamomo al utilizar los métodos de maceración dinámica y maceración estática; asimismo, no existe diferencia significativa en la densidad al realizar la extracción con materia prima de 1ra., 2da. y 3ra. calidad. Se rechaza la hipótesis nula.</p>						

ANOVA dos factores con varias muestras por grupo, prueba hedónica de 7 puntos

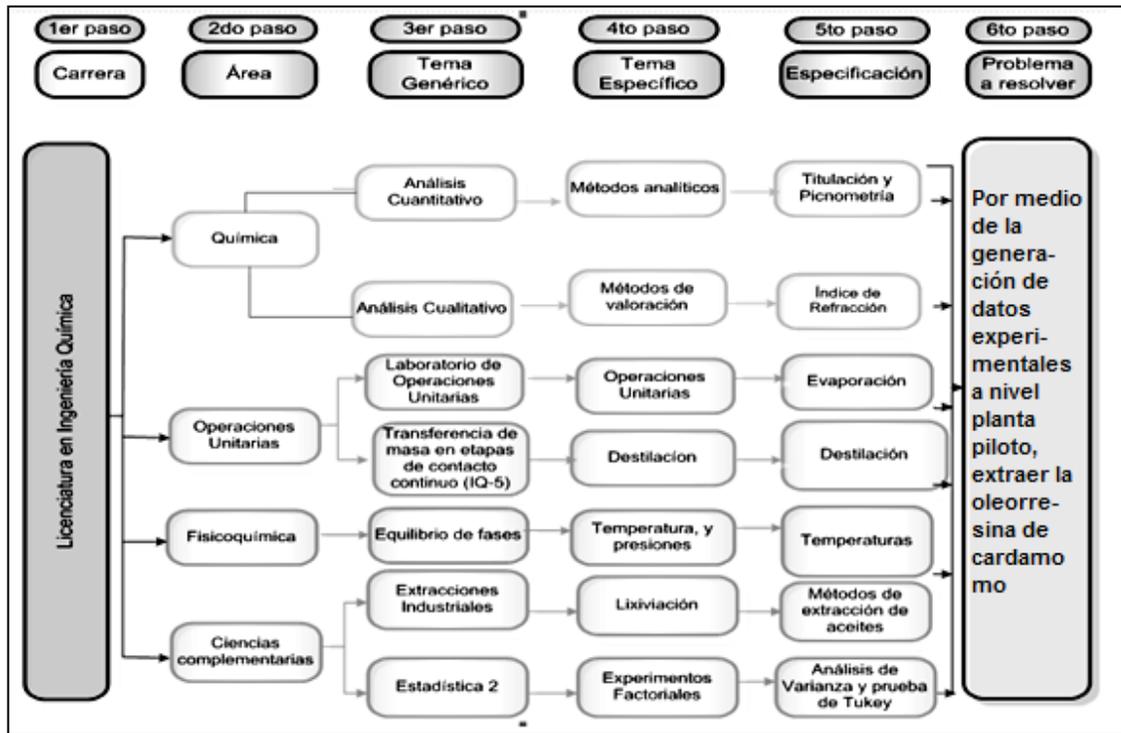
RESUMEN	Muestra de mermelada				Total	
	A	B	C	D		
OLOR						
Cuenta	10	10	10	10	40	
Suma	20	18	23	26	87	
Promedio	2	1,8	2,3	2,6	2,175	
Varianza	0,889	0,178	0,900	2,267	1,071	
COLOR						
Cuenta	10	10	10	10	40	
Suma	26	26	26	27	105	
Promedio	2.6	2,6	2,6	2,7	2,625	
Varianza	0,711	0,711	0,933	1,122	0,804	
SABOR						
Cuenta	10	10	10	10	40	
Suma	19	18	26	30	93	
Promedio	1,9	1,8	2,6	3	2,325	
Varianza	0,322	0,400	3,156	3,333	1,917	
TEXTURA						
Cuenta	10	10	10	10	40	
Suma	22	29	24	26	101	
Promedio	2,2	2,9	2,4	2,6	2,525	
Varianza	0,844	2,100	1,378	1,378	1,384	
Cuenta	40	40	40	40	-	
Suma	87	91	99	109	-	
Promedio	2,175	2,275	2,475	2,725	-	
Varianza	0,712	1,025	1,487	1,897	-	
ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Muestra	4,875	3	1,625	1,261	0,290	2,667
Columnas	7,075	3	2,358	1,830	0,144	2,667
Interacción	9,225	9	1,025	0,795	0,621	1,945
Dentro del grupo	185,600	144	1.289	-	-	-
Total	206,775	159				
Respuesta: no existe diferencia significativa entre el olor, color, sabor y textura de la mermelada de pera con aditivo de cardamomo. Asimismo, no existe diferencia significativa entre las muestras de mermelada A, B, C y D. en base con a los promedios por olor y color, la muestra de mermelada aceptable para el consumidor es la B al obtener los valores entre muy agradable y enormemente agradable.						

Prueba múltiple de Duncan, rendimiento de extracción de oleorresina

Resumen	Rendimiento de extracción (%)					
	1ra.	(1ra.) ²	2da.	(2da.) ²	3ra.	(3ra.) ²
DINÁMICA						
A	15,567	242,331	8,745	76,475	5,865	34,398
B	15,347	235,530	7,476	55,891	6,921	47,900
C	16,472	271,327	8,534	72,829	6,105	37,271
SUMA	47,386	749,189	24,755	205,195	18,891	119,569
MEDIA	15,795	-	8,252	-	6,297	-
SS	0,711	-	0,925	-	0,613	-
Se	0,612	-	-	-	-	-
ESTÁTICA						
A	8,168	66,716	7,022	49,308	5,789	33,513
B	5,824	33,919	5,448	29,681	6,054	36,651
C	8,465	71,656	6,304	39,740	4,356	18,975
SUMA	22,457	172,291	18,774	118,730	16,199	89,138
MEDIA	7,486	-	6,258	-	5,400	-
SS	4,186	-	1,242	-	1,669	-
S _e	1,088	-	-	-	-	-
Análisis de prueba múltiple de Duncan (6 grados de libertad)						
Grupos		2	3	-	2	3
Tipo de maceración		Dinámica	Dinámica	-	Estática	Estática
r _p (0,05)		3,461	3,587	-	3,461	3,587
R _p (0,05)		1,223	1,268	-	2,173	2,252
Orden ascendente de medias	Media de rendimiento	Diferencia	Diferencia	Media de rendimiento	Diferencia	Diferencia
3ra.	6,297	-	-	5,400	-	-
2da.	8,252	1,955	-	6,258	0,858	-
1ra.	15,795	7,544	9,498	7,486	1,228	2,086
<p>Respuesta: en el caso del rendimiento de extracción con maceración dinámica, existe diferencia significativa entre la 1ra., 2da. y 3ra. calidad de cardamomo. Por otra parte, cuando la extracción se realiza con maceración estática, no existe diferencia significativa.</p>						

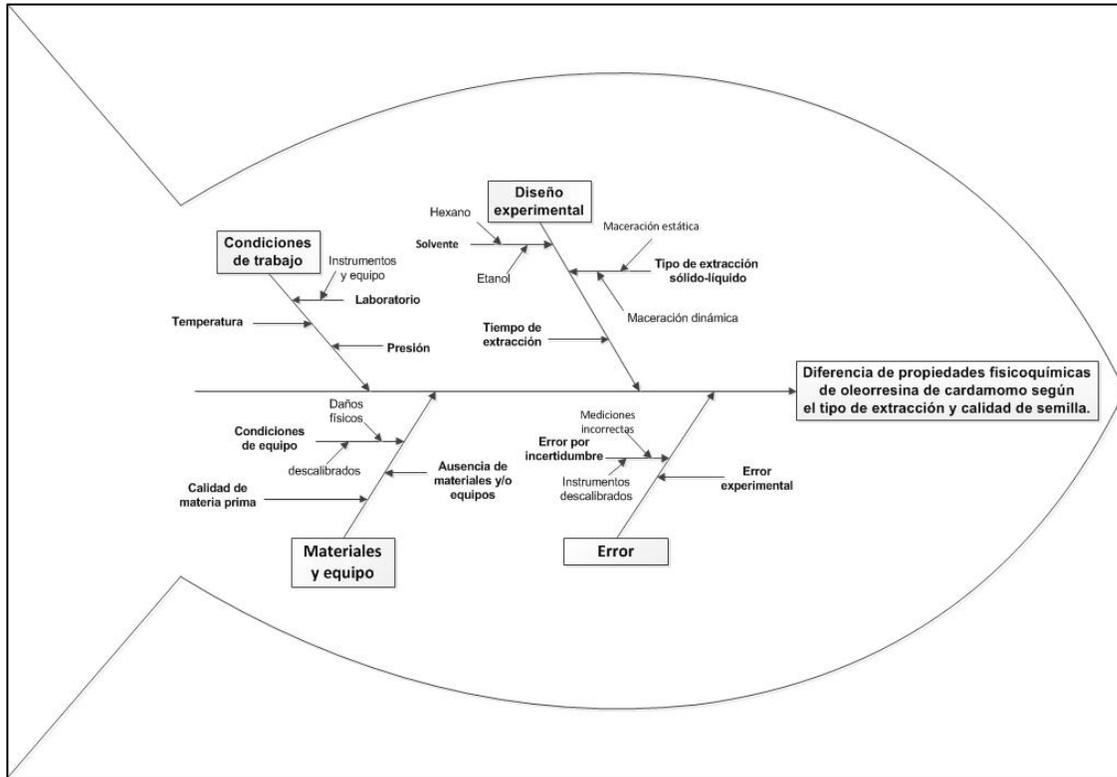
Fuente: elaboración propia.

Apéndice C. Diagrama de requisitos académicos



Fuente: elaboración propia.

Apéndice D. Diagrama de Ishikawa



Fuente: elaboración propia.

Apéndice E. Fotografías tomadas durante la investigación

Equipo utilizado a escala planta piloto

Tanque de agitación mecánica



Filtro tipo industrial Buchner



Marmita de concentración



Planta piloto



Fuente: elaboración propia, con el apoyo del Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales –LIEXVE, USAC.

Equipo industrial complementario

Caldera pirotubular



Compresor de aire



Insumos para elaboración de mermelada

Oleoresina de cardamomo



Mermelada de pera



Fuente: elaboración propia, con el apoyo del Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales –LIEXVE, USAC.

Análisis sensorial, prueba hedónica de 7 puntos



Fuente: elaboración propia, con el apoyo del Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales –LIEXVE, USAC.

Apéndice F. Prueba hedónica de 7 puntos, encuestas

Evaluador 1



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA
CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA/USAC
SECCIÓN QUIMICA INDUSTRIAL
LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN DE EXTRACTOS VEGETALES -LIEXVE-
TRABAJO DE GRADUACION
ANDRES GUILLERMO PUAC GARCIA



Fecha: 23, 01, 2015

PRUEBA HEDONICA DE 7 PUNTOS

Frente a usted se presentan cuatro muestras de mermelada de pera con aditivo de oleoresina de cardamomo.

Por favor, observe y pruebe cada una de ellas, yendo de izquierda a derecha. Indique el grado en que le agrada o le desagrada cada atributo de cada muestra, de acuerdo al puntaje/categoría, escribiendo el número correspondiente en la línea del código de la muestra.

Categoría	Puntaje
Enormemente agradable	1
Muy agradable	2
Poco agradable	3
Indiferente	4
Poco desagradable	5
Muy desagradable	6
Enormemente desagradable	7

MUESTRA	Calificación para cada atributo			
	OLOR	COLOR	SABOR	TEXTURA
A	1	2	2	1
B	1	2	2	1
C	1	1	1	1
D	1	1	1	1

Evaluador 2



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA
CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA/USAC
SECCION QUIMICA INDUSTRIAL
LABORATORIO DE INVESTIGACION DE EXTRACTOS VEGETALES -LIEXVE-
TRABAJO DE GRADUACION
ANDRES GUILLERMO PUAC GARCIA



Fecha: 20 / 01 / 2015

PRUEBA HEDÓNICA DE 7 PUNTOS

Frente a usted se presentan cuatro muestras de mermelada de pera con aditivo de oleoresina de cardamomo.

Por favor, observe y pruebe cada una de ellas, yendo de izquierda a derecha. Indique el grado en que le agrada o le desagradan cada atributo de cada muestra, de acuerdo al puntaje/categoría, escribiendo el número correspondiente en la línea del código de la muestra.

Categoría	Puntaje
Enormemente agradable	1
Muy agradable	2
Poco agradable	3
Indiferente	4
Poco desagradable	5
Muy desagradable	6
Enormemente desagradable	7

MUESTRA	Calificación para cada atributo			
	OLOR	COLOR	SABOR	TEXTURA
A	3	3	3	3
B	2	3	2	3
C	2	2	1	3
D	2	4	5	3

Evaluador 3



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA
CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA/USAC
SECCION QUIMICA INDUSTRIAL
LABORATORIO DE INVESTIGACION DE EXTRACTOS VEGETALES -LIEXVE-
TRABAJO DE GRADUACION
ANDRES GUILLERMO PUAC GARCIA



Fecha: 23 / 1 / 15

PRUEBA HEDÓNICA DE 7 PUNTOS

Frente a usted se presentan cuatro muestras de mermelada de pera con aditivo de oleoresina de cardamomo.

Por favor, observe y pruebe cada una de ellas, yendo de izquierda a derecha. Indique el grado en que le agrada o le desagrada cada atributo de cada muestra, de acuerdo al puntaje/categoría, escribiendo el número correspondiente en la línea del código de la muestra.

Categoría	Puntaje
Enormemente agradable	1
Muy agradable	2
Poco agradable	3
Indiferente	4
Poco desagradable	5
Muy desagradable	6
Enormemente desagradable	7

MUESTRA	Calificación para cada atributo			
	OLOR	COLOR	SABOR	TEXTURA
A	2	3	2	2
B	2	3	1	2
C	2	3	2	2
D	2	3	2	2

Evaluador 4



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA
CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA/USAC
SECCION QUIMICA INDUSTRIAL
LABORATORIO DE INVESTIGACION DE EXTRACTOS VEGETALES -LIEIXVE-
TRABAJO DE GRADUACION
ANDRES GUILLERMO PUAC GARCIA



Fecha: 20 / 01 / 2015

PRUEBA HEDÓNICA DE 7 PUNTOS

Frente a usted se presentan cuatro muestras de mermelada de pera con aditivo de oleoresina de cardamomo.

Por favor, observe y pruebe cada una de ellas, yendo de izquierda a derecha. Indique el grado en que le agrada o le desagradaba cada atributo de cada muestra, de acuerdo al puntaje/categoría, escribiendo el número correspondiente en la línea del código de la muestra.

Categoría	Puntaje
Enormemente agradable	1
Muy agradable	2
Poco agradable	3
Indiferente	4
Poco desagradable	5
Muy desagradable	6
Enormemente desagradable	7

MUESTRA	Calificación para cada atributo			
	OLOR	COLOR	SABOR	TEXTURA
A	2	2	2	4
B	2	2	1	4
C	3	3	6	5
D	6	2	7	5

Evaluador 5



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA
CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA/USAC
SECCION QUIMICA INDUSTRIAL
LABORATORIO DE INVESTIGACION DE EXTRACTOS VEGETALES -LIEXVE-
TRABAJO DE GRADUACION
ANDRES GUILLERMO PUAC GARCIA



Fecha: 20 / 01 / 15

PRUEBA HEDÓNICA DE 7 PUNTOS

Frente a usted se presentan cuatro muestras de mermelada de pera con aditivo de oleorresina de cardamomo.

Por favor, observe y pruebe cada una de ellas, yendo de izquierda a derecha. Indique el grado en que le agrada o le desagrada cada atributo de cada muestra, de acuerdo al puntaje/categoría, escribiendo el número correspondiente en la línea del código de la muestra.

Categoría	Puntaje
Enormemente agradable	1
Muy agradable	2
Poco agradable	3
Indiferente	4
Poco desagradable	5
Muy desagradable	6
Enormemente desagradable	7

MUESTRA	Calificación para cada atributo			
	OLOR	COLOR	SABOR	TEXTURA
A	1	4	1	2
B	1	4	2	3
C	1	4	1	3
D	3	4	3	3

Evaluador 6



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA
CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA/USAC
SECCION QUIMICA INDUSTRIAL
LABORATORIO DE INVESTIGACION DE EXTRACTOS VEGETALES -LIEXVE-
TRABAJO DE GRADUACION
ANDRES GUILLERMO PUAC GARCIA



Fecha: 20 / 01 / 2015

PRUEBA HEDÓNICA DE 7 PUNTOS

Frente a usted se presentan cuatro muestras de mermelada de pera con aditivo de oleoresina de cardamomo.

Por favor, observe y pruebe cada una de ellas, yendo de izquierda a derecha. Indique el grado en que le agrada o le desagrada cada atributo de cada muestra, de acuerdo al puntaje/categoría, escribiendo el número correspondiente en la línea del código de la muestra.

Categoría	Puntaje
Enormemente agradable	1
Muy agradable	2
Poco agradable	3
Indiferente	4
Poco desagradable	5
Muy desagradable	6
Enormemente desagradable	7

MUESTRA	Calificación para cada atributo			
	OLOR	COLOR	SABOR	TEXTURA
A	2	2	2	2
B	2	2	2	2
C	2	2	1	2
D	1	2	1	2

Evaluador 7



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA
CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA/USAC
SECCION QUIMICA INDUSTRIAL
LABORATORIO DE INVESTIGACION DE EXTRACTOS VEGETALES -LIEXVE-
TRABAJO DE GRADUACION
ANDRES GUILLERMO PUAC GARCIA



Fecha: 20 / 01 / 15

PRUEBA HEDÓNICA DE 7 PUNTOS

Frente a usted se presentan cuatro muestras de mermelada de pera con aditivo de oleoresina de cardamomo.

Por favor, observe y pruebe cada una de ellas, yendo de izquierda a derecha. Indique el grado en que le agrada o le desagrada cada atributo de cada muestra, de acuerdo al puntaje/categoría, escribiendo el número correspondiente en la línea del código de la muestra.

Categoría	Puntaje
Enormemente agradable	1
Muy agradable	2
Poco agradable	3
Indiferente	4
Poco desagradable	5
Muy desagradable	6
Enormemente desagradable	7

MUESTRA	Calificación para cada atributo			
	OLOR	COLOR	SABOR	TEXTURA
A	4	2	2	3
B	2	2	3	5
C	4	3	5	2
D	2	2	2	3

Evaluador 8



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA
CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA/USAC
SECCION QUIMICA INDUSTRIAL
LABORATORIO DE INVESTIGACION DE EXTRACTOS VEGETALES -LIEXVE-
TRABAJO DE GRADUACION
ANDRES GUILLERMO PUAC GARCIA



Fecha: 20 / 01 / 2015

PRUEBA HEDÓNICA DE 7 PUNTOS

Frente a usted se presentan cuatro muestras de mermelada de pera con aditivo de oleoresina de cardamomo.

Por favor, observe y pruebe cada una de ellas, yendo de izquierda a derecha. Indique el grado en que le agrada o le desagrada cada atributo de cada muestra, de acuerdo al puntaje/categoría, escribiendo el número correspondiente en la línea del código de la muestra.

Categoría	Puntaje
Enormemente agradable	1
Muy agradable	2
Poco agradable	3
Indiferente	4
Poco desagradable	5
Muy desagradable	6
Enormemente desagradable	7

MUESTRA	Calificación para cada atributo			
	OLOR	COLOR	SABOR	TEXTURA
A	1	2	2	2
B	2	2	2	3
C	3	2	3	3
D	4	2	3	3

Evaluador 9



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA
CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA/USAC
SECCION QUIMICA INDUSTRIAL
LABORATORIO DE INVESTIGACION DE EXTRACTOS VEGETALES -LIEXVE-
TRABAJO DE GRADUACION
ANDRES GUILLERMO PUAC GARCIA



Fecha: 20 / 01 / 2015

PRUEBA HEDÓNICA DE 7 PUNTOS

Frente a usted se presentan cuatro muestras de mermelada de pera con aditivo de oleoresina de cardamomo.

Por favor, observe y pruebe cada una de ellas, yendo de izquierda a derecha. Indique el grado en que le agrada o le desagrada cada atributo de cada muestra, de acuerdo al puntaje/categoría, escribiendo el número correspondiente en la línea del código de la muestra.

Categoría	Puntaje
Enormemente agradable	1
Muy agradable	2
Poco agradable	3
Indiferente	4
Poco desagradable	5
Muy desagradable	6
Enormemente desagradable	7

MUESTRA	Calificación para cada atributo			
	OLOR	COLOR	SABOR	TEXTURA
A	2	2	1	1
B	2	2	1	1
C	3	2	3	1
D	3	3	3	1

Evaluador 10



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA QUÍMICA
CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA/USAC
SECCIÓN QUÍMICA INDUSTRIAL
LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN DE EXTRACTOS VEGETALES -LIEXVE-
TRABAJO DE GRADUACION
ANDRES GUILLERMO PUAC GARCIA



Fecha: 20 / 05 / 2015

PRUEBA HEDÓNICA DE 7 PUNTOS

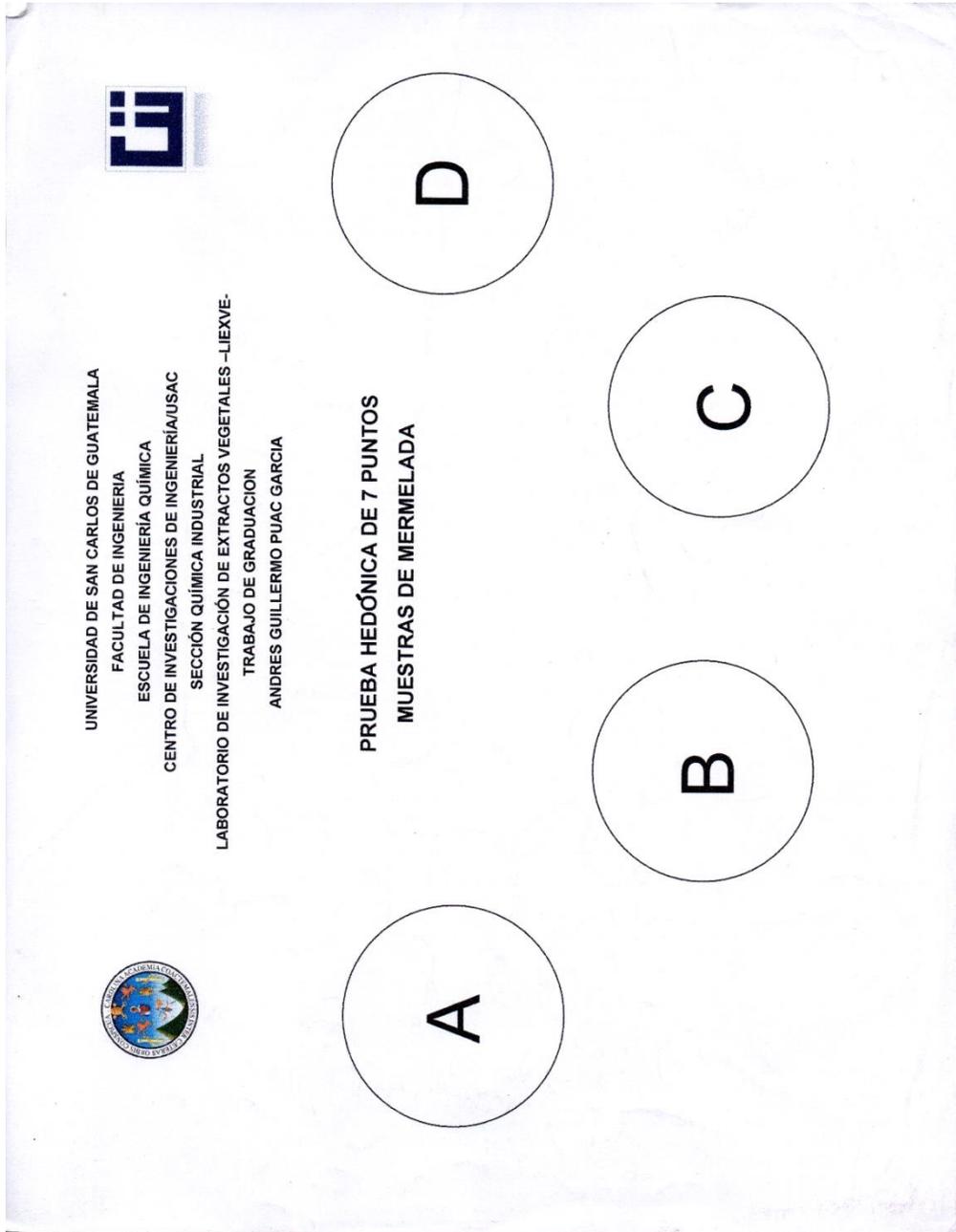
Frente a usted se presentan cuatro muestras de mermelada de pera con aditivo de oleoresina de cardamomo.

Por favor, observe y pruebe cada una de ellas, yendo de izquierda a derecha. Indique el grado en que le agrada o le desagrade cada atributo de cada muestra, de acuerdo al puntaje/categoría, escribiendo el número correspondiente en la línea del código de la muestra.

Categoría	Puntaje
Enormemente agradable	1
Muy agradable	2
Poco agradable	3
Indiferente	4
Poco desagradable	5
Muy desagradable	6
Enormemente desagradable	7

MUESTRA	Calificación para cada atributo			
	OLOR	COLOR	SABOR	TEXTURA
A	2	4	2	2
B	2	4	2	2
C	2	4	3	2
D	2	4	3	3

Plantilla para muestras de mermelada



Fuente: elaboración propia.

ANEXOS

Anexo A:	Tablas de resultados de cromatografía gaseosa acoplada a espectrometría de masas.....	169
Anexo B:	Gráficas de resultados de cromatografía gaseosa acoplada a espectrometría de masas.....	184
Anexo C:	COGUANOR NGO-34-152.....	191
Anexo D:	Informe de Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales –LIEXVE/USAC.....	201

Anexo A. Tablas de resultados de cromatografía gaseosa acoplada a espectrometría de masas

Análisis de cromatografía gaseosaespectrometría de masas, maceración dinámica utilizando cardamomo de primera calidad

Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
1	6.214	4.94	C:\Database\NIST05a.L			
			Ethyl alcohol	93	000064-17-5	91
			Ethyl alcohol	95	000064-17-5	52
			Ethyl alcohol	94	000064-17-5	49
2	13.310	0.35	C:\Database\NIST05a.L			
			1-Butanol, 3-methyl-	2084	000123-51-3	90
			1-Butanol, 3-methyl-, formate	7935	000110-45-2	83
			1-Butanol, 3-methyl-	2085	000123-51-3	83
3	13.815	11.98	C:\Database\NIST05a.L			
			Eucalyptol	25507	000470-82-6	97
			Eucalyptol	25509	000470-82-6	97
			Eucalyptol	25508	000470-82-6	96
4	23.786	0.94	C:\Database\NIST05a.L			
			Terpineol, cis-.beta.-	25561	007299-41-4	97
			cis-.beta.-Terpineol	25549	007299-40-3	96
			2-Cyclohexen-1-ol, 1-methyl-4-(1-m ethylethyl)-, trans-	25802	029803-81-4	38
5	23.909	0.91	C:\Database\NIST05a.L			
			Tricyclo[2.2.1.0(2,6)]heptane, 1,7 ,7-trimethyl-	15352	000508-32-7	91
			3-Carene	15151	013466-78-9	91
			3-Carene	15158	013466-78-9	90
6	26.997	5.95	C:\Database\NIST05a.L			
			1,6-Octadien-3-ol, 3,7-dimethyl-	25636	000078-70-6	86
			1,6-Octadien-3-ol, 3,7-dimethyl-	25643	000078-70-6	64
			1,6-Octadien-3-ol, 3,7-dimethyl-, acetate	54271	000115-95-7	58
7	27.211	0.52	C:\Database\NIST05a.L			
			Terpineol, cis-.beta.-	25561	007299-41-4	95
			cis-.beta.-Terpineol	25549	007299-40-3	90
			2-Cyclohexen-1-ol, 1-methyl-4-(1-m ethylethyl)-, cis-	25783	029803-82-5	90
8	27.470	8.06	C:\Database\NIST05a.L			
			1,6-Octadien-3-ol, 3,7-dimethyl-, 2-aminobenzoate	107591	007149-26-0	91
			1,5-Dimethyl-1-vinyl-4-hexenyl but yrate	74331	000078-36-4	90
			1,5-Dimethyl-1-vinyl-4-hexenyl but yrate	74332	000078-36-4	83
9	29.349	1.02	C:\Database\NIST05a.L			
			3-Cyclohexen-1-ol, 4-methyl-1-(1-m ethylethyl)-, (R)-	25781	020126-76-5	95
			3-Cyclohexen-1-ol, 4-methyl-1-(1-m ethylethyl)-, (R)-	25784	020126-76-5	94
			3-Cyclohexen-1-ol, 4-methyl-1-(1-m ethylethyl)-	25752	000562-74-3	94
10	32.301	0.41	C:\Database\NIST05a.L			
			2,6-Octadienal, 3,7-dimethyl-, (Z)	24148	000106-26-3	97

Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
			2,6-Octadienal, 3,7-dimethyl-	24106	005392-40-5	64
			2,6-Octadienal, 3,7-dimethyl-, (Z)	24150	000106-26-3	59
11	33.251	57.60	C:\Database\NIST05a.L			
			3-Cyclohexene-1-methanol, .alpha.,	54339	000080-26-2	91
			.alpha.,4-trimethyl-, acetate			
			3-Cyclohexene-1-methanol, .alpha.,	64281	000080-27-3	90
			.alpha.,4-trimethyl-, propanoate			
			3-Cyclohexene-1-methanol, .alpha.,	54334	000080-26-2	90
			.alpha.,4-trimethyl-, acetate			
12	34.216	0.68	C:\Database\NIST05a.L			
			2,6-Octadienal, 3,7-dimethyl-, (E)	24151	000141-27-5	96
			2,6-Octadienal, 3,7-dimethyl-	24109	005392-40-5	96
			2,6-Octadienal, 3,7-dimethyl-, (E)	24141	000141-27-5	95
13	35.012	0.71	C:\Database\NIST05a.L			
			2,6-Octadien-1-ol, 3,7-dimethyl-,	54284	000105-87-3	91
			acetate, (E)-			
			2,6-Octadien-1-ol, 3,7-dimethyl-,	54270	016409-44-2	90
			acetate			
			2,6-Octadien-1-ol, 3,7-dimethyl-,	54280	000105-87-3	90
			acetate, (E)-			
14	38.291	1.64	C:\Database\NIST05a.L			
			2,6-Octadien-1-ol, 3,7-dimethyl-	25642	000624-15-7	83
			2,6-Octadien-1-ol, 3,7-dimethyl-	25634	000624-15-7	78
			2,6-Octadien-1-ol, 3,7-dimethyl-,	44381	000105-86-2	72
			formate, (E)-			
15	44.769	1.84	C:\Database\NIST05a.L			
			1,6,10-Dodecatrien-3-ol, 3,7,11-tri-	72953	000142-50-7	91
			imethyl-, [S-(Z)]-			
			1,6,10-Dodecatrien-3-ol, 3,7,11-tri-	72942	040716-66-3	90
			imethyl-, (E)-			
			Nerolidol 2	72901	1000285-43-6	90
16	51.865	0.27	C:\Database\NIST05a.L			
			2,6,10-Dodecatrienal, 3,7,11-trime-	71392	019317-11-4	86
			thyl-			
			2,6,10-Dodecatrienal, 3,7,11-trime-	71403	000502-67-0	83
			thyl-, (E,E)-			
			2,6,10-Dodecatrienal, 3,7,11-trime-	71405	000502-67-0	72
			thyl-, (E,E)-			
17	54.416	0.39	C:\Database\NIST05a.L			
			2,6,10-Dodecatrien-1-ol, 3,7,11-tri-	72947	003790-71-4	83
			imethyl-, (Z,E)-			
			2,6,10-Dodecatrien-1-ol, 3,7,11-tri-	72935	004602-84-0	64
			imethyl-			
			Squalene	173554	007683-64-9	64
18	65.665	0.38	C:\Database\NIST05a.L			
			exo-Norbornanol, pentamethyldisily-	86366	1000245-88-7	46
			l ether			
			1H-1-Silaindene, 2,3-dihydro-1-met-	49910	061141-64-8	38
			hyl-1-propyl-			
			2-Acetoxy-4-phenylhex-2-en-5-one	79847	183483-46-7	38
19	72.088	1.42	C:\Database\NIST05a.L			
			n-Hexadecanoic acid	96234	000057-10-3	98
			n-Hexadecanoic acid	96235	000057-10-3	98
			n-Hexadecanoic acid	96233	000057-10-3	95

**Análisis de cromatografía gaseosaespectrometría de masas, maceración
dinámica utilizando cardamomo de segunda calidad**

Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
1	6.228	5.31	C:\Database\NIST05a.L			
			Ethyl alcohol	93	000064-17-5	83
			Ethyl alcohol	95	000064-17-5	52
			Ethyl alcohol	94	000064-17-5	52
2	8.348	0.24	C:\Database\NIST05a.L			
			Ammonia	6	007664-41-7	2
			Water	7	007732-18-5	1
			Urea	291	000057-13-6	1
3	13.315	0.25	C:\Database\NIST05a.L			
			1-Butanol, 3-methyl-	2085	000123-51-3	91
			1-Butanol, 3-methyl-	2084	000123-51-3	90
			1-Butanol, 3-methyl-	2079	000123-51-3	83
4	13.879	14.39	C:\Database\NIST05a.L			
			Eucalyptol	25507	000470-82-6	97
			Eucalyptol	25509	000470-82-6	97
			Eucalyptol	25508	000470-82-6	96
5	22.862	0.23	C:\Database\NIST05a.L			
			Acetic acid	258	000064-19-7	94
			Acetic acid	256	000064-19-7	91
			Acetic acid	254	000064-19-7	91
6	23.804	0.77	C:\Database\NIST05a.L			
			cis-.beta.-Terpineol	25549	007299-40-3	97
			Terpineol, cis-.beta.-	25561	007299-41-4	97
			Camphene	15152	000079-92-5	48
7	23.927	0.75	C:\Database\NIST05a.L			
			1S-.alpha.-Pinene	15185	007785-26-4	87
			Bicyclo[2.2.1]hept-2-ene, 2,7,7-trimethyl-	15315	000514-14-7	87
			Tricyclo[2.2.1.0(2,6)]heptane, 1,7,7-trimethyl-	15350	000508-32-7	87
8	27.020	5.15	C:\Database\NIST05a.L			
			1,6-Octadien-3-ol, 3,7-dimethyl-	25636	000078-70-6	93
			1,6-Octadien-3-ol, 3,7-dimethyl-	25643	000078-70-6	64
			1,6-Octadien-3-ol, 3,7-dimethyl-, acetate	54271	000115-95-7	52
9	27.229	0.47	C:\Database\NIST05a.L			
			cis-.beta.-Terpineol	25549	007299-40-3	91
			2-Cyclohexen-1-ol, 1-methyl-4-(1-methylethyl)-, cis-	25783	029803-82-5	90
			Terpineol, cis-.beta.-	25561	007299-41-4	90
10	27.511	7.77	C:\Database\NIST05a.L			
			1,6-Octadien-3-ol, 3,7-dimethyl-, 2-aminobenzoate	107591	007149-26-0	91
			1,5-Dimethyl-1-vinyl-4-hexenyl butyrate	74331	000078-36-4	90
			1,3,6-Octatriene, 3,7-dimethyl-, (Z)-	15283	003338-55-4	87

Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
11	29.372	1.09	C:\Database\NIST05a.L 3-Cyclohexen-1-ol, 4-methyl-1-(1-m ethylethyl)-	25752	000562-74-3	95
			3-Cyclohexen-1-ol, 4-methyl-1-(1-m ethylethyl)-, (R)-	25781	020126-76-5	95
			3-Cyclohexen-1-ol, 4-methyl-1-(1-m ethylethyl)-, (R)-	25784	020126-76-5	94
12	31.223	0.21	C:\Database\NIST05a.L Cyclohexane, 1-methylene-4-(1-meth ylethenyl)-	15332	000499-97-8	74
			Cyclohexane, 1-methylene-4-(1-meth ylethenyl)-	15337	000499-97-8	58
			3-Cyclohexene-1-methanol, .alpha., .alpha.,4-trimethyl-, acetate	54339	000080-26-2	53
13	31.996	0.18	C:\Database\NIST05a.L 3-Cyclohexene-1-methanol, .alpha., .alpha.,4-trimethyl-	25788	000098-55-5	64
			2-methyl-6-methylene-7-octen-4-ol	25649	014314-21-7	59
			3-Cyclohexene-1-methanol, .alpha., .alpha.,4-trimethyl-, (S)-	25843	010482-56-1	40
14	32.319	0.44	C:\Database\NIST05a.L 2,6-Octadienal, 3,7-dimethyl-, (Z)	24148	000106-26-3	87
			2,6-Octadienal, 3,7-dimethyl-	24106	005392-40-5	72
			1-Octanesulfonyl chloride	66243	007795-95-1	53
15	33.252	52.89	C:\Database\NIST05a.L 3-Cyclohexene-1-methanol, .alpha., .alpha.,4-trimethyl-, acetate	54339	000080-26-2	91
			3-Cyclohexene-1-methanol, .alpha., .alpha.,4-trimethyl-, acetate	54334	000080-26-2	91
			Bicyclo[2.2.1]hept-2-ene, 1,7,7-tr imethyl-	15321	000464-17-5	90
16	34.257	0.68	C:\Database\NIST05a.L 2,6-Octadienal, 3,7-dimethyl-, (E)	24151	000141-27-5	96
			2,6-Octadienal, 3,7-dimethyl-	24109	005392-40-5	96
			2,6-Octadienal, 3,7-dimethyl-, (E)	24141	000141-27-5	95
17	35.025	0.47	C:\Database\NIST05a.L 2,6-Octadien-1-ol, 3,7-dimethyl-, acetate, (E)-	54284	000105-87-3	91
			2,6-Octadien-1-ol, 3,7-dimethyl-, acetate	54270	016409-44-2	90
			4-Hexen-1-ol, 5-methyl-2-(1-methyl ethenyl)-, acetate	54303	025905-14-0	87
18	35.189	0.22	C:\Database\NIST05a.L (+)-4-Carene	15169	029050-33-7	90
			Bicyclo[4.1.0]hept-2-ene, 3,7,7-tr imethyl-	15317	000554-61-0	90
			Cyclohexene, 1-methyl-4-(1-methyle thylidene)-	15334	000586-62-9	87
19	35.426	0.19	C:\Database\NIST05a.L			

Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
			Naphthalene, 1,2,4a,5,6,8a-hexahydro-4,7-dimethyl-1-(1-methylethyl)-	59954	000483-75-0	98
			Naphthalene, 1,2,3,4,4a,5,6,8a-octahydro-7-methyl-4-methylene-1-(1-methylethyl)-, (1.alpha.,4a.alpha.,8a.alpha.)-	60070	030021-74-0	95
			Naphthalene, 1,2,3,4,4a,5,6,8a-octahydro-7-methyl-4-methylene-1-(1-methylethyl)-, (1.alpha.,4a.beta.,8a.alpha.)-	60057	039029-41-9	95
20	36.854	0.21	C:\Database\NIST05a.L			
			Squalene	173554	007683-64-9	59
			1,5-Heptadiene, 2,6-dimethyl-	10353	006709-39-3	59
			2,6-Octadiene, 4,5-dimethyl-	16334	018476-57-8	53
21	38.296	1.06	C:\Database\NIST05a.L			
			2,6-Octadien-1-ol, 3,7-dimethyl-	25634	000624-15-7	83
			2,6-Octadien-1-ol, 3,7-dimethyl-, formate, (E)-	44381	000105-86-2	72
			4-Hexen-1-ol, 5-methyl-2-(1-methylethenyl)-, (R)-	25769	000498-16-8	59
22	44.791	1.96	C:\Database\NIST05a.L			
			1,6,10-Dodecatrien-3-ol, 3,7,11-trimethyl-, [S-(Z)]-	72953	000142-50-7	90
			1,6,10-Dodecatrien-3-ol, 3,7,11-trimethyl-, (E)-	72942	040716-66-3	90
			Nerolidol 2	72901	1000285-43-6	90
23	51.874	0.30	C:\Database\NIST05a.L			
			2,6,10-Dodecatrienal, 3,7,11-trimethyl-, (E,E)-	71405	000502-67-0	93
			2,6,10-Dodecatrienal, 3,7,11-trimethyl-	71392	019317-11-4	86
			2,6,10-Dodecatrienal, 3,7,11-trimethyl-, (E,E)-	71403	000502-67-0	83
24	51.960	0.25	C:\Database\NIST05a.L			
			Acetic acid, 1-methyl-1-(4-methyl-5-oxo-cyclohex-3-enyl)ethyl ester	64149	086421-35-4	87
			Benzofuran, 4,5,6,7-tetrahydro-3,6-dimethyl-	22876	000494-90-6	38
			Disulfide, bis(1-methylethyl)	23217	004253-89-8	35
25	53.811	0.19	C:\Database\NIST05a.L			
			Geranic acid	34553	000459-80-3	87
			Neric acid	34552	004613-38-1	72
			2-Butenoic acid, methyl ester, (E)	3665	000623-43-8	64
26	54.425	0.28	C:\Database\NIST05a.L			
			2,6,10-Dodecatrien-1-ol, 3,7,11-trimethyl-, (E,E)-	72946	000106-28-5	86
			2,6,10-Dodecatrien-1-ol, 3,7,11-trimethyl-	72934	004602-84-0	83
			Squalene	173555	007683-64-9	78

Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
27	58.442	0.27	C:\Database\NIST05a.L			
			Pentacosane	153747	000629-99-2	78
			1-Iodo-2-methylundecane	121771	073105-67-6	64
			Pentadecane, 8-hexyl-	122443	013475-75-7	64
28	59.338	0.35	C:\Database\NIST05a.L			
			6-Octadecenoic acid, (Z)-	113359	000593-39-5	99
			9-Octadecenoic acid, (E)-	113363	000112-79-8	99
			9-Octadecenoic acid, (E)-	113360	000112-79-8	98
29	59.420	0.22	C:\Database\NIST05a.L			
			9-Octadecenoic acid, (E)-	113363	000112-79-8	93
			9-Octadecenoic acid, (E)-	113360	000112-79-8	93
			Oleic Acid	113353	000112-80-1	70
30	64.310	0.56	C:\Database\NIST05a.L			
			9,12-Octadecadienoic acid (Z,Z)-	111992	000060-33-3	98
			9,17-Octadecadienal, (Z)-	101505	056554-35-9	90
			9,12-Octadecadienoic acid (Z,Z)-	111993	000060-33-3	83
31	65.683	0.50	C:\Database\NIST05a.L			
			1H-1-Silaindene, 2,3-dihydro-1-methyl-1-propyl-	49910	061141-64-8	35
			Indane, 2-methoxy-1-(2-methylallyl	58479	1000196-88-9	30
			1-Pentamethyldisilyloxyhexadecane	162217	1000216-95-1	27
32	72.147	2.16	C:\Database\NIST05a.L			
			n-Hexadecanoic acid	96234	000057-10-3	98
			n-Hexadecanoic acid	96235	000057-10-3	98
			n-Hexadecanoic acid	96233	000057-10-3	95

**Análisis de cromatografía gaseosaespectrometría de masas, maceración
dinámica utilizando cardamomo de tercera calidad**

Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
1	6.187	3.36	C:\Database\NIST05a.L Ethyl alcohol Ethyl alcohol Ethyl alcohol	95 94 93	000064-17-5	91 91 91
2	13.770	9.01	C:\Database\NIST05a.L Eucalyptol Eucalyptol Eucalyptol	25509 25507 25508	000470-82-6	99 97 96
3	23.790	0.80	C:\Database\NIST05a.L cis-.beta.-Terpineol Terpineol, cis-.beta.- Bicyclo[3.1.0]hexan-2-ol, 2-methyl -5-(1-methylethyl)-, (1.alpha.,2.b eta.,5.alpha.)-	25549 25561 25874	007299-40-3 007299-41-4 015537-55-0	97 97 46
4	23.904	0.56	C:\Database\NIST05a.L 1S-.alpha.-Pinene Bicyclo[2.2.1]hept-2-ene, 2,7,7-tr imethyl- (+)-4-Carene	15185 15315 15169	007785-26-4 000514-14-7 029050-33-7	87 87 80
5	26.979	5.27	C:\Database\NIST05a.L 1,6-Octadien-3-ol, 3,7-dimethyl- 1,6-Octadien-3-ol, 3,7-dimethyl- 1,6-Octadien-3-ol, 3,7-dimethyl-, acetate	25636 25643 54271	000078-70-6 000078-70-6 000115-95-7	86 64 53
6	27.211	0.48	C:\Database\NIST05a.L Terpineol, cis-.beta.- cis-.beta.-Terpineol 2-Cyclohexen-1-ol, 1-methyl-4-(1-m ethylethyl)-, cis-	25561 25549 25783	007299-41-4 007299-40-3 029803-82-5	97 91 90
7	27.443	8.07	C:\Database\NIST05a.L 1,6-Octadien-3-ol, 3,7-dimethyl-, 2-aminobenzoate 1,5-Dimethyl-1-vinyl-4-hexenyl but yrate 1,3,6-Octatriene, 3,7-dimethyl-, (Z)-	107591 74331 15283	007149-26-0 000078-36-4 003338-55-4	91 90 87
8	29.349	1.12	C:\Database\NIST05a.L 3-Cyclohexen-1-ol, 4-methyl-1-(1-m ethylethyl)-, (R)- 3-Cyclohexen-1-ol, 4-methyl-1-(1-m ethylethyl)- 3-Cyclohexen-1-ol, 4-methyl-1-(1-m ethylethyl)-	25781 25752 25745	020126-76-5 000562-74-3 000562-74-3	95 95 95
9	32.305	0.59	C:\Database\NIST05a.L 2,6-Octadienal, 3,7-dimethyl-, (Z) 2,6-Octadienal, 3,7-dimethyl- 2,6-Octadienal, 3,7-dimethyl-, (Z)	24148 24106 24150	000106-26-3 005392-40-5 000106-26-3	95 72 59
10	33.251	60.85	C:\Database\NIST05a.L			

Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
			3-Cyclohexene-1-methanol, .alpha., .alpha., 4-trimethyl-, acetate	54334	000080-26-2	91
			(+)-4-Carene	15169	029050-33-7	90
			Cyclohexene, 1-methyl-4-(1-methyl-2-thylidene)-	15334	000586-62-9	90
11	34.211	0.93	C:\Database\NIST05a.L			
			2,6-Octadienal, 3,7-dimethyl-	24109	005392-40-5	96
			2,6-Octadienal, 3,7-dimethyl-, (E)-	24151	000141-27-5	96
			2,6-Octadienal, 3,7-dimethyl-	24102	005392-40-5	94
12	38.278	0.84	C:\Database\NIST05a.L			
			2,6-Octadien-1-ol, 3,7-dimethyl-, (E)-	25693	000106-24-1	90
			2,6-Octadien-1-ol, 3,7-dimethyl-, (E)-	25692	000106-24-1	83
			2,6-Octadien-1-ol, 3,7-dimethyl-	25634	000624-15-7	83
13	44.769	2.02	C:\Database\NIST05a.L			
			Nerolidol 2	72901	1000285-43-6	91
			1,6,10-Dodecatrien-3-ol, 3,7,11-trimethyl-, [S-(Z)]-	72953	000142-50-7	90
			1,6,10-Dodecatrien-3-ol, 3,7,11-trimethyl-, (E)-	72942	040716-66-3	90
14	51.869	0.39	C:\Database\NIST05a.L			
			2,6,10-Dodecatrienal, 3,7,11-trimethyl-	71392	019317-11-4	86
			2,6,10-Dodecatrienal, 3,7,11-trimethyl-, (E,E)-	71403	000502-67-0	83
			2,6,10-Dodecatrienal, 3,7,11-trimethyl-, (E,E)-	71404	000502-67-0	68
15	59.201	0.50	C:\Database\NIST05a.L			
			6-Octadecenoic acid, (Z)-	113359	000593-39-5	95
			Oleic Acid	113353	000112-80-1	94
			Octadec-9-enoic acid	113356	1000190-13-7	91
16	59.333	1.15	C:\Database\NIST05a.L			
			6-Octadecenoic acid, (Z)-	113359	000593-39-5	99
			9-Octadecenoic acid, (E)-	113360	000112-79-8	98
			Oleic Acid	113353	000112-80-1	97
17	64.310	1.22	C:\Database\NIST05a.L			
			9,12-Octadecadienoic acid (Z,Z)-	111992	000060-33-3	93
			9,12-Octadecadienoic acid (Z,Z)-	111993	000060-33-3	90
			Ethanol, 2-(9,12-octadecadienyloxy)-, (Z,Z)-	131097	017367-08-7	90
18	65.670	0.53	C:\Database\NIST05a.L			
			exo-Norbornanol, pentamethylsilyl ether	86366	1000245-88-7	35
			(3-Methoxyphenyl)acetonitrile	21675	019924-43-7	35
			2-Acetoxy-4-phenylhex-2-en-5-one	79847	183483-46-7	35
19	72.092	2.32	C:\Database\NIST05a.L			
			n-Hexadecanoic acid	96235	000057-10-3	99
			n-Hexadecanoic acid	96234	000057-10-3	98
			n-Hexadecanoic acid	96233	000057-10-3	96

**Análisis de cromatografía gaseosa – espectrometría de masas,
maceración estática utilizando cardamomo de primera calidad**

Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
1	6.205	4.61	C:\Database\NIST05a.L Ethyl alcohol Ethyl alcohol Ethyl alcohol	95 93 94	000064-17-5 000064-17-5 000064-17-5	91 91 49
2	13.824	12.57	C:\Database\NIST05a.L Eucalyptol Eucalyptol Eucalyptol	25509 25507 25508	000470-82-6 000470-82-6 000470-82-6	97 97 96
3	23.799	0.82	C:\Database\NIST05a.L cis-.beta.-Terpineol Terpineol, cis-.beta.- 2-Cyclohexen-1-ol, 1-methyl-4-(1-m ethylethyl)-, cis-	25549 25561 25783	007299-40-3 007299-41-4 029803-82-5	97 96 89
4	23.922	0.98	C:\Database\NIST05a.L 1S-.alpha.-Pinene Bicyclo[2.2.1]hept-2-ene, 2,7,7-tr imethyl- 1R-.alpha.-Pinene	15185 15315 15186	007785-26-4 000514-14-7 007785-70-8	91 87 81
5	26.997	5.59	C:\Database\NIST05a.L 1,6-Octadien-3-ol, 3,7-dimethyl- 1,6-Octadien-3-ol, 3,7-dimethyl- 1,6-Octadien-3-ol, 3,7-dimethyl-, acetate	25636 25643 54271	000078-70-6 000078-70-6 000115-95-7	86 64 53
6	27.220	0.48	C:\Database\NIST05a.L cis-.beta.-Terpineol Terpineol, cis-.beta.- 2-Cyclohexen-1-ol, 1-methyl-4-(1-m ethylethyl)-, cis-	25549 25561 25783	007299-40-3 007299-41-4 029803-82-5	93 91 90
7	27.470	8.21	C:\Database\NIST05a.L 1,6-Octadien-3-ol, 3,7-dimethyl-, 2-aminobenzoate 1,5-Dimethyl-1-vinyl-4-hexenyl but yrate Tricyclo[2.2.1.0(2,6)]heptane, 1,3 ,3-trimethyl-	107591 74331 15345	007149-26-0 000078-36-4 000488-97-1	91 90 83
8	29.358	0.98	C:\Database\NIST05a.L 3-Cyclohexen-1-ol, 4-methyl-1-(1-m ethylethyl)-, (R)- 3-Cyclohexen-1-ol, 4-methyl-1-(1-m ethylethyl)- 3-Cyclohexen-1-ol, 4-methyl-1-(1-m ethylethyl)-	25781 25745 25750	020126-76-5 000562-74-3 000562-74-3	95 95 95
9	32.310	0.37	C:\Database\NIST05a.L 2,6-Octadienal, 3,7-dimethyl-, (Z) 2,6-Octadienal, 3,7-dimethyl- 2,6-Octadienal, 3,7-dimethyl-, (Z)	24148 24106 24150	000106-26-3 005392-40-5 000106-26-3	87 72 53
10	33.252	58.58	C:\Database\NIST05a.L 3-Cyclohexene-1-methanol, .alpha.,	54334	000080-26-2	91

Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
			.alpha.,4-trimethyl-, acetate			
			3-Cyclohexene-1-methanol, .alpha.,	54339	000080-26-2	91
			.alpha.,4-trimethyl-, acetate			
			Cyclohexene, 1-methyl-4-(1-methyle	15334	000586-62-9	87
			thylidene)-			
11	34.220	0.61	C:\Database\NIST05a.L			
			2,6-Octadienal, 3,7-dimethyl-, (E)	24151	000141-27-5	96
			2,6-Octadienal, 3,7-dimethyl-	24109	005392-40-5	96
			2,6-Octadienal, 3,7-dimethyl-, (E)	24141	000141-27-5	95
12	35.016	0.67	C:\Database\NIST05a.L			
			2,6-Octadien-1-ol, 3,7-dimethyl-,	54284	000105-87-3	91
			acetate, (E)-			
			2,6-Octadien-1-ol, 3,7-dimethyl-,	44379	000105-86-2	90
			formate, (E)-			
			2,6-Octadien-1-ol, 3,7-dimethyl-,	54270	016409-44-2	90
			acetate			
13	38.291	1.47	C:\Database\NIST05a.L			
			2,6-Octadien-1-ol, 3,7-dimethyl-	25634	000624-15-7	87
			2,6-Octadien-1-ol, 3,7-dimethyl-,	25692	000106-24-1	83
			(E)-			
			2,6,10-Dodecatrien-1-ol, 3,7,11-tr	72944	000106-28-5	72
			imethyl-, (E,E)-			
14	44.778	1.87	C:\Database\NIST05a.L			
			1,6,10-Dodecatrien-3-ol, 3,7,11-tr	72953	000142-50-7	91
			imethyl-, [S-(Z)]-			
			1,6,10-Dodecatrien-3-ol, 3,7,11-tr	72942	040716-66-3	90
			imethyl-, (E)-			
			Nerolidol 2	72901	1000285-43-6	90
15	54.421	0.35	C:\Database\NIST05a.L			
			2,6,10-Dodecatrien-1-ol, 3,7,11-tr	72946	000106-28-5	91
			imethyl-, (E,E)-			
			2,6,10-Dodecatrien-1-ol, 3,7,11-tr	72935	004602-84-0	86
			imethyl-			
			1,6,10,14,18,22-Tetracosahexaen-3-	176609	054159-46-5	78
			ol, 2,6,10,15,19,23-hexamethyl-, (
			all-E)-			
16	65.674	0.38	C:\Database\NIST05a.L			
			2-Acetoxy-4-phenylhex-2-en-5-one	79847	183483-46-7	38
			(3-Methoxyphenyl)acetonitrile	21675	019924-43-7	35
			1-Pentamethyldisilyloxycyclopentan	68126	1000216-94-3	35
17	72.097	1.46	C:\Database\NIST05a.L			
			n-Hexadecanoic acid	96234	000057-10-3	98
			n-Hexadecanoic acid	96235	000057-10-3	98
			n-Hexadecanoic acid	96233	000057-10-3	95

**Análisis de cromatografía gaseosaespectrometría de masas, maceración
estática utilizando cardamomo de segunda calidad**

PK#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
1	6.192	3.64	C:\Database\NIST05a.L Ethyl alcohol Ethyl alcohol Ethyl alcohol	95 94 93	000064-17-5 000064-17-5 000064-17-5	91 91 91
2	13.788	10.45	C:\Database\NIST05a.L Eucalyptol Eucalyptol Eucalyptol	25507 25509 25508	000470-82-6 000470-82-6 000470-82-6	97 97 96
3	23.790	0.79	C:\Database\NIST05a.L cis-.beta.-Terpineol Terpineol, cis-.beta.- Bicyclo[3.1.0]hexan-2-ol, 2-methyl -5-(1-methylethyl)-, (1.alpha.,2.b eta.,5.alpha.)-	25549 25561 25874	007299-40-3 007299-41-4 015537-55-0	97 96 53
4	23.909	0.70	C:\Database\NIST05a.L Tricyclo[2.2.1.0(2,6)]heptane, 1,7 ,7-trimethyl- 3-Carene 4-Carene, (1S,3R,6R)-(-)-	15352 15156 15215	000508-32-7 013466-78-9 005208-49-1	87 87 83
5	26.979	5.29	C:\Database\NIST05a.L 1,6-Octadien-3-ol, 3,7-dimethyl- 1,6-Octadien-3-ol, 3,7-dimethyl- 1,6-Octadien-3-ol, 3,7-dimethyl-, 2-aminobenzoate	25636 25643 107591	000078-70-6 000078-70-6 007149-26-0	70 64 58
6	27.215	0.46	C:\Database\NIST05a.L Terpineol, cis-.beta.- cis-.beta.-Terpineol 2-Cyclohexen-1-ol, 1-methyl-4-(1-m ethylethyl)-, cis-	25561 25549 25783	007299-41-4 007299-40-3 029803-82-5	94 93 86
7	27.447	8.07	C:\Database\NIST05a.L 1,6-Octadien-3-ol, 3,7-dimethyl-, 2-aminobenzoate 1,5-Dimethyl-1-vinyl-4-hexenyl but yrate 1,3,6-Octatriene, 3,7-dimethyl-, (Z)-	107591 74331 15283	007149-26-0 000078-36-4 003338-55-4	90 90 87
8	29.353	1.05	C:\Database\NIST05a.L 3-Cyclohexen-1-ol, 4-methyl-1-(1-m ethylethyl)-, (R)- 3-Cyclohexen-1-ol, 4-methyl-1-(1-m ethylethyl)- 3-Cyclohexen-1-ol, 4-methyl-1-(1-m ethylethyl)-, (R)-	25781 25752 25784	020126-76-5 000562-74-3 020126-76-5	95 94 94
9	32.305	0.48	C:\Database\NIST05a.L 2,6-Octadienal, 3,7-dimethyl-, (Z) 2,6-Octadienal, 3,7-dimethyl- 2,6-Octadienal, 3,7-dimethyl-, (Z)	24148 24106 24150	000106-26-3 005392-40-5 000106-26-3	95 72 53
10	33.251	59.77	C:\Database\NIST05a.L			

PK#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
			3-Cyclohexene-1-methanol, .alpha., .alpha.,4-trimethyl-, acetate	54334	000080-26-2	91
			3-Cyclohexene-1-methanol, .alpha., .alpha.,4-trimethyl-, acetate	54339	000080-26-2	91
			Cyclohexene, 1-methyl-4-(1-methylthylidene)-	15334	000586-62-9	87
11	34.207	0.78	C:\Database\NIST05a.L 2,6-Octadienal, 3,7-dimethyl-, (E)	24151	000141-27-5	96
			2,6-Octadienal, 3,7-dimethyl-	24109	005392-40-5	96
			2,6-Octadienal, 3,7-dimethyl-, (E)	24141	000141-27-5	95
12	35.003	0.44	C:\Database\NIST05a.L 2,6-Octadien-1-ol, 3,7-dimethyl-, acetate, (E)-	54284	000105-87-3	91
			2,6-Octadien-1-ol, 3,7-dimethyl-, acetate	54270	016409-44-2	90
			2,6-Octadien-1-ol, 3,7-dimethyl-, formate, (E)-	44379	000105-86-2	90
13	38.278	1.08	C:\Database\NIST05a.L 2,6-Octadien-1-ol, 3,7-dimethyl-, (E)-	25693	000106-24-1	90
			2,6-Octadien-1-ol, 3,7-dimethyl-, (E)-	25692	000106-24-1	83
			2,6-Octadien-1-ol, 3,7-dimethyl-	25634	000624-15-7	78
14	44.764	1.90	C:\Database\NIST05a.L 1,6,10-Dodecatrien-3-ol, 3,7,11-trimethyl-, [S-(Z)]-	72953	000142-50-7	91
			1,6,10-Dodecatrien-3-ol, 3,7,11-trimethyl-, (E)-	72942	040716-66-3	90
			1,6,10-Dodecatrien-3-ol, 3,7,11-trimethyl-	72930	007212-44-4	90
15	59.215	0.44	C:\Database\NIST05a.L 9-Octadecenoic acid, (E)- Oleic Acid	113360	000112-79-8	97
			Octadec-9-enoic acid	113353	000112-80-1	94
				113356	1000190-13-7	91
16	59.356	0.83	C:\Database\NIST05a.L 6-Octadecenoic acid, (Z)- Oleic Acid	113359	000593-39-5	99
			9-Octadecenoic acid, (E)-	113353	000112-80-1	97
				113360	000112-79-8	95
17	59.420	0.45	C:\Database\NIST05a.L 9-Octadecenoic acid, (E)- 6-Octadecenoic acid, (Z)- Octadec-9-enoic acid	113363	000112-79-8	99
				113359	000593-39-5	99
				113356	1000190-13-7	98
18	64.314	1.12	C:\Database\NIST05a.L 9,12-Octadecadienoic acid (Z,Z)- cis-7-Dodecen-1-yl acetate	111992	000060-33-3	93
			9,12-Octadecadienoic acid (Z,Z)-	75866	014959-86-5	90
				111993	000060-33-3	90
19	65.670	0.49	C:\Database\NIST05a.L exo-Norbornanol, pentamethylsilyl ether 1-Pentamethylsilyloxydecane	86366	1000245-88-7	43
			1H-1-Silaindene, 2,3-dihydro-1-methyl-1-propyl-	117065	1000216-85-1	35
				49910	061141-64-8	32
20	72.088	1.78	C:\Database\NIST05a.L n-Hexadecanoic acid n-Hexadecanoic acid Tridecanoic acid	96235	000057-10-3	98
				96234	000057-10-3	98
				67133	000638-53-9	76

**Análisis de cromatografía gaseosa – espectrometría de masas,
maceración estática utilizando cardamomo de tercera calidad**

Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
1	6.192	2.95	C:\Database\NIST05a.L Ethyl alcohol Ethyl alcohol Ethyl alcohol	95 94 93	000064-17-5	91 91 91
2	13.847	18.05	C:\Database\NIST05a.L Eucalyptol Eucalyptol Eucalyptol	25509 25507 25508	000470-82-6	97 97 96
3	23.799	0.83	C:\Database\NIST05a.L cis-.beta.-Terpineol Terpineol, cis-.beta.- cis-.beta.-Terpineol	25549 25561 25554	007299-40-3	97 96 50
4	23.918	0.71	C:\Database\NIST05a.L Bicyclo[2.2.1]hept-2-ene, 2,7,7-tr imethyl- 1S-.alpha.-Pinene 1R-.alpha.-Pinene	15315 15185 15186	000514-14-7 007785-26-4 007785-70-8	87 87 74
5	26.988	5.27	C:\Database\NIST05a.L 1,6-Octadien-3-ol, 3,7-dimethyl- 1,6-Octadien-3-ol, 3,7-dimethyl- 1,6-Octadien-3-ol, 3,7-dimethyl-, acetate	25636 25643 54271	000078-70-6 000078-70-6 000115-95-7	86 64 53
6	27.220	0.48	C:\Database\NIST05a.L Terpineol, cis-.beta.- cis-.beta.-Terpineol 2-Cyclohexen-1-ol, 1-methyl-4-(1-m ethylethyl)-, cis-	25561 25549 25783	007299-41-4 007299-40-3 029803-82-5	97 91 89
7	27.452	7.73	C:\Database\NIST05a.L 1,6-Octadien-3-ol, 3,7-dimethyl-, 2-aminobenzoate Malonic acid, methyl ester 3,7-dim ethyl-1,6-octadien-3-yl ester 1,3,6-Octatriene, 3,7-dimethyl-, (Z)-	107591 94508 15283	007149-26-0 1000196-49-1 003338-55-4	91 80 78
8	29.358	1.09	C:\Database\NIST05a.L 3-Cyclohexen-1-ol, 4-methyl-1-(1-m ethylethyl)-, (R)- 3-Cyclohexen-1-ol, 4-methyl-1-(1-m ethylethyl)- 3-Cyclohexen-1-ol, 4-methyl-1-(1-m ethylethyl)-, (R)-	25781 25752 25784	020126-76-5 000562-74-3 020126-76-5	95 94 94
9	32.310	0.48	C:\Database\NIST05a.L 2,6-Octadienal, 3,7-dimethyl-, (Z) 2,6-Octadienal, 3,7-dimethyl- 2-Octene, 2-methyl-6-methylene-	24148 24106 16350	000106-26-3 005392-40-5 010054-09-8	87 72 43
10	33.251	54.71	C:\Database\NIST05a.L 3-Cyclohexene-1-methanol, .alpha., .alpha.,4-trimethyl-, acetate	54339	000080-26-2	91

Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
			3-Cyclohexene-1-methanol, .alpha., .alpha.,4-trimethyl-, acetate	54334	000080-26-2	91
			Cyclohexene, 1-methyl-4-(1-methyle thylidene)-	15334	000586-62-9	87
11	34.211	0.75	C:\Database\NIST05a.L			
			2,6-Octadienal, 3,7-dimethyl-	24109	005392-40-5	96
			2,6-Octadienal, 3,7-dimethyl-, (E)	24151	000141-27-5	96
			2,6-Octadienal, 3,7-dimethyl-, (E)	24141	000141-27-5	95
12	38.278	0.55	C:\Database\NIST05a.L			
			2,6-Octadien-1-ol, 3,7-dimethyl-, (E)-	25693	000106-24-1	87
			2,6-Octadien-1-ol, 3,7-dimethyl-	25634	000624-15-7	64
			2,6-Octadien-1-ol, 3,7-dimethyl-, formate, (E)-	44379	000105-86-2	59
13	44.773	1.70	C:\Database\NIST05a.L			
			Nerolidol 2	72901	1000285-43-6	91
			1,6,10-Dodecatrien-3-ol, 3,7,11-tr imethyl-, [S-(Z)]-	72953	000142-50-7	91
			1,6,10-Dodecatrien-3-ol, 3,7,11-tr imethyl-, (E)-	72942	040716-66-3	90
14	59.329	0.60	C:\Database\NIST05a.L			
			6-Octadecenoic acid, (Z)-	113359	000593-39-5	99
			9-Octadecenoic acid, (E)-	113360	000112-79-8	99
			9-Octadecenoic acid, (E)-	113363	000112-79-8	94
15	59.415	0.35	C:\Database\NIST05a.L			
			6-Octadecenoic acid, (Z)-	113359	000593-39-5	97
			9-Octadecenoic acid, (E)-	113360	000112-79-8	95
			14-Pentadecenoic acid	85330	017351-34-7	95
16	64.314	0.86	C:\Database\NIST05a.L			
			9-Octadecyne	92238	035365-59-4	91
			5-Octadecyne	92237	071899-42-8	90
			9,12-Octadecadienoic acid (Z,Z)-	111992	000060-33-3	83
17	65.679	0.43	C:\Database\NIST05a.L			
			Indane, 2-methoxy-1-(2-methylallyl exo-Norbornanol, pentamethyldisily l ether	58479	1000196-88-9	30
			1H-1-Silaindene, 2,3-dihydro-1-met hyl-1-propyl-	86366	1000245-88-7	27
				49910	061141-64-8	27
18	72.120	2.48	C:\Database\NIST05a.L			
			n-Hexadecanoic acid	96234	000057-10-3	98
			n-Hexadecanoic acid	96235	000057-10-3	98
			Pentadecanoic acid	86746	001002-84-2	83

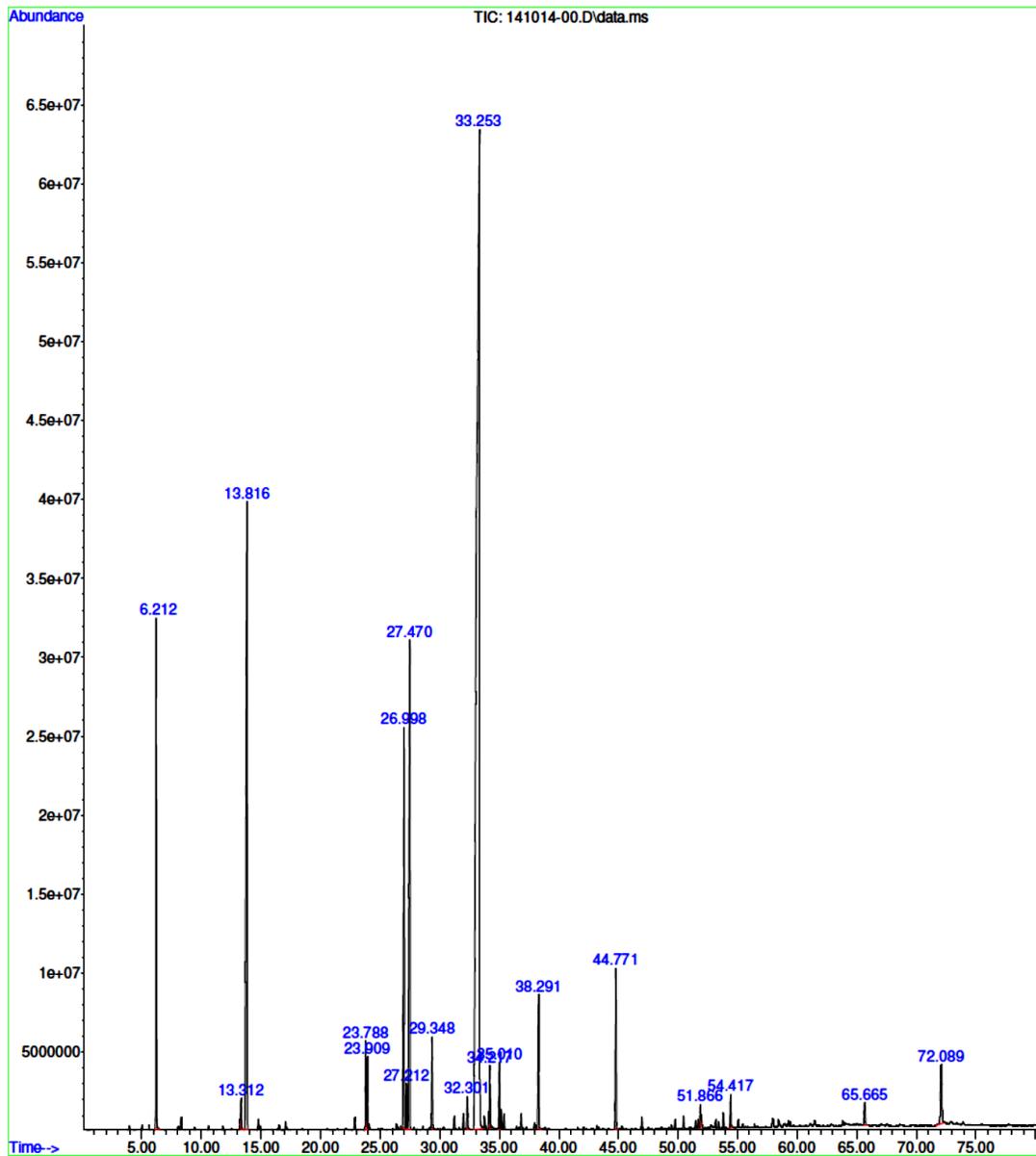
**Análisis de cromatografía gaseosaespectrometría de masas, alcohol
etílico recuperado**

Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
1	6.342	94.75	C:\Database\NIST05a.L			
			Ethyl alcohol	93	000064-17-5	72
			Ethyl alcohol	95	000064-17-5	52
			Hydrazine, methyl-	102	000060-34-4	50
2	8.457	3.53	C:\Database\NIST05a.L			
			Ammonia	6	007664-41-7	2
			Water	7	007732-18-5	2
3	10.581	0.25	C:\Database\NIST05a.L			
			.beta.-Phellandrene	15198	000555-10-2	91
			Bicyclo[3.1.0]hexane, 4-methylene-	15378	003387-41-5	91
			1-(1-methylethyl)- .beta.-Phellandrene	15200	000555-10-2	91
4	11.795	0.12	C:\Database\NIST05a.L			
			.beta.-Myrcene	15179	000123-35-3	90
			Bicyclo[3.1.0]hexane, 4-methylene-	15378	003387-41-5	64
			1-(1-methylethyl)- Pyridine, 2-propyl-	9271	000622-39-9	59
5	13.201	0.13	C:\Database\NIST05a.L			
			D-Limonene	15162	005989-27-5	95
			D-Limonene	15165	005989-27-5	93
			Limonene	15154	000138-86-3	91
6	13.697	1.22	C:\Database\NIST05a.L			
			Eucalyptol	25509	000470-82-6	99
			Eucalyptol	25508	000470-82-6	98
			Eucalyptol	25507	000470-82-6	97

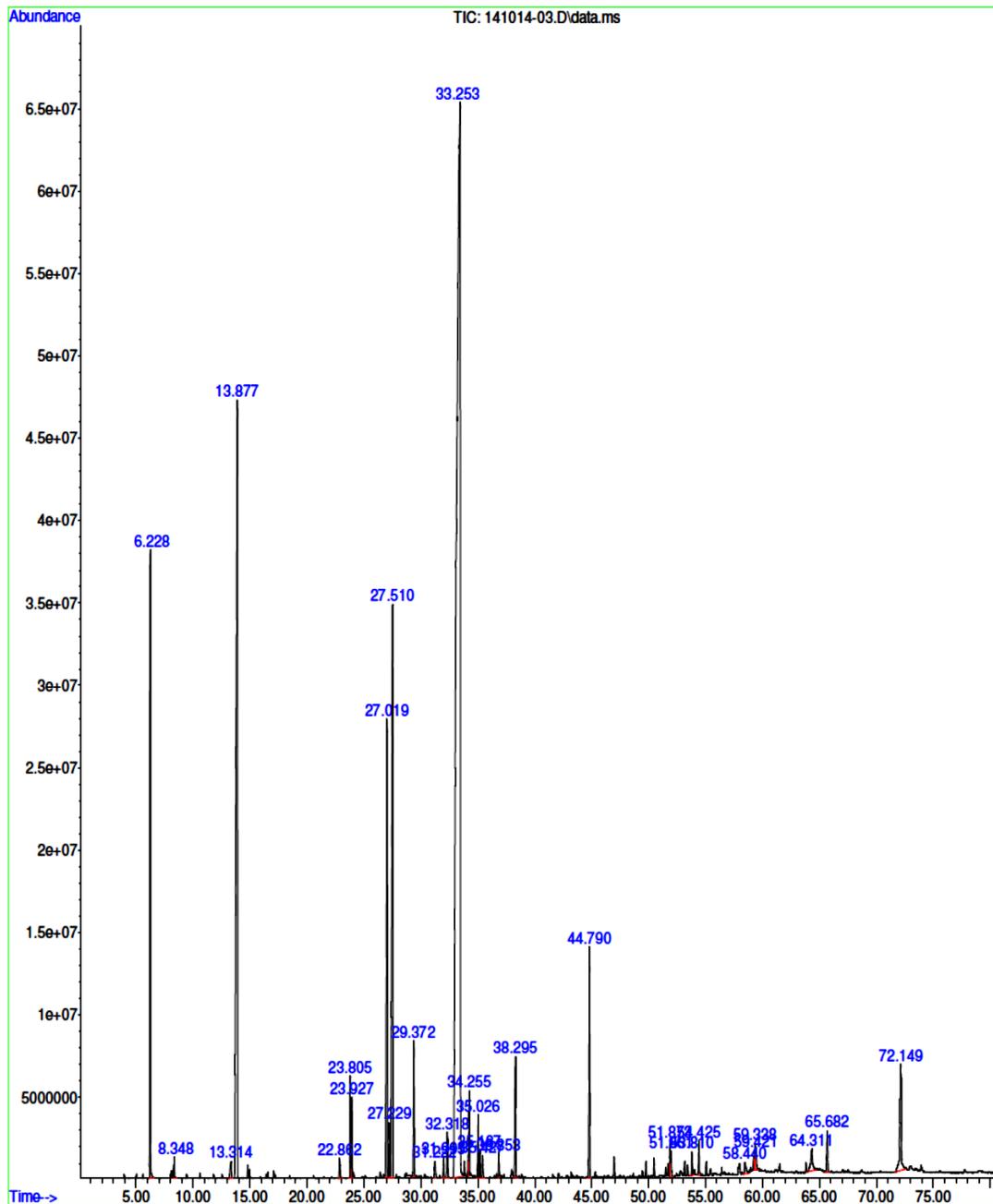
Fuente: datos experimentales obtenidos en el Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, Centro de Bioquímica/Departamento de química, Instituto de Investigaciones, Universidad del Valle de Guatemala.

Anexo B. **Gráficas de resultados de cromatografía gaseosa acoplada a espectrometría de masas**

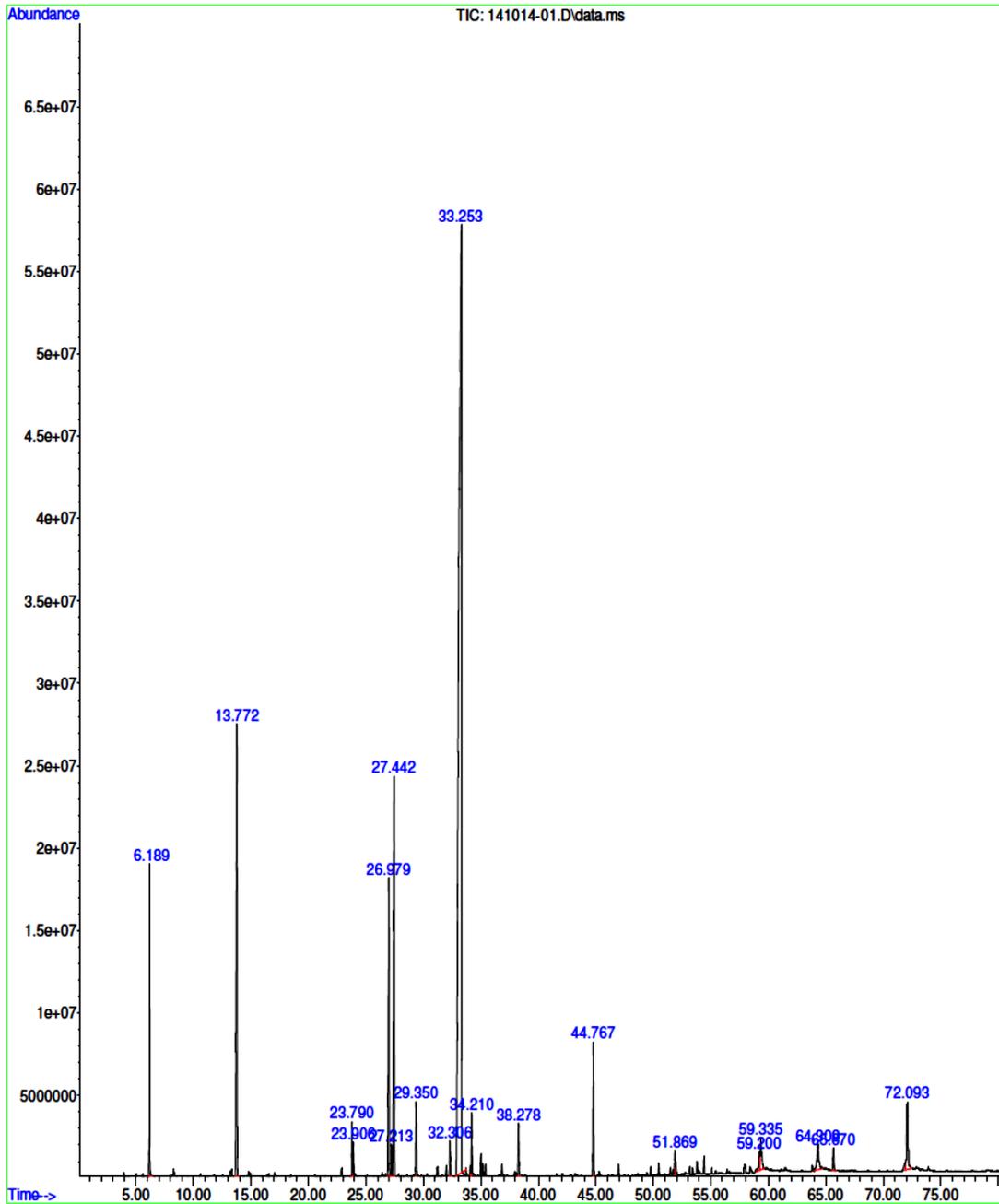
Cromatografía gaseosaespectrometría de masas, maceración dinámica utilizando cardamomo de primera calidad



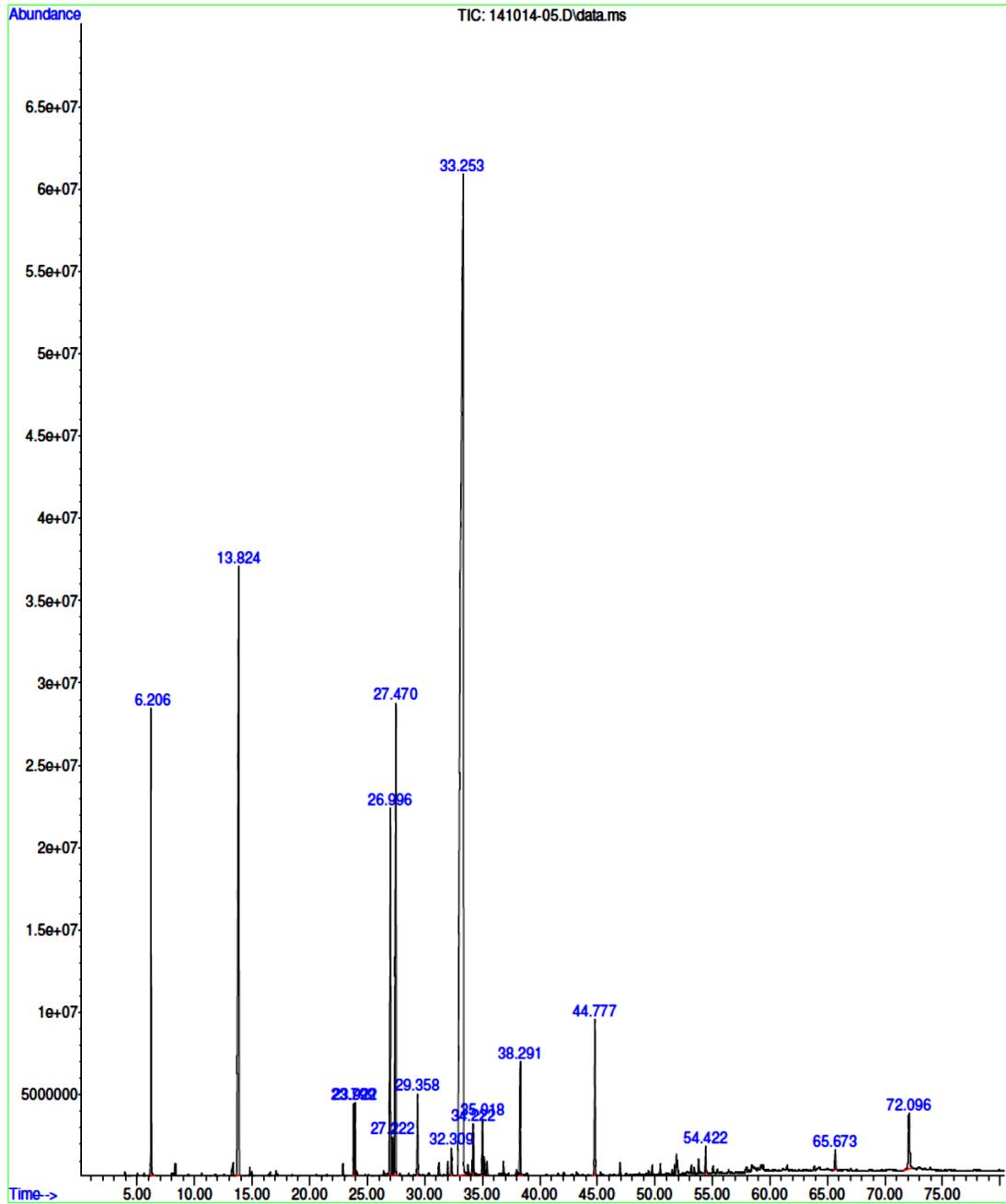
Cromatografía gaseosaespectrometría de masas, maceración dinámica utilizando cardamomo de segunda calidad



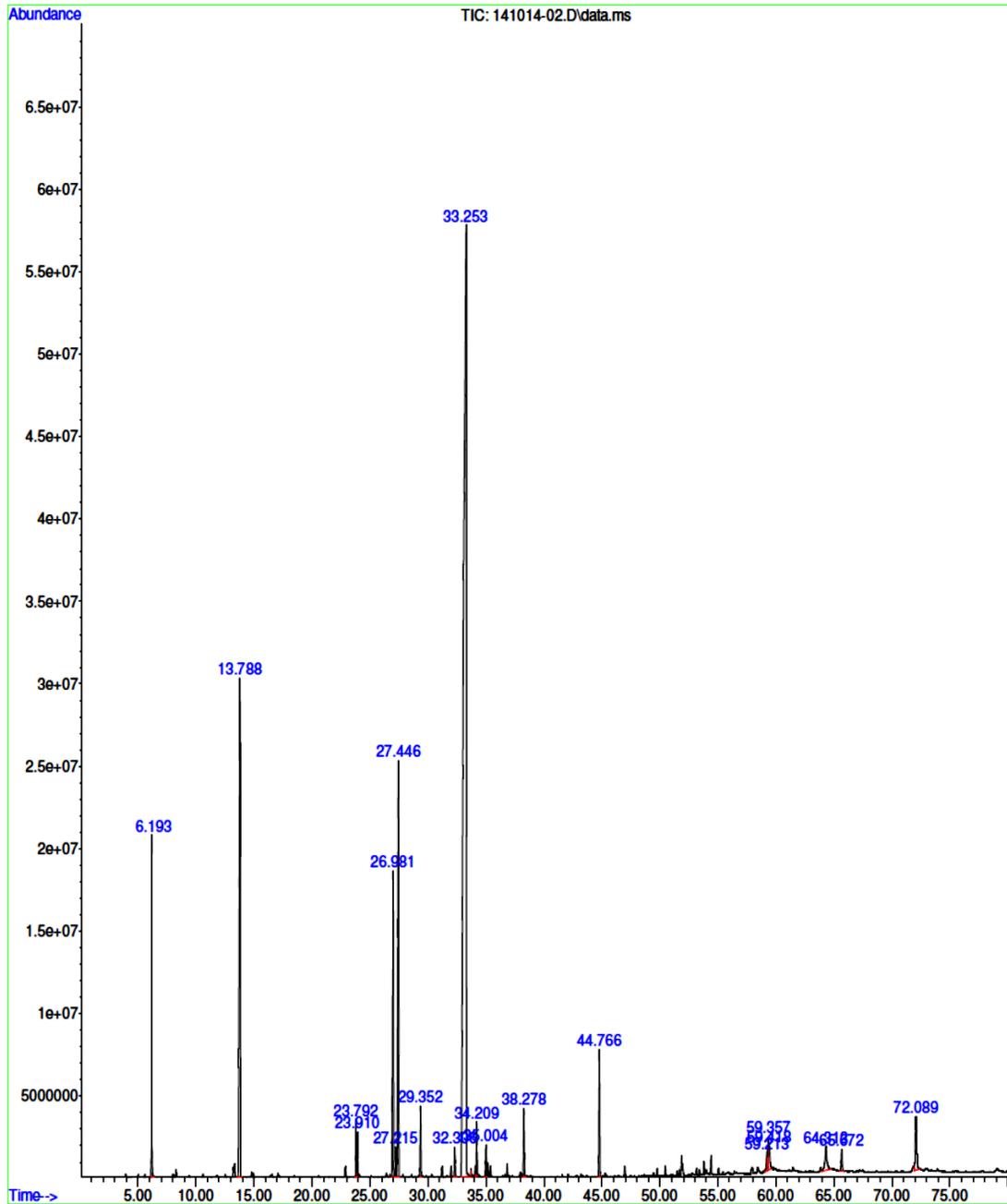
**Cromatografía gaseosaespectrometría de masas, maceración dinámica
utilizando cardamomo de tercera calidad**



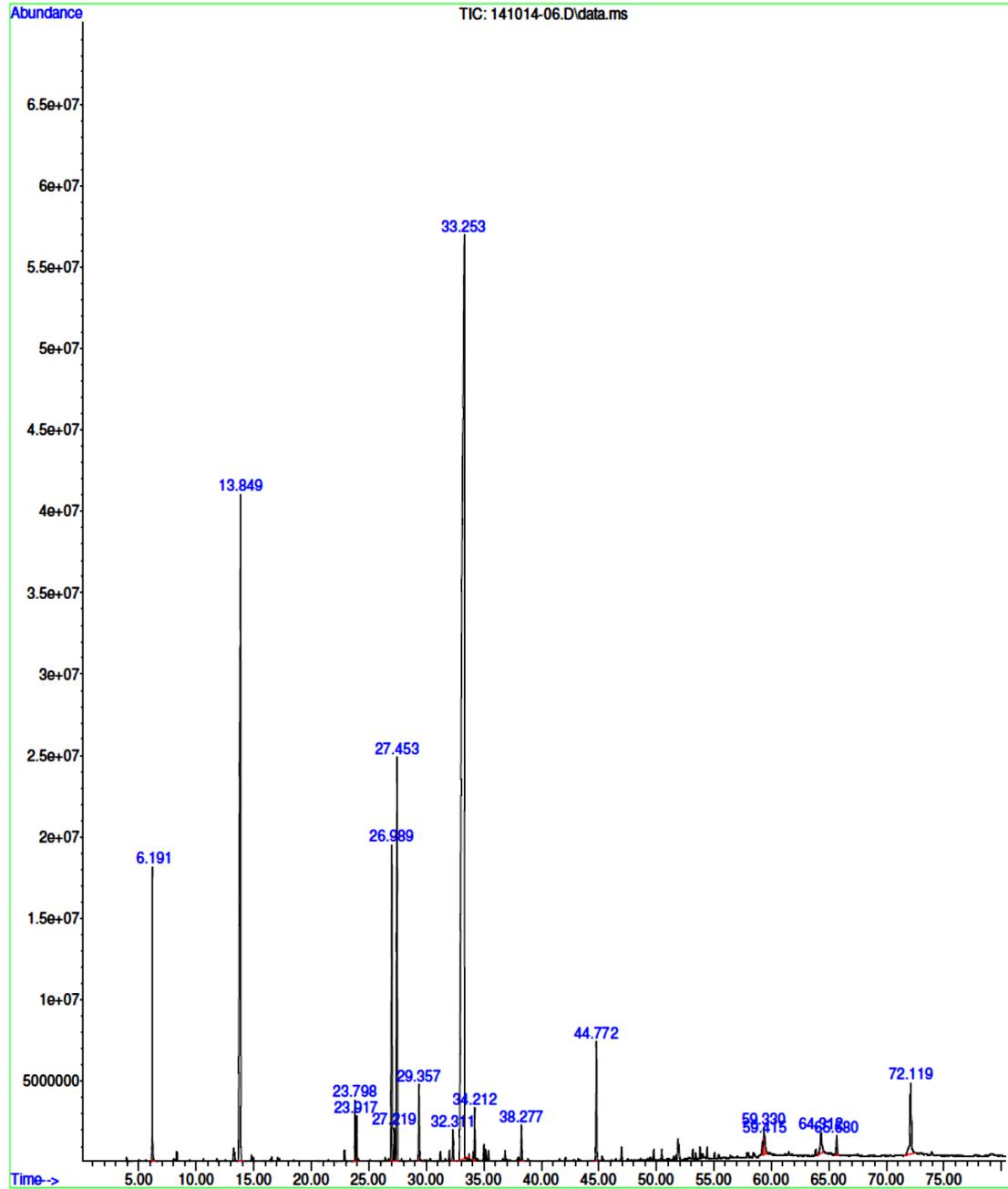
**Cromatografía gaseosaespectrometría de masas, maceración estática
utilizando cardamomo de primera calidad**



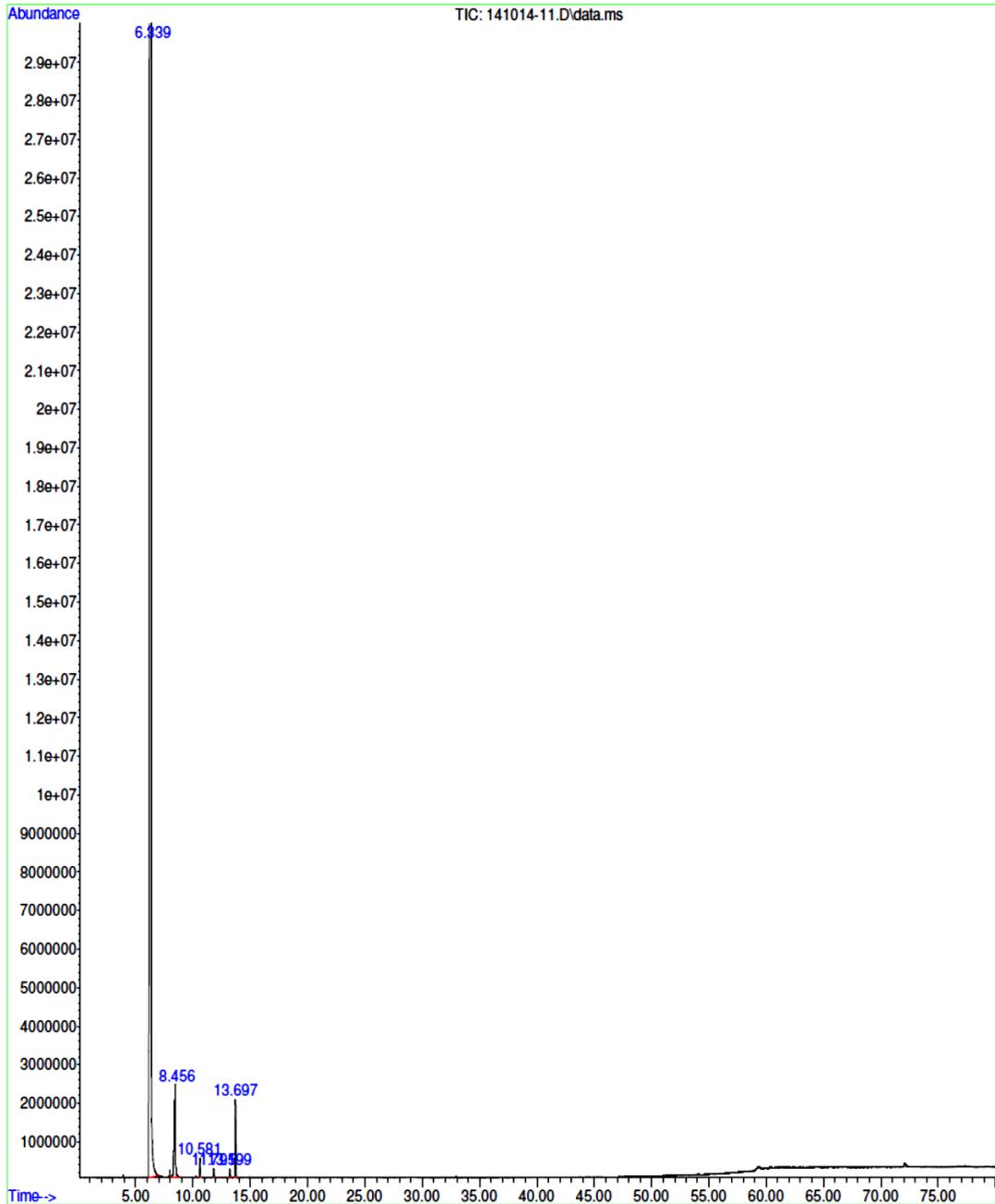
Cromatografía gaseosaespectrometría de masas, maceración estática utilizando cardamomo de segunda calidad



**Cromatografía gaseosaespectrometría de masas, maceración estática
utilizando cardamomo de tercera calidad**



Cromatografía gaseosaespectrometría de masas, alcohol etílico recuperado



Fuente: datos experimentales obtenidos en el Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, Centro de Bioquímica/Departamento de química, Instituto de Investigaciones, Universidad del Valle de Guatemala.

Anexo C. COGUANOR NGO-34-152

	CARDAMOMO Especificaciones	COGUANOR NGO 34 152	
COMISION GUATEMALTECA DE NORMAS (COGUANOR), MINISTERIO DE ECONOMIA, GUATEMALA, C.A.	<p>1. OBJETO</p>		
	<p>Esta norma tiene por objeto establecer las características y las calidades del cardamomo en forma de cápsulas enteras, limpias y secas o en forma de semillas.</p>		
	<p>NOTA. En el anexo de la presente norma se da información respecto al subproducto cáscaras de cardamomo, ya que dicho subproducto tiene un valor comercial.</p>		
	<p>2. NORMAS COGUANOR A CONSULTAR</p>		
	<p>COGUANOR NGO 4 010 1a. Revisión</p>	<p>Sistema Internacional de Unidades (SI)</p>	
	<p>COGUANOR NGO 34 039</p>	<p>Etiquetado de productos alimenticios para consumo humano</p>	
	<p>COGUANOR NGO 34 153 h1</p>	<p>Espicias y condimentos. Toma de muestras y métodos de ensayo.</p>	
	<p>COGUANOR NGO 34 153 h2</p>	<p>Espicias y condimentos. Determinación del contenido de humedad.</p>	
	<p>COGUANOR NGO 34 153 h3</p>	<p>Espicias y condimentos. Cardamomo. Determinación del color</p>	
	<p>3. DEFINICIONES</p>		
<p>3.1 <u>Cápsula entera de cardamomo.</u> Es cada uno de los frutos maduros indehiscentes de la planta <i>Elettaria cardamomo</i> (L), de forma oblonga aunque algunas cápsulas se presentan con forma globular, sección transversal aproximadamente triangular y apariencia externa estriada longitudinalmente. Cada cápsula posee 3 celdas longitudinales y en cada una de ellas lleva dos series de semillas; cada semilla es de color castaño oscuro, en forma de tetraedro irregular, aronática y de sabor picante característico.</p>			
<p>4. TERMINOLOGÍA</p>			
<p>4.1 <u>Cápsulas super grandes.</u> Es el producto constituido en un 90% en masa, como mínimo, de cápsulas enteras de cardamomo las cuales tienen:</p>			
<p>a) una longitud igual o mayor de 18.0 mm, o bien</p>			
<p>b) que siendo menores de 18.0 mm en longitud, sean retenidas en una criba cuyas aberturas circulares tienen un diámetro de 8.0 mm</p>			
<p>El 10% en masa como máximo del producto clasificado como super grande podrá estar constituido por cápsulas enteras de cardamomo de tamaño diferente.</p>			
<p>4.2 <u>Cápsulas extra grandes.</u> Es el producto constituido en un 90% en masa, como mínimo, de cápsulas enteras de cardamomo las cuales tienen:</p>			
<p>a) una longitud comprendida entre 15.0 y 17.9 mm, o bien</p>			
<p>b) que siendo menores de 15.0 mm en longitud, sean retenidas en una criba cuyas aberturas circulares tengan un diámetro de 7.0 mm pero que pasen a través de de una criba con aberturas circulares de 8.0 mm de diámetro.</p>			
<p>Continúa</p>			
<p>Publicada en el Diario Oficial de fecha 25 de enero de 1985</p>			

El 10% en masa como máximo del producto clasificado como extra grande podrá estar constituido por cápsulas enteras de cardamomo de tamaño diferente.

4.3 Cápsulas grandes. Es el producto constituido en un 90% en masa, como mínimo, de cápsulas enteras de cardamomo las cuales tienen:

- a) una longitud comprendida entre 13.0 y 14.9 mm, o bien
- b) que siendo menores de 13.0 mm en longitud, sean retenidas en una criba cuyas aberturas circulares tengan un diámetro de 6.5 mm pero que pasen a través de una criba con aberturas circulares de 7.0 mm de diámetro

El 10% en masa como máximo del producto clasificado como grande podrá estar constituido por cápsulas enteras de cardamomo de tamaño diferente.

4.4 Cápsulas medianas. Es el producto constituido en un 90% en masa como mínimo, de cápsulas enteras de cardamomo las cuales tienen:

- a) una longitud comprendida entre 11.0 y 12.9 mm, o bien
- b) que siendo menores de 11.0 en longitud, sean retenidas en una criba cuyas aberturas circulares tengan un diámetro de 6.0 mm pero que pasen a través de una criba con aberturas circulares de 6.5 mm de diámetro

El 10% en masa como máximo del producto clasificado como mediano podrá estar constituido por cápsulas enteras de cardamomo de tamaño diferente.

4.5 Cápsulas pequeñas. Es el producto constituido en un 90% en masa, como mínimo de cápsulas enteras de cardamomo las cuales tienen:

- a) una longitud comprendida entre 9.0 y 10.9 mm, o bien
- b) que siendo menores de 9.0 mm en longitud, sean retenidas en una criba cuyas aberturas circulares tengan un diámetro de 5.5 mm pero que pasen a través de una criba con aberturas circulares de 6.0 mm de diámetro

El 10% en masa como máximo del producto clasificado como pequeño podrá estar constituido por cápsulas enteras de cardamomo de tamaño diferente.

4.6 Cápsulas baby. Es el producto constituido en un 90% en masa, como mínimo, de cápsulas enteras de cardamomo las cuales tienen una longitud menor de 8.9 mm y pasan a través de una criba cuyas aberturas circulares tienen un diámetro de 5.5 mm; el 10% en masa como máximo del producto clasificado como baby podrá estar constituido por cápsulas enteras de cardamomo de tamaño diferente.

4.7 Cápsulas de diferentes tamaños. Es el producto constituido por la mezcla de dos o más tamaños de cápsulas y en el cual el tamaño que se encuentra en mayor proporción es inferior al 90% en masa.

4.8 Cápsulas mal formadas y/o dañadas. Son las cápsulas que no poseen las características descritas en los numerales 3.1 y 6.1 y/o que tienen un número muy reducido de semillas.

4.9 Cápsulas vanas, inmaduras o marchitas. Son las cápsulas que no han alcanzado un estado apropiado de madurez o de desarrollo.

4.10 Cápsulas negras. Son las cápsulas cuyo color va de negruzco a negro.

4.11 Cápsulas café. Son las cápsulas que presentan un color castaño en cualesquiera de sus tonalidades.

Continúa

4.12 Cápsulas abiertas. Son las cápsulas que se encuentran con una abertura, no importando la dimensión de la misma.

4.13 Cápsulas vacías o cáscaras. Son las cápsulas que no contienen ninguna semilla.

4.14 Semillas oro. Son las semillas sanas, de olor y color característico, que no presentan mal formación o quebraduras y son más densas que el agua.

4.15 Semillas vanas. Son las semillas inmaduras, de color que va del canela claro al marrón y son menos densas que el agua.

4.16 Semillas quebradas. Son las semillas que se han fracturado durante el proceso seguido para obtener la semilla oro limpia.

4.17 Materias extrañas. Son todas las materias diferentes de las cápsulas o semillas de cardamomo, incluyendo porciones de caliz y trozos de tallo.

5. CLASIFICACION Y DESIGNACION

5.1 Clasificación

5.1.1 Clasificación de las cápsulas de cardamomo. Las cápsulas limpias y secas de cardamomo se clasificarán de acuerdo a su estado, su color y su tamaño o masa en la forma siguiente:

5.1.1.1 Por su estado en los siguientes tipos:

- a) Tipo 1: Cápsulas enteras
- b) Tipo 2: Cápsulas abiertas

5.1.1.2 Por su color, tanto las cápsulas enteras como las cápsulas abiertas, se clasificarán en las calidades siguientes:

- a) Calidad primeras: Cápsulas verdes
- b) Calidad segundas: Cápsulas verde pálido
- c) Calidad terceras: Cápsulas verde manchado y amarillo pálido

NOTA: Para definición de los colores véase la norma COGUANOR NGA 34 153 h3.

5.1.1.3 Por su tamaño; aplicable solamente a las cápsulas enteras de primeras y segundas.

5.1.1.3.1 Las cápsulas enteras (Tipo 1) de las calidades primeras y segundas, se clasificarán por su tamaño en las siguientes clases:

- a) Clase 1: Super Grande (SG); véase el numeral 4.1
- b) Clase 2: Extra Grande (EG); véase el numeral 4.2
- c) Clase 3: Grande (G); véase el numeral 4.3
- d) Clase 4: Mediano (M); véase el numeral 4.4
- e) Clase 5: Pequeño (P); véase el numeral 4.5
- f) Clase 6: Baby (B); véase el numeral 4.6

Continúa

5.1.1.4 Por su masa; aplicable solamente a las cápsulas enteras de terceras.

5.1.1.4.1 Las cápsulas enteras de la calidad terceras se clasificarán por su masa por litro en los siguientes grados:

- a) Grado 1: Masa A (MA)
- b) Grado 2: Masa B (MB)
- c) Grado 3: Masa C (MC)
- d) Grado 4: Masa D (MD)

5.1.2 Clasificación de las semillas de cardamomo. Las semillas de cardamomo se clasificarán de acuerdo a su color y su masa en las siguientes calidades:

- a) Primera Calidad
- b) Segunda Calidad
- c) Tercera Calidad

5.2 Designación

5.2.1 Designación del cardamomo tipo 1

5.2.1.1 Las cápsulas enteras de cardamomo que por clasificación corresponden a un tamaño específico se designarán por el tipo, la calidad y la correspondiente clase o grado, pudiéndose emplear las respectivas siglas que identifican a estas dos últimas características; ejemplo:

- a) Tipo 1, Primeras, Super grande o bien Tipo 1, primeras, SG
- b) Tipo 1, Segundas, Baby o bien Tipo 1, Segundas, B
- c) Tipo 1, Terceras, masa A o bien Tipo 1, Terceras, MA

5.2.1.2 Las cápsulas enteras de cardamomo que por clasificación corresponden a una mezcla de tamaños, se designarán por el tipo, la calidad y las siglas de los tamaños que forman la mezcla, indicando a continuación de cada una de las siglas y entre parentesis, el porcentaje en masa correspondiente de cada tamaño; ejemplos:

- a) Tipo 1, Primeras, SG (73), EG (10), G (8) y M (9)
- b) Tipo 1, Segundas, G (30), M (46), P (21) y B (3)

5.2.2 Designación del cardamomo tipo 2. Las cápsulas abiertas de cardamomo se designarán por su tipo seguido de la calidad; ejemplo:

- a) Tipo 2, Segundas
- b) Tipo 2, Terceras

5.2.3 Designación de las semillas de cardamomo. Las semillas de cardamomo se designarán con la expresión "Cardamomo en oro", seguida de la calidad que les corresponde; ejemplo:

- a) Cardamomo en oro, de primera calidad
- b) Cardamomo en oro, de tercera calidad.

6. Especificaciones

6.1 Especificaciones para las cápsulas de cardamomo

Continúa

6.1.1 Las cápsulas de cardamomo deberán ser bien formadas, cosechadas con el grado adecuado de madurez y estarán prácticamente libres de pedicelo, cáscaras y semillas separadas, picaduras de insectos y zonas dañadas por secado inadecuado, hongos o microorganismos; no deberán contener insectos vivos ni muertos, o sus estados evolutivos. Deberán tener el olor y sabor característicos del cardamomo, y estarán libres de rancidez, fermentación u otros sabores y olores extraños. Ni las cápsulas de cardamomo ni el cardamomo en oro, podrán ser coloreados con colorantes naturales ni artificiales.

6.1.2 Las cápsulas enteras (Tipo 1) de las calidades primeras y segundas (verde y verde pálido respectivamente), deberán cumplir con los requisitos físicos siguientes:

6.1.2.1 Su masa por litro y sus dimensiones deberán ser las indicadas en el cuadro 1 siguiente:

Cuadro 1 Masa por litro y dimensiones de las cápsulas enteras de cardamomo de Primeras y Segundas (1).

Requisitos	Clases					
	SG	EG	G	M	P	B
Masa en gramos por litro, mínimo (2)	430	415	385	370	350	<350
Dimensiones:						
a) Longitud en milímetros;	18 ó más	15 a 17.9	13 a 14.9	11 a 12.9	9.0 a 10.9	<8.0
o bien						
b) Menor longitud que la mínima especificada para cada caso pero:						
- Son retenidas sobre la criba	8.0*	7.0*	6.5*	6.0*	5.5*	-
- Pasan la criba	-	8.0*	7.0*	6.5*	6.0*	5.5*

(1) Véase en el anexo el numeral 12.2

(2) Requisito no aplicable al producto cuya clasificación sea la de mezcla de diferentes tamaños.

(*) Este número corresponde al diámetro en milímetros de cada abertura circular de la criba.

6.1.2.2 El contenido máximo de humedad de las cápsulas deberá ser de 13% expresado en masa.

Nota. La determinación de la humedad se realiza sobre las cápsulas enteras.

6.1.2.3 Las cápsulas de cardamomo no deberán contener defectos en mayor proporción que los establecidos en el cuadro 2 siguiente.

Continúa

Cuadro 2. Límites máximos de defectos para cápsulas enteras de cardamono de Primeras y Segundas (1), (2).

Defectos	Clases					
	SG	EG	G	M	P	B
Materias extrañas, en porcentaje en masa, máximo	0.2	0.2	0.5	0.5	1.0	1.0
Cápsulas vacías (cáscaras) y mal formadas o dañadas, en porcentaje en masa, máximo	4.0	4.0	5.0	5.0	6.0	6.0
Cápsulas vanas, inmaduras o marchitas, en porcentaje en masa, máximo	3.0	3.0	3.0	5.0	7.0	7.0
Cápsulas abiertas, en porcentaje en masa, máximo	4.0	4.0	5.0	5.0	6.0	6.0
Semillas sueltas, en porcentaje en masa, máximo	0.2	0.2	0.5	0.5	1.0	1.0

(1) Cuando las cápsulas enteras de cardamono correspondan por clasificación a mezcla de diferentes tamaños, se determinan los porcentajes en masa de cada tamaño presente en la mezcla y luego se encuentran los límites máximos permisibles de defectos en forma ponderada; véase ejemplo en el numeral 12.3 del anexo de la presente norma.

(2) Véase en el anexo el numeral 12.2

6.1.3 Las cápsulas enteras (tipo 1) de la calidad terceras (verde manchado y amarillo pálido), deberán cumplir con los requisitos físicos siguientes:

6.1.3.1 Su masa por litro deberá ser la indicada en el cuadro 3 siguiente:

Cuadro 3. Masa por litro de las cápsulas enteras de cardamono de Terceras (1)

Grado	Masa, en granos por litro mínimo
MA	400
MB	380
MC	350
MD	Menos de 350

(1) Véase en el anexo el numeral 12.2

6.1.3.2 El contenido máximo de humedad de las cápsulas deberá ser de 13% expresado en masa.

6.1.3.3 Las cápsulas de cardamono no deberán contener defectos en mayor proporción que lo establecido en el cuadro 4 siguiente.

Continúa

Cuadro 4. Límites máximos de defectos para cápsulas enteras de cardamomo de Terceras. (1).

Defectos	Grados			
	MA	MB	MC	MD
Materias extrañas, en porcentaje en masa, máximo	0.5	0.5	1.0	1.0
Cápsulas vacías (cáscaras) y mal formadas o dañadas, en porcentaje en masa, máximo	5.0	6.0	7.0	8.0
Cápsulas vanas, inmaduras o marchitas, en porcentaje en masa, máximo	4.0	5.0	6.0	7.0
Cápsulas abiertas, en porcentaje en masa, máximo	5.0	6.0	7.0	8.0
Semillas sueltas, en porcentaje en masa, máximo	0.5	0.5	1.0	1.0

(1) Véase en el anexo el numeral 12.2

6.1.4 Las cápsulas abiertas (Tipo 2) tendrán únicamente como requisito físico el color y no deberán tener mezcladas en ellas más de un 8% de cápsulas cerradas.

6.1.5 Las cápsulas de cardamomo que no cumplan con los requisitos establecidos en los numerales 6.1.1 a 6.1.4 según corresponda, y las cápsulas cuyo color no cumpla con los requisitos de los colores verde, verde pálido o amarillo, de acuerdo a lo especificado en la norma COGUANOR NGQ 34 153 h3 (por ejemplo, las cápsulas café), se considerarán como "Calidad fuera de norma" o "Calidad según muestra". En la misma forma se considerará el producto constituido por cápsulas vanas, mal formadas, dañadas, marchitas o que por otra causa han sido clasificadas como defecto.

Nota. Para las cápsulas vacías o cáscaras, véase en el anexo el numeral 12.1.

6.2 Especificaciones para las semillas de cardamomo o cardamomo en oro. Las semillas de cardamomo deberán ser semillas bien formadas, cosechadas con el grado adecuado de madurez y deberán poseer el olor, sabor y color característicos; no podrán poseer sabor u olor rancio, fermentado u otro sabor u olor extraño. Deberán cumplir con los requisitos físicos especificados en el cuadro 5 siguiente:

Continúa

Cuadro 5. Requisitos físicos para las semillas de cardamomo (1)

Requisitos	Calidad		
	1a. Calidad	2a. Calidad	3a. Calidad
Color	Castaño oscuro a negro	Canela claro a marrón	No aplicable
Extracto etéreo, centímetros cúbicos por cada 100g de semillas, mínimo	4.0	-	-
Materias extrañas, en porcentaje en masa, máximo	0.5	1.0	2.0
Semillas vanas y quebradas en porcentaje en masa, máximo	3.0	5.0	-
Masa, en gramos por litro, mínimo	675	660	-

(1) Véase en el anexo el numeral 12.2

7. MUESTREO

La toma de muestras de cardamomo se deberá llevar a cabo como se indica en la norma COGUANOR NGO 34 153 h1

8. METODOS DE ENSAYO Y ANALISIS

La verificación de los requisitos establecidos en la presente norma, se lleva a cabo de acuerdo a las normas COGUANOR NGO correspondientes; véase capítulo 2.

9. ENVASE, ROTULADO Y EMBALAJE

9.1 Envase. Los envases para las cápsulas y para las semillas de cardamomo deberán ser de un material que no modifique las características del producto y deberán preservar el mismo durante su transporte y su almacenamiento.

9.2 Rótulo o etiqueta. Para los efectos de esta norma, los rótulos o etiquetas deberán ser de papel o de cualquier otro material que pueda ser adherido a los envases, o bien de impresión permanente sobre los mismos.

9.2.1 Las inscripciones deberán ser fácilmente legibles en condiciones de visión normal, redactadas en español y hechas en forma tal que no desaparezcan bajo condiciones de uso normal; únicamente con propósitos de exportación se permitirá que se redacte en otro idioma todo el contenido del rótulo o etiqueta.

9.2.2 El rótulo o etiqueta deberá cumplir con lo especificado en la norma COGUANOR NGO 34 039 y llevar como mínimo la siguiente información:

- a) El nombre del producto: cardamomo;

Continúa

- b.) El número de identificación del lote de elaboración, el cual podrá ponerse en clave en cualquier lugar apropiado del envase:
- c.) El contenido neto, expresado en el Sistema Internacional de Unidades (SI), COGUANOR NCO 4 010;
- d.) El nombre o razón social del productor o de la entidad comercial, que expende el producto, así como la dirección o el apartado postal; para el producto de exportación los datos anteriores se podrán sustituir por una clave que se registrará previamente en la Comisión Guatemalteca de Normas (COGUANOR); y
- e.) Cualquier otro dato que fuese requerido por las leyes o reglamentos que rijan en el país.

9.2.3 No podrá tener ninguna leyenda de significado ambiguo, ilustraciones o adornos que induzcan a engaño, ni descripciones de características del producto que no se puedan comprobar.

9.3 Embalaje. Los embalajes deberán cumplir con las normas COGUANOR correspondientes.

10. ALMACENAMIENTO Y TRANSPORTE

10.1 Los envases o embalajes que contengan cardamomo, deberán ser almacenados en locales cubiertos, bien protegidos del sol, la lluvia y el calor excesivo.

10.2 Los locales deberán estar secos, libres de olores objetables y protegidos para evitar la entrada de insectos y animales; el sistema de ventilación deberá ser tal que permita mantener el producto en condiciones secas. Los locales deberán contar con las facilidades para efectuar fumigaciones.

10.3 Los envases o embalajes, deben ser manipulados y transportados en forma tal que siempre estén protegidos de la lluvia, del sol o de otras fuentes de calor excesivo, de olores objetables y de contaminaciones, especialmente en las bodegas de los barcos.

11. CORRESPONDENCIA

Para la elaboración de la presente norma se tomaron en cuenta los siguientes documentos:

- a) Norma de la India IS: 1907-1966 "Specification for cardamom (Revised)";
- b) Norma Británica BS 4596:1981, ISO 882-1980, "Specification for cardamoms";
- c) Datos físicos obtenidos por el ICAITI a partir de ensayos de diferentes muestras comerciales; y
- d) Literatura técnica.

12. ANEXO

12.1 Las cáscaras de cardamomo corresponden a un subproducto del mismo y tienen valor comercial; algunas empresas comercializadoras de cardamomo clasifican este subproducto, según su color natural, en la forma siguiente:

- a) Cáscara de primera: Verde
- b) Cáscara de segunda: Verde pálido

Continúa

c) Cáscara de tercera: Amarillo, blanco y castaño

d) Cáscara mezclada: Cáscaras de diferentes colores

Por lo tanto se recomienda que esta clasificación sea utilizada por todas las empresas comercializadoras de cardamomo.

12.2 Todos los valores que aparecen en los diferentes cuadros de la presente norma se han establecido tentativamente para las transacciones comerciales de la cosecha de cardamomo correspondiente al año 1984/1985, debido a que no se contó con suficientes datos experimentales. Durante dicha cosecha se irán tomando muestras representativas, de los diferentes productores con el objeto de obtener datos numéricos más ajustados a la realidad del país, por lo que al finalizar la cosecha aludida se efectuará la primera revisión de la presente norma contando con la colaboración de las partes interesadas.

12.3 Ejemplo de cálculo ponderado para los límites máximos permisibles de defectos de una mezcla dada de diferentes tamaños. Si la muestra resultara con una composición como la siguiente: 50% de SG, 25% de EG, 15% de G y 10% de M, el límite para cápsulas abiertas sería el siguiente: $(4.0 \times 0.5) + (4.0 \times 0.25) + (5.0 \times 0.15) + 5.0 \times 0.10 = 4.25$; por lo tanto la mezcla no debe tener más de 4.25% en masa de cápsulas abiertas. En forma similar se calcula para encontrar los límites de los otros defectos.

- ULTIMA LINEA -

Fuente: comisión guatemalteca de normas (COGUANOR), Ministerio de Economía, Guatemala C. A.

Anexo D. **Informe de Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales –LIECVE/USAC**

	CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA	
		No. 0924
		O.T. No. 33081 No. Informe LIECVE-QI 33-2014
Interesado:	Andrés Guillermo Puac García Carné No. 200610930 Estudiante de Ingeniería Química/USAC	
Proyecto:	Trabajo de de Graduación a nivel tesis “EVALUACIÓN DE RENDIMIENTO DE OLEORRESINA DE CARDAMOMO (<i>Elettaria cardamomum</i> L. Maton) A ESCALA PLANTA PILOTO PARA LA FORMULACIÓN DE MERMELADA CASERA DE PERA”	
Fecha:	Guatemala, 25 de noviembre de 2014	
<hr/>		
A continuación se presentan los resultados obtenidos del estudio de tesis titulado “EVALUACIÓN DE RENDIMIENTO DE OLEORRESINA DE CARDAMOMO (<i>Elettaria cardamomum</i> L. Maton) A ESCALA PLANTA PILOTO PARA LA FORMULACIÓN DE MERMELADA CASERA DE PERA”		
RESUMEN		
Se realizó la extracción de oleorresina de cardamomo (<i>Elettaria cardamomum</i> L. Maton) a escala planta piloto implicando las siguientes operaciones unitarias, desde la recepción de la materia prima hasta el envasado del producto: 1) clasificación de cardamomo en 1ra., 2da. y 3ra. calidad; 2) reducción de tamaño de partícula; 3) tamizaje; 4) maceración, relación kilogramo de materia prima/kilogramo de solvente igual a 1/11; 5) filtración al vacío; 6) concentración y 7) envasado de oleorresina.		
El diseño experimental se estipulo variando las tres calidades de cardamomo (1ra., 2da. y 3ra. calidad), utilizando dos métodos diferentes de extracción por maceración (maceración dinámica y maceración estática) y realizando tres repeticiones para cada combinación, resultando así 18 tratamientos o lotes. Se estipuló a partir de las pruebas preliminares el tiempo de extracción de 3 horas, temperatura de extracción de 25° C y operando a una presión de aproximadamente 101 325 Pa. El proceso de concentración se trabajó a una temperatura de 24-25 °C, 78 000 Pa de presión y aproximadamente 9-10 horas de evaporación.		
		Página 1 de 3
<hr/>		
FACULTAD DE INGENIERÍA –USAC– Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12 Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121 Página web: http://cii.usac.edu.gt		



No. 0925

RESULTADOS

Tabla No. 1 Rendimiento de extracción de oleoresina de cardamomo (*Elettaria cardamomum* L. Maton) obtenida a escala planta piloto por el método de maceración dinámica y estática.

TÉCNICA MACERACIÓN	CALIDAD	PROMEDIO (%)
Dinámica	1ra.	15.795±0.596
	2da.	8.252±0.680
	3ra.	6.297±0.554
Estática	1ra.	7.486±1.447
	2da.	6.258±0.788
	3ra.	5.400±0.914

Fuente: Datos experimentales -LIEXVE-

Tabla No. 2 Propiedades físicas de la oleoresina de cardamomo (*Elettaria cardamomum* L. Maton) obtenida a escala planta piloto por el método de maceración dinámica y estática

TÉCNICA MACERACIÓN	CALIDAD	pH	ÍNDICE DE REFRACCIÓN	DENSIDAD (g/mL)
		PROMEDIO	PROMEDIO	PROMEDIO
Dinámica	1ra.	5.183±0.300	1.580±0.004	0.956±0.015
	2da.	5.323±0.752	1.579±0.003	0.984±0.038
	3ra.	5.117±0.862	1.575±0.002	0.959±0.005
Estática	1ra.	4.983±0.850	1.581±0.004	1.011±0.048
	2da.	4.920±0.185	1.580±0.004	0.971±0.030
	3ra.	4.557±0.862	1.580±0.004	0.960±0.006

Fuente: Datos experimentales -LIEXVE-



No. 0926

ANEXOS

Equipos principales empleados en la extracción de oleoresina de cardamomo a escala planta piloto: filtro al vacío, tanque con agitación, marmita de concentración y envase



Oleoresina de cardamomo (*Elattaria cardamomum* L. Maton) envasada y etiquetada




Ing. Qco. Mario José Mérida Méndez
COORDINADOR
Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales
-LIEXVE-
Sección Química Industrial CII/USAC


Vo.Bo. Inga. Qca. Telma Maricela Cano Morales
DIRECTORA
Centro de Investigaciones de Ingeniería CII/USAC

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Facultad de Ingeniería, de La Universidad de San Carlos de Guatemala.

