



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

EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL ACEITE ESENCIAL OBTENIDO DE LAS HOJAS Y EL FLAVEDO DEL FRUTO DEL LIMÓN CRIOLLO (*Citrus aurantifolia* Swingle) CULTIVADO EN LOS DEPARTAMENTOS DE SUCHITEPÉQUEZ, ESCUINTLA Y SANTA ROSA GUATEMALA, A ESCALA LABORATORIO Y PLANTA PILOTO Y SU APLICACIÓN EN LA ELABORACIÓN DE JABÓN EN GEL

Derick Junior Carrera Guerra

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

Guatemala, agosto de 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN FISCOQUÍMICA DEL ACEITE ESENCIAL OBTENIDO DE LAS HOJAS Y EL FLAVEDO DEL FRUTO DEL LIMÓN CRIOLLO (*Citrus aurantifolia* Swingle) CULTIVADO EN LOS DEPARTAMENTOS DE SUCHITEPÉQUEZ, ESCUINTLA Y SANTA ROSA GUATEMALA, A ESCALA LABORATORIO Y PLANTA PILOTO Y SU APLICACIÓN EN LA ELABORACIÓN DE JABÓN EN GEL

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

DERICK JUNIOR CARRERA GUERRA

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

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO QUÍMICO

GUATEMALA, AGOSTO 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

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

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Orlando Posadas Valdez
EXAMINADOR	Ing. Pablo Enrique Morales Paniagua
EXAMINADOR	Ing. Manuel Gilberto Galván Estrada
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA DEL ACEITE ESENCIAL OBTENIDO DE LAS HOJAS Y EL FLAVEDO DEL FRUTO DEL LIMÓN CRIOLLO (*Citrus aurantifolia* Swingle) CULTIVADO EN LOS DEPARTAMENTOS DE SUCHITEPÉQUEZ, ESCUINTLA Y SANTA ROSA GUATEMALA, A ESCALA LABORATORIO Y PLANTA PILOTO Y SU APLICACIÓN EN LA ELABORACIÓN DE JABÓN EN GEL

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

Derick Junior Carrera Guerra

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por ayudarme durante toda mi carrera y haberme dado la sabiduría necesaria para culminarla. A él sea la gloria, la honra y la alabanza.
- Mis padres** Eric Carrera Martínez y María Odilia Guerra Vásquez por su amor incondicional y cuidado durante toda mi vida. Los amo mis queridos padres, mi agradecimiento por siempre.
- Mi tía** Miriam Guerra Vásquez por haberme cuidado y aconsejado durante toda mi vida.
- Mis abuelos** Antonio Carrera, Bertilena de Carrera, Miguel Guerra y Lucila de María Vásquez.
- Mi familia** Tíos y primos, en especial a Dorita de Acevedo por haberme alentado a alcanzar este sueño.
- Mi pastora** Reyna Beatriz Ortega, mi guía espiritual y apoyo siempre.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser la institución que me ha permitido realizar mis estudios para alcanzar mí sueño.
Facultad de Ingeniería	Por brindarme mediante sus catedráticos los conocimientos necesarios para desempeñarme como profesional.
Mi padre	Eric Carrera Martínez por aconsejarme que nunca me rindiera y por cuidarme toda mi vida.
Mi madre	María Odilia Guerra Vásquez por ensañarme a mejor cada día y amarme toda mi vida.
Mi tía	Miriam Guerra Vásquez por haberme cuidado y aconsejado durante toda mi vida.
Mis abuelos	Por su consejo y amor incondicional a lo largo de mi vida.
Mi familia	Por su apoyo y cariño.
Mis amigos	Gerson Ortega, Luis García, Cesar Quiroz y Osber Carias por los momentos agradables que hemos compartido a lo largo de la carrera.

Mis asesores

Inga. Telma Cano e Ing. Mario Mérida por su apoyo, amistad y por transmitirme sus valiosos conocimientos.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL	I
LISTA DE SÍMBOLOS	XIX
GLOSARIO	XXI
RESUMEN	XXIII
OBJETIVOS	XXV
1. ANTECEDENTES	1
2. MARCO TEÓRICO	3
2.1. Aceites esenciales	3
2.2. Componentes químicos de los aceites esenciales	3
2.2.1. Isopreno	4
2.2.2. Monoterpeno	4
2.2.3. Sesquiterpenos	4
2.2.4. Fenoles	4
2.3. Propiedades físicas	5
2.4. Limón criollo	5
2.4.1. Partes del limón criollo	6
2.4.1.1. Endocarpio	6
2.4.1.2. Flavedo	6
2.4.1.3. Albedo	7
2.4.1.4. Septas	7
2.4.1.5. Eje central	7
2.4.2. Taxonomía y morfología	8
2.4.3. Clima en el cual se cultiva el limón criollo	8

2.4.4.	Aceite esencial de limón	9
2.4.4.1.	Limoneno	9
2.4.4.2.	Alfa-pineno	10
2.4.4.3.	Linalool	11
2.5.	Métodos de extracción de aceites esenciales	12
2.5.1.	Hidrodestilación	12
2.5.2.	Destilación por arrastre con vapor	13
2.5.3.	Expresión en frío	14
2.5.4.	Enfloraje	15
2.5.5.	Extracción supercrítica con dióxido de carbono	15
2.6.	Análisis físicoquímicos de aceites esenciales	16
2.6.1.	Cromatografía de capa fina	17
2.6.2.	Cromatografía gaseosa	17
2.6.3.	Cromatografía gaseosa acoplada a espectrometría de masas	18
2.6.4.	Densidad	18
2.6.5.	Índice de refracción	19
2.6.6.	Potencial de hidrógeno	19
2.6.7.	Solubilidad	20
2.7.	Factores que afectan el rendimiento de los aceites esenciales	20
2.7.1.	Materia prima	20
2.7.2.	Fertilización del limón	21
2.7.3.	Tiempo de secado	21
2.7.4.	Tamaño de partícula	21
2.7.5.	Tiempo de extracción	22
2.8.	Planta piloto de extracción-destilación	22
2.8.1.	Partes de la planta piloto	24
2.8.1.1.	Condensador	24

	2.8.1.2.	Bomba de vacío	24
	2.8.1.3.	Vaso Fiorentino	24
	2.8.1.4.	Válvula	25
2.9.		Aplicaciones de aceites esenciales.....	26
	2.9.1.	Industria alimentaria.....	26
	2.9.2.	Industria farmacéutica.....	26
	2.9.3.	Perfumería	26
	2.9.4.	Productos de aseo personal.....	27
2.10.		Jabón antibacterial.....	27
	2.10.1.	Componentes del jabón antibacterial	27
		2.10.1.1. Carbopol	28
		2.10.1.2. Triclosán	29
		2.10.1.3. Trietanolamina	29
		2.10.1.4. Etanol.....	30
		2.10.1.5. Agua destilada	31
	2.10.2.	Pruebas de calidad de jabón antibacterial.....	31
		2.10.2.1. Pruebas físicas.....	31
		2.10.2.2. Pruebas químicas	32
		2.10.2.3. Pruebas microbiológicas	32
3.		MARCO METODOLÓGICO	33
	3.1.	Localización.....	33
	3.2.	Variables	34
		3.2.1. Variables independientes.....	34
		3.2.2. Variables dependientes.....	34
		3.2.3. Variables de respuesta	35
	3.3.	Delimitación del campo de estudio	35
		3.3.1. Obtención de la materia prima	36
		3.3.2. Extracción del aceite esencial	36

3.3.3.	Análisis fisicoquímico del aceite esencial	36
3.3.4.	Análisis cuantitativo del aceite esencial	36
3.3.5.	Formulación de jabón en gel	37
3.3.6.	Control de calidad para el gel antibacterial	37
3.3.7.	Control microbiológico para el gel antibacterial.....	37
3.3.8.	Recursos humanos disponibles	37
3.3.9.	Recursos materiales disponibles	38
3.3.9.1.	Materia prima y reactivos.....	38
3.3.9.2.	Instrumentos de laboratorio y cristalería	38
3.3.9.3.	Recursos generales.....	39
3.3.9.4.	Instrumentos de medición y equipo auxiliar	40
3.4.	Técnica cualitativa y cuantitativa	43
3.4.1.	Extracción del aceite esencial de limón criollo (<i>Citrus aurantifolia</i> Swingle) utilizando la técnica de hidrodestilación a escala laboratorio.....	43
3.4.2.	Extracción del aceite esencial de limón criollo (<i>Citrus aurantifolia</i> Swingle) utilizando la técnica de arrastre con vapor directo a escala planta piloto.....	44
3.4.3.	Medición de la densidad del aceite esencial de limón criollo (<i>Citrus aurantifolia</i> Swingle)	45
3.4.4.	Medición del índice de refracción del aceite esencial de limón criollo (<i>Citrus aurantifolia</i> Swingle)	45
3.4.5.	Medición del pH del aceite esencial de limón criollo (<i>Citrus aurantifolia</i> Swingle).....	45

3.4.6.	Medición de la solubilidad en etanol al 95% del aceite esencial de limón criollo (<i>Citrus aurantifolia</i> Swingle).....	46
3.4.7.	Detección de compuestos químicos mediante el método de cromatografía gaseosa acoplada a espectrometría de masas para el aceite esencial de limón criollo (<i>Citrus aurantifolia</i> Swingle).....	46
3.4.8.	Procedimiento para la elaboración de jabón en gel.....	46
3.4.9.	Olor.....	47
3.4.10.	Color.....	48
3.4.11.	Procedimiento para determinar el pH del gel antibacterial.....	48
3.4.12.	Procedimiento para determinar la viscosidad del gel antibacterial.....	48
3.4.13.	Procedimiento para determinar la acción bactericida del gel antibacterial.....	48
3.5.	Recolección y ordenamiento de la información.....	49
3.6.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.....	69
3.7.	Análisis estadístico.....	77
3.7.1.	Análisis de varianza de un factor.....	77
4.	RESULTADOS.....	105
4.1.	Extracción del aceite esencial de limón criollo.....	105
5.	INTEPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	117
	CONCLUSIONES.....	123
	RECOMENDACIONES.....	125

BIBLIOGRAFÍA 127
ANEXOS 131

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Limón criollo	6
2.	Partes de un cítrico	7
3.	Neoclevenger	13
4.	Diagrama de equipo de destilación por arrastre con vapor	14
5.	Planta piloto de extracción-destilación.....	23
6.	Plano de la planta piloto de extracción-destilación (LIXVE).....	25
7.	Molécula de Carbopol	28
8.	Molécula de triclosán.....	29
9.	Molécula de trietanolamina.....	30
10.	Molécula de etanol	30
11.	Molécula de agua	31
12.	Balanza analítica.....	41
13.	Campana de extracción	41
14.	Rotaevaporador	42
15.	Refractómetro	42
16.	Cromatograma de aceite esencial de limón criollo (<i>Citrus aurantifolia</i> Swingle) de hoja proveniente de Suchitepequez a escala laboratorio ..	131
17.	Cromatograma de aceite esencial de limón criollo (<i>Citrus aurantifolia</i> Swingle) de hoja proveniente de Suchitepequez a escala laboratorio ..	131
18.	Cromatograma de aceite esencial de limón criollo (<i>Citrus aurantifolia</i> Swingle) de fruto proveniente de Santa Rosa escala laboratorio.....	132
19.	Cromatograma de aceite esencial de limón criollo (<i>Citrus aurantifolia</i> Swingle) de fruto proveniente de Santa Rosa a escala laboratorio.....	132

20.	Cromatograma de aceite esencial de limón criollo (<i>Citrus aurantifolia</i> Swingle) de hoja proveniente de Escuintla a escala laboratorio	133
21.	Cromatograma de aceite esencial de limón criollo (<i>Citrus aurantifolia</i> Swingle) de fruto proveniente de Escuintla a escala laboratorio	133
22.	Cromatograma de aceite esencial de limón criollo (<i>Citrus aurantifolia</i> Swingle) de hoja de Suchitepéquez a escala planta piloto	134
23.	Cromatograma de aceite esencial de limón criollo (<i>Citrus aurantifolia</i> Swingle) de fruto proveniente de Suchitepéquez a escala planta piloto.....	134
24.	Cromatograma de aceite esencial de limón criollo (<i>Citrus aurantifolia</i> Swingle) de hoja proveniente de Santa Rosa a escala planta piloto	135
25.	Cromatograma de aceite esencial de limón criollo (<i>Citrus aurantifolia</i> Swingle) de fruto proveniente de Santa Rosa a escala planta piloto	135
26.	Cromatograma de aceite esencial de limón criollo (<i>Citrus aurantifolia</i> Swingle) de hojas proveniente de Escuintla a escala planta piloto.....	136
27.	Cromatograma de aceite esencial de limón criollo (<i>Citrus aurantifolia</i> Swingle) de fruto proveniente de Escuintla a escala planta piloto	136
28.	Recolección de materia prima de hojas de limón criollo (<i>Citrus aurantifolia</i> Swingle).....	137
29.	Hojas de limón criollo (<i>Citrus aurantifolia</i> Swingle).....	137
30.	Cromatógrafo de gases acoplado a espectrómetro de masas	138
31.	Mezcla de carbopol y agua	138
32.	Jabon antibacterial formulado con aceite esencial de limón criollo (<i>Citrus aurantifolia</i> Swingle)	139
33.	Diagrama de requisitos académicos	140
34.	Diagrama de Ishikawa	141

TABLAS

I.	Propiedades fisicoquímicas e información técnica del aceite esencial de limón.....	9
II.	Propiedades fisicoquímicas e información técnica del d-limoneno 10	
III.	Propiedades fisicoquímicas e información técnica del alfa-pineno 11	
IV.	Propiedades fisicoquímicas e información técnica del Linalool	12
V.	Variables independientes en el proceso de extracción del aceite esencial de limón criollo (<i>Citrus aurantifolia</i> Swingle).....	34
VI.	Variables dependientes en el proceso de extracción del aceite esencial de limón criollo (<i>Citrus aurantifolia</i> Swingle).....	35
VII.	Materia prima y reactivos utilizados en la extracción del aceite esencial de limón criollo (<i>Citrus aurantifolia</i> Swingle) y en la formulación del gel antibacterial.....	38
VIII.	Cristalería e instrumentos de laboratorio utilizados en la extracción del aceite esencial de limón criollo (<i>Citrus aurantifolia</i> Swingle) y en la información del gel antibacterial.....	39
IX.	Recursos generales	40
X.	Formulación del jabón en gel	47
XI.	Extracción de aceite esencial de limón criollo (<i>Citrus aurantifolia</i> Swingle) a escala laboratorio	49
XII.	Extracción de aceite esencial de limón criollo (<i>Citrus aurantifolia</i> Swingle) a escala planta piloto.....	50
XIII.	Medición de la densidad a 25°C del aceite esencial de limón criollo (<i>Citrus aurantifolia</i> Swingle) a escala laboratorio	51
XIV.	Medición de la densidad a 25°C del aceite esencial de limón criollo (<i>Citrus aurantifolia</i> Swingle) a escala planta piloto	52

XV.	Medición del índice de refracción a 20°C del aceite esencial de limón criollo (<i>Citrus aurantifolia</i> Swingle) a escala laboratorio.	53
XVI.	Medición del índice de refracción a 20°C del aceite esencial de limón criollo (<i>Citrus aurantifolia</i> Swingle) a escala planta piloto	54
XVII.	Medición de Ph a 25°C del aceite esencial de limón criollo (<i>Citrus aurantifolia</i> Swingle).....	55
XVIII.	Medición de solubilidad en etanol a 20°C del aceite esencial de limón criollo (<i>Citrus aurantifolia</i> Swingle) a escala planta piloto	55
XIX.	Composición química del aceite esencial de hoja de limón criollo (<i>Citrus aurantifolia</i> Swingle) a escala laboratorio de la región de Suchitepéquez.....	56
XX.	Composición química del aceite esencial de fruto de limón criollo (<i>Citrus aurantifolia</i> Swingle) a escala laboratorio de la región de Suchitepéquez.....	57
XXI.	Composición química del aceite esencial de hoja de limón criollo (<i>Citrus aurantifolia</i> Swingle) a escala laboratorio de la región de Santa Rosa.....	58
XXII.	Composición química del aceite esencial de fruto de limón criollo (<i>Citrus aurantifolia</i> Swingle) a escala laboratorio de la región de Santa Rosa.....	59
XXIII.	Composición química del aceite esencial de hoja de limón criollo (<i>Citrus aurantifolia</i> Swingle) a escala laboratorio de la región de Escuintla.....	60
XXIV.	Composición química del aceite esencial de fruto de limón criollo (<i>Citrus aurantifolia</i> Swingle) a escala laboratorio de la región de Escuintla.....	61
XXV.	Composición química del aceite esencial de hoja de limón criollo (<i>Citrus aurantifolia</i> Swingle) a escala planta piloto de la región de Suchitepéquez.....	62

XXVI.	Composición química del aceite esencial de fruto de limón criollo (<i>Citrus aurantifolia</i> Swingle) a escala planta piloto de la región de Suchitpéquez.....	63
XXVII.	Composición química del aceite esencial de hoja de limón criollo (<i>Citrus aurantifolia</i> Swingle) a escala planta piloto de la región de Santa Rosa.....	64
XXVIII.	Composición química del aceite esencial de fruto de limón criollo (<i>Citrus aurantifolia</i> Swingle) a escala planta piloto de la región de Santa Rosa.....	65
XXIX.	Composición química del aceite esencial de hoja de limón criollo (<i>Citrus aurantifolia</i> Swingle) a escala planta piloto de la región de Escuintla.....	66
XXX.	Composición química del aceite esencial de fruto de limón criollo (<i>Citrus aurantifolia</i> Swingle) a escala planta piloto de la región de Escuintla.....	67
XXXI.	Determinación de propiedades organolépticas del gel antibacterial formulado con aceite esencial de limón criollo (<i>Citrus aurantifolia</i> Swingle).....	68
XXXII.	Medición de pH del gel antibacterial formulado con aceite esencial de limón criollo (<i>Citrus aurantifolia</i> Swingle).....	68
XXXIII.	Medición de viscosidad de gel antibacterial formulado con aceite esencial de limón criollo (<i>Citrus aurantifolia</i> Swingle)	68
XXXIV.	Determinación del poder bactericida del gel antibacterial formulado con aceite esencial del limón criollo (<i>Citrus aurantifolia</i> Swingle).....	69
XXXV.	Determinación de rendimiento del aceite esencial de limón criollo (<i>Citrus aurantifolia</i> Swingle) a escala laboratorio	70
XXXVI.	Determinación de Rendimiento del aceite esencial de limón criollo (<i>Citrus aurantifolia</i> Swingle) a escala planta piloto	71

XXXVII.	Determinación de la densidad a 25°C del aceite esencial de limón criollo (<i>Citrus aurantifolia</i> Swingle) a escala laboratorio	72
XXXVIII.	Determinación de la densidad a 25°C del aceite esencial de limón criollo (<i>Citrus aurantifolia</i> Swingle) a escala planta piloto	73
XXXIX.	Determinación del índice de refracción a 20°C del aceite esencial de limón criollo (<i>Citrus aurantifolia</i> Swingle) a escala laboratorio.....	74
XL.	Determinación del índice de refracción a 20°C del aceite esencial de limón criollo (<i>Citrus aurantifolia</i> Swingle) a escala planta piloto.....	75
XLI.	Determinación del pH a 25°C de aceite esencial de limón criollo (<i>Citrus aurantifolia</i> Swingle).....	76
XLII.	Determinación de la solubilidad en etanol a 20°C del aceite esencial de limón (<i>Citrus aurantifolia</i> Swingle) a escala planta piloto.....	76
XLIII.	Determinación de pH de gel antibacterial formulado con aceite esencial de limón criollo (<i>Citrus aurantifolia</i> Swingle)	77
XLIV.	Determinación de viscosidad de gel antibacterial formulado con aceite esencial de limón criollo (<i>Citrus aurantifolia</i> Swingle)	77
XLV.	Datos de rendimiento a escala laboratorio para ANOVA de un factor de aceite esencial proveniente de la hoja de las regiones de estudio.....	79
XLVI.	ANOVA de rendimiento a escala laboratorio de las regiones del estudio de aceite esencial de hoja.....	79
XLVII.	Datos de rendimiento a escala laboratorio para ANOVA de un factor de aceite esencial proveniente del fruto de las regiones del estudio.....	80
XLVIII.	ANOVA de rendimiento a escala laboratorio de las regiones del estudio de aceite esencial de fruto	80

XLIX.	Datos de rendimiento a escala planta piloto para ANOVA de un factor de aceite esencial proveniente de la hoja de las regiones de estudio.....	81
L.	ANOVA de rendimiento a escala planta pilto de regiones de estudio de aceite esencial de hoja	81
LI.	Datos de rendimiento a escala planta piloto para ANOVA de un factor de aceite esencial proveniente del fruto de las regiones del estudio.....	82
LII.	ANOVA para rendimiento a escala planta piloto de regiones del estudio de aceite esencial de fruto	82
LIII.	Datos de rendimiento en función de la parte de la planta para ANOVA de un factor a escala laboratorio.....	83
LIV.	ANOVA de rendimiento en función de la parte de la planta a escala laboratorio.....	83
LV.	Datos de rendimiento en función de la parte de la planta para ANOVA de un factor a escala planta piloto	84
LVI.	ANOVA de rendimiento en función de la parte de la planta a escala planta piloto	84
LVII.	Datos de rendimiento en función de la escala del aceite esencial de hoja para ANOVA de un factor	85
LVIII.	ANOVA de rendimeinto en función de escala para aceite esencial de hojas.....	85
LIX.	Datos de rendimiento en función de la escala del aceite esencial de frutos para ANOVA de un factor.....	86
LX.	ANOVA de rendimiento en función de escala para aceite esencial de frutos.....	86
LXI.	Datos de densidad a escala laboratorio para ANOVA de un factor del aceite esencial de hoja de las regiones del estudio	87

LXII.	ANOVA de densidad a escala laboratorio de regiones del estudio del aceite esencial de hoja	87
LXIII.	Datos de densidad a escala laboratorio para ANOVA de un factor del aceite esencial de fruto de las regiones del estudio	88
LXIV.	ANOVA de densidad a escala laboratorio para las regiones del estudio del aceite esencial de fruto.....	88
LXV.	Datos de densidad a escala planta piloto para ANOVA de un factor del aceite esencial de hoja de las regiones del estudio.....	89
LXVI.	ANOVA de densidad a escala planta piloto para las regiones de estudio de aceite esencial de hoja	89
LXVII.	Datos de densidad a escala planta piloto para ANOVA de un factor de aceite esencial del fruto para las regiones de estudio	90
LXVIII.	ANOVA para densidad a escala planta piloto para las regiones del estudio de aceite esencial de fruto a escala planta piloto.....	90
LXIX.	Datos de densidad en función de la parte de la planta para ANOVA de un factor a escala laboratorio	91
LXX.	ANOVA de densidad en función de la parte de la parte de la planta a escala laboratorio.....	91
LXXI.	Datos de densidad en función de la parte de la planta para ANOVA de un factor a escala laboratorio	92
LXXII.	ANOVA densidad en función de la parte de la planta a escala planta piloto.....	92
LXXIII.	Datos de densidad en función de la escala del aceite esencial de hojas para ANOVA de un factor.....	93
LXXIV.	ANOVA de densidad en función de escala para aceite esencial de hojas.....	93
LXXV.	Datos de densidad en función de la escala del aceite esencial de fruto para ANOVA de un factor	94

LXXVI.	ANOVA de densidad en función de escala para aceite esencial de fruto.....	94
LXXVII.	Datos de índice de refracción a escala laboratorio para ANOVA de un factor del aceite esencial de hojas de las regiones del estudio.....	95
LXXVIII.	ANOVA de índice de refracción de regiones del estudio del aceite esencial de hoja a escala laboratorio.....	95
LXXIX.	TDatos de índice de refracción a escala laboratorio para ANOVA de un factor de aceite esencial de fruto de las regiones del estudio.....	96
LXXX.	ANOVA de índice de refracción de regiones del estudio de aceite esencial de fruto a escala laboratorio	96
LXXXI.	Datos de índice de refracción a escala planta piloto para ANOVA de un factor de aceite esencial de hoja de las regiones del estudio.....	97
LXXXII.	ANOVA de índice de refracción de regiones del estudio de aceite esencial de hoja a escala planta piloto	97
LXXXIII.	Datos de índice de refracción a escala planta piloto para ANOVA de un factor de aceite esencial de fruto de las regiones del estudio.....	98
LXXXIV.	ANOVA de índice de refracción de regiones del estudio de aceite esencial de fruto a escala planta piloto	98
LXXXV.	Datos de índice de refracción en función de la parte de la planta para ANOVA de un factor a escala laboratorio	99
LXXXVI.	ANOVA de índice de refracción en función de la parte de la planta a escala laboratorio	100
LXXXVII.	Datos de índice de refracción en función de la parte de la planta para ANOVA de un factor a escala planta piloto.....	101

LXXXVIII.	ANOVA de índice de refracción en función de la parte de la planta a escala planta piloto	102
LXXXIX.	Datos de índice de refracción en función de la escala del aceite esencial de hojas para ANOVA de un factor.....	102
XC.	ANOVA de índice de refracción en función de escala para aceite esencial de hojas	103
XCI.	Datos de índice de refracción en función de la escala del aceite esencial de fruto para ANOVA de un factor.....	103
XCII.	ANOVA de índice de refracción en función de escala para aceite esencial de fruto.....	104
XCIII.	Rendimiento del aceite esencial de limón criollo (<i>Citrus aurantifolia</i> Swingle) a escala laboratorio según la procedencia y la parte de la planta	105
XCIV.	Rendimiento del aceite esencial de limón criollo (<i>Citrus aurantifolia</i> Swingle) a escala planta piloto según la procedencia y la parte de la planta	105
XCV.	Densidad a 25°C del aceite esencial de limón criollo (<i>Citrus aurantifolia</i> Swingle) a escala laboratorio según la procedencia y la parte de la planta	106
XCVI.	Densidad a 25°C del aceite esencial de limón criollo (<i>Citrus aurantifolia</i> Swingle) a escala planta piloto según la procedencia y la parte de la planta	106
XCVII.	Índice de refracción a 20°C del aceite esencial de limón criollo (<i>Citrus aurantifolia</i> Swingle) a escala laboratorio según la procedencia y la parte de la planta	107
XCVIII.	Índice de refracción a 20°C del aceite esencial de limón criollo (<i>Citrus aurantifolia</i> Swingle) a escala planta piloto según la procedencia y la parte de la planta	107

XCIX.	pH a 25°C de aceite esencial de limón criollo (<i>Citrus aurantifolia</i> Swingle) según la escala y la parte de la planta.....	108
C.	Solubilidad en etanol a 20°C del aceite esencial de limón criollo (<i>Citrus aurantifolia</i> Swingle) a escala planta piloto según la parte de la planta.....	108
CI.	Compuestos mayoritarios del aceite esencial de hoja de limón criollo (<i>Citrus aurantifolia</i> Swingle) a escala laboratorio de la región de Suchitepéquez	109
CII.	Compuestos mayoritarios del aceite esencial de fruto de limón criollo (<i>Citrus aurantifolia</i> Swingle) a escala laboratorio de la región de Suchitepéquez	109
CIII.	Compuestos mayoritarios del aceite esencial de hoja de limón criollo (<i>Citrus aurantifolia</i> Swingle) a escala laboratorio de la región de Santa Rosa	110
CIV.	Compuestos mayoritarios del aceite esencial de fruto de limón criollo (<i>Citrus aurantifolia</i> Swingle) a escala laboratorio de la región de Santa Rosa	110
CV.	Compuestos mayoritarios del aceite esencial de hoja de limón criollo (<i>Citrus aurantifolia</i> Swingle) a escala laboratorio de la región de Escuintla	111
CVI.	Compuestos mayoritarios del aceite esencial de fruto de limón criollo (<i>Citrus aurantifolia</i> Swingle) a escala laboratorio de la región de Escuintla	111
CVII.	Compuestos mayoritarios del aceite esencial de hoja de limón criollo (<i>Citrus aurantifolia</i> Swingle) a escala planta piloto de la región de Suchitepéquez	112
CVIII.	Compuestos mayoritarios del aceite esencial de fruto de limón criollo (<i>Citrus aurantifolia</i> Swingle) a escala planta piloto de la región de Suchitepéquez	112

CIX.	Componentes mayoritarios del aceite esencial de hoja de limón criollo (<i>Citrus a urantifolia</i> Swingle) a escala planta piloto de la región de Santa Rosa.....	113
CX.	Componentes mayoritarios del aceite esencial de fruto de limón criollo (<i>Citrus aurantifolia</i> Swingle) a escala planta piloto de la región de Santa Rosa.....	113
CXI.	Compuestos mayoritarios del aceite esencial de hoja de limón criollo (<i>Citrus aurantifolia</i> Swingle) a escala planta piloto de la región de Escuintla.....	114
CXII.	Componentes mayoritarios del aceite esencial de fruto de limón criollo (<i>Citrus aurantifolia</i> Swingle) a escala planta piloto de la región de Escuintla.....	114
CXIII.	Propiedades organolépticas del gel antibacterial formulado con aceite esencial de limón criollo (<i>Citrus aurantifolia</i> Swingle).....	115
CXIV.	Ph de gel antibacterial formulado con aceite esencial de limón criollo (<i>Citrus aurantifolia</i> Swingle).....	115
CXV.	Viscosidad de gel antibacterial formulado con aceite esencial de limón criollo (<i>Citrus aurantifolia</i> Swingle).....	115
CXVI.	Poder bactericida del gel antibacterial formulado con aceite esencial de limón criollo (<i>Citrus aurantifolia</i> Swingle).....	116

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
m_f	Masa de aceite y frasco
m_o	Masa de frasco
m_{mp}	Masa de materia prima
mL	Mililitro
mm	Milímetro
nm	Nanómetro
%	Porcentaje

GLOSARIO

Esterilizar	Destruir los gérmenes patógenos que hay o puede haber en cualquier lugar u objeto
Hidrocarburo	Compuesto químico resultante de la combinación de carbono con hidrogeno.
Morfología	Ciencia que estudia la forma de los seres orgánicos y de las modificaciones que experimenta.
Potenciómetro	Aparato que se emplea para medir las diferencias de potencial.
Refracción	Modificación en la dirección y velocidad de una onda de luz al cambiar el medio en que se propaga.
Solubilidad	Cantidad de soluto que a una temperatura determinada puede diluirse en un disolvente
Taxonomía	Ciencia que se ocupa de los principios, métodos y fines de la clasificación.
Termolábil	Que altera con facilidad por el calor.

RESUMEN

En el presente trabajo de graduación se basó en la extracción y caracterización fisicoquímica del aceite esencial de limón criollo (*Citrus aurantifolia* Swingle) cultivado en los departamentos de Suchitepéquez, Escuintla y Santa Rosa a escala laboratorio y planta piloto; además, se utilizó el aceite esencial para formular jabón en gel.

Para la extracción a escala laboratorio se utilizó la técnica de hidrodestilación la cual consistió en colocar un lote de 50 gramos de materia prima en agua con una relación 1:15, dando un tiempo de extracción de 4 horas. El aceite esencial de hoja de la región de Suchitepéquez es el que obtuvo un mayor rendimiento (0.851 ± 0.0601 %) por el contrario el aceite de hojas de la región de Escuintla obtuvo el menor rendimiento (0.364 ± 0.0376 %). En la escala planta piloto se utilizó la técnica de arrastre con vapor directo en la cual se agregaron 5 kg de limón y 3 kg de hojas de limón dando un tiempo de extracción de 4 horas. La región Santa Rosa obtuvo el mayor rendimiento (0.1290 ± 0.0362 %) con el aceite esencial de hojas por el contrario la región de Suchitepéquez obtuvo el menor rendimiento (0.0158 ± 0.0020 %) con el aceite esencial de fruto.

La densidad del aceite esencial de fruto proveniente de Escuintla tiene la mayor magnitud (0.960 ± 0.0408 g/mL), por el contrario, la región de Suchitepéquez obtuvo la menor densidad (0.874 ± 0.0100 g/mL) con el aceite esencial de hoja. El índice de refracción presentó diferencia significativa en función de la parte de la planta para ambas escalas y en función de la escala

para el aceite esencial proveniente de la hoja. El aceite esencial del fruto proveniente de las regiones de Suchitepéquez y Santa Rosa fue el de mayor acidez (pH=3), mientras que el aceite más soluble en etanol fue el de la región Escuintla proveniente de la hoja. La cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas demuestra que el aceite esencial de hoja de la región de Santa Rosa contiene una mayor concentración de d-limoneno.

El aceite esencial de limón criollo (*Citrus aurantifolia* Swingle) se utilizó como componente químico activo en la formulación de jabón en gel de acuerdo con el reglamento técnico centroamericano (RTCA 714.03.45:07) el cual establece la verificación de la calidad de los productos cosméticos, mencionando los organismos patógenos que deben de estar ausentes.

OBJETIVOS

Evaluar y caracterizar fisicoquímicamente el aceite esencial de las hojas y cáscara del limón criollo (*Citrus aurantifolia* Swingle) obtenido de los departamentos de Santa Rosa, Escuintla y Suchitepéquez a escala laboratorio y planta piloto.

Específicos

1. Evaluar el rendimiento del aceite esencial de limón criollo (*Citrus aurantifolia* Swingle) en función de la parte de la planta.
2. Evaluar el rendimiento del aceite esencial de limón criollo (*Citrus aurantifolia* Swingle) en función de la procedencia de la planta.
3. Evaluar el rendimiento del aceite esencial de limón criollo (*Citrus aurantifolia* Swingle) en función de la escala a la que es extraído.
4. Evaluar las características fisicoquímicas (densidad, índice de refracción, pH, solubilidad en etanol y composición química) del aceite esencial de limón criollo (*Citrus aurantifolia* Swingle) en función de la parte de la planta.

5. Evaluar las características fisicoquímicas (densidad, índice de refracción, pH, solubilidad en etanol y composición química) del aceite esencial de limón criollo (*Citrus aurantifolia* Swingle) en función de la procedencia de la planta.
6. Evaluar las características fisicoquímicas (densidad, índice de refracción, pH, y composición química) del aceite esencial de limón criollo (*Citrus aurantifolia* Swingle) en función de la escala a la que es extraído
7. Formular y envasar jabón en gel utilizando el aceite esencial del limón criollo (*Citrus aurantifolia* Swingle) como componente cosmético activo.
8. Analizar el comportamiento del jabón en gel a partir de pruebas organolépticas y físicas (Color, Olor, pH y viscosidad)
9. Realizar un análisis microbiológico y compararlo con el reglamento técnico centroamericano (norma RTCA 71.03.45:07) para determinar la efectividad del jabón en gel.

Hipótesis

Hipótesis nula

H_{0,1}: El rendimiento de extracción del aceite esencial de limón criollo (*Citrus aurantifolia* Swingle) no varía significativamente si dicha operación se realiza con las hojas o el flavedo del fruto.

H_{0,2}: El rendimiento de extracción del aceite esencial de limón criollo (*Citrus aurantifolia* Swingle) no varía significativamente para la materia prima obtenida en las regiones de Santa Rosa, Suchitepéquez y Escuintla.

H_{0,3}: El rendimiento de extracción del aceite esencial de limón criollo (*Citrus aurantifolia* Swingle) no varía significativamente si dicha operación se realiza a escala laboratorio o planta piloto.

H_{0,4}: Las características fisicoquímicas (densidad, índice de refracción y composición del aceite) no varían significativamente si dicha operación se realiza con las hojas o el flavedo del fruto.

H_{0,5}: Las características fisicoquímicas (densidad, índice de refracción y composición del aceite) no varían significativamente para la materia prima obtenida en las regiones de Santa Rosa, Suchitepéquez y Escuintla.

H_{0,6}: Las características fisicoquímicas (densidad, índice de refracción y composición del aceite) no varían significativamente si dicha operación se realiza a escala laboratorio o planta piloto.

H_{0,7}: El jabón en gel no cumple con los parámetros de control de calidad establecidos por el reglamento técnico centroamericano (norma RTCA 71.03.45:07).

H_{0,8}: El análisis microbiológico demuestra que el jabón en gel no cumple con su función antimicrobiana (norma RTCA 71.03.45:07).

Hipótesis alternativa:

H_{i,1}: El rendimiento de extracción del aceite esencial de limón criollo (*Citrus aurantifolia* Swingle) varía significativamente si dicha operación se realiza con las hojas o el flavedo del fruto.

H_{i,2}: El rendimiento de extracción del aceite esencial de limón criollo (*Citrus aurantifolia* Swingle) varía significativamente para la materia prima obtenida en las regiones de Santa Rosa, Suchitepéquez y Escuintla.

H_{i,3}: El rendimiento de extracción del aceite esencial de limón criollo (*Citrus aurantifolia* Swingle) varía significativamente si dicha operación se realiza a escala laboratorio o planta piloto.

H_{i,4}: Las características fisicoquímicas (densidad, índice de refracción y composición del aceite) varían significativamente si dicha operación se realiza con las hojas o el flavedo del fruto.

H_{i,5}: Las características fisicoquímicas (densidad, índice de refracción y composición del aceite) varían significativamente para la materia prima obtenida en las regiones de Santa Rosa, Suchitepéquez y Escuintla.

H_{i,6}: Las características fisicoquímicas (densidad, índice de refracción y composición del aceite) varían significativamente si dicha operación se realiza a escala laboratorio o planta piloto.

H_{i,7}: El jabón en gel cumple con los parámetros de control de calidad establecidos por el reglamento técnico centroamericano (norma RTCA 71.03.45:07).

H_{i,8}: El análisis microbiológico demuestra que el jabón en gel no cumple con su función antimicrobiana (norma RTCA 71.03.45:07).

INTRODUCCIÓN

El limón criollo (*Citrus aurantifolia* Swingle) pertenece a la familia de las rutáceas, la cual consiste en 160 géneros y 1700 especies. Esta fruta se caracteriza por su forma esférica, su contenido de ácido cítrico y de vitamina C.

Este fruto está conformado por una parte externa la cual se le conoce como exocarpio, una intermedia que se conoce como mesocarpio y una parte interna que se le conoce como endocarpio. El exocarpio y las hojas del fruto son de vital importancia en el presente estudio debido a su contenido en aceite esencial, el cual es aprovechado en industrias como la alimenticia, farmacéutica, perfumería, etc.

Los aceites esenciales son mezclas de compuestos químicos, siendo los mayoritarios los terpenos. Entre las características de los aceites esenciales están su viscosidad, su insolubilidad en agua y volatilidad. En la composición química del aceite esencial del limón pueden influir factores como la clase de fertilizante que se utiliza, el clima y la clase de terreno, entre otros. Por esta razón, es de suma importancia considerar estos factores, al momento de emprender una cosecha de limón.

La extracción del aceite esencial de limón puede ser una alternativa económica atractiva para las plantas industriales que procesan el limón y que actualmente desechan su cáscara. El rendimiento de extracción determinado en el presente estudio puede utilizarse para realizar un análisis económico para decidir si le sería rentable a la empresa montar un proceso para la extracción del aceite.

Las pruebas de densidad, pH e índice de refracción pueden utilizarse para control de la calidad de los aceites extraídos. Los datos de solubilidad en etanol se pueden utilizar para asegurar que el aceite esencial permanecerá disuelto en un producto que tenga etanol como disolvente.

El jabón antibacterial es un producto muy utilizado en el mundo. Generalmente los jabones antibacteriales utilizan compuestos odorantes sintéticos, por lo que la aplicación del aceite esencial a un producto de este tipo permitiría mejorar su calidad.

1. ANTECEDENTES

Existe diversidad de estudios acerca de los cítricos, pero se presentará mayor énfasis a investigaciones, relacionadas con la extracción del aceite esencial del limón criollo. Una investigación muy importante llevada a cabo por Dante Guerrero, Alexander Flores, Oscar Jo, Diego Lama, Gloria Luy y Jianwei Mao (2012) en la Universidad de Piura ubicada en las ciudades de Piura y Lima Perú. Dicha investigación se enfocó en el Diseño y experimentación de la línea de producción de una planta procesadora de limones.

En la Universidad Técnica Estatal de Quevedo ubicada en el Ecuador, la investigadora Flor Marina Fon Fay Vásquez realizó la investigación sobre la evaluación del proceso de extracción de aceites esenciales de hojas de limón sutil (*Citrus aurantifolia*), Naranja (*Citrus sinensis*) y mandarina (*Citrus nobilis*) mediante hidrodestilación publicada en 2015.

En la Universidad Nacional de Piura ubicada en Piura y en Lima Perú, se realizó otro estudio en el 2007 para optar al título de Ingeniero Químico. Dicho estudio abordó el modelamiento para la simulación y control dinámico del proceso de arrastre con vapor, del aceite esencial de limón por el estudiante Pedro Manuel Rivera Calle.

En la Universidad de San Carlos de Guatemala se realizó un estudio en el 2015 para optar al título de Ingeniero Químico sobre la extracción del aceite esencial del flavedo de la naranja dulce (*Citrus sinensis* L.) mediante el método de destilación por arrastre con vapor a escala planta piloto

en el Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales (LIEXVE) por la estudiante Joana Betzabé Estrada Jirón.

El trabajo de graduación de Carmen Juan Andrés para optar al título de Ingeniero en Industrias Agropecuarias y Forestales se basó en el estudio de factibilidad de la extracción del aceite esencial del epicarpio del limón persa (*Citrus Latifolia*, Tanaka) a escala laboratorio y escala planta piloto, dicho estudio se realizó en la Universidad de San Carlos de Guatemala en el Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales (LIEXVE).

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Aceites esenciales

Los aceites esenciales son mezclas concentradas y volátiles las cuales son extraídas de las hojas, raíces, cascaras y otras partes de las plantas. Otro aspecto que es de importancia resaltar, es el hecho que los aceites esenciales son en realidad mezclas de compuestos químicos.

Muchos de los aceites esenciales tienen uno o varios compuestos, que se les denominan componentes activos (compuestos químicos que se encuentran en una mayor proporción), estos son los responsables de las diversas propiedades aromáticas, curativas etc., de los aceites esenciales.

Es de importancia hacer notar que, aunque se puede determinar la composición de dichos aceites, mediante técnicas modernas de química analítica, como es el caso de la cromatografía de gases, aun con esta información no se podría preparar un aceite esencial en el laboratorio, porque los sintetizados no contienen las mismas propiedades que los aceites naturales.

2.2. Componentes químicos de los aceites esenciales

Los principales componentes de los aceites esenciales son los hidrocarburos insaturados cuya estructura se basa en unidades del isopreno y los compuestos oxigenados (aldehídos, cetonas, esterres, etc.).

2.2.1. Isopreno

El isopreno (2-metil-1,3-butadieno) es un líquido volátil e incoloro. Este compuesto químico se encuentra solo, o combinado con otros compuestos insaturados. Este compuesto forma gran parte de la estructura de los terpenos, los cuales son parte importante de los aceites esenciales.

2.2.2. Monoterpeno

Estos compuestos están formados por dos unidades de isopreno, por lo tanto, contienen 10 átomos de carbonos y por lo menos un doble enlace. Estos compuestos son los responsables que algunos aceites se descompongan al estar en contacto con el aire, como es el caso del aceite de limón, debido a que este último contiene una gran cantidad de monoterpenos.

2.2.3. Sesquiterpenos

Los sesquiterpenos contienen 3 unidades de isopreno por lo tanto contienen 15 átomos de carbono, estos compuestos son muy importantes, debido a que contiene propiedades antiinflamatorias y antialérgicas.

2.2.4. Fenoles

Los fenoles son una familia de compuestos orgánicos caracterizados por tener el grupo funcional hidroxilo enlazado a un átomo de carbono en un anillo aromático.

Los aceites esenciales que contienen fenoles deben ser utilizados en concentraciones bajas y en cortos periodos de tiempo, debido a que pueden generar efectos nocivos para la salud.

2.3. Propiedades físicas

Los aceites esenciales son líquidos a temperatura ambiente, pero son volátiles, tienen una densidad menor a la del agua y presentan un índice de refracción elevado. Los aceites esenciales son poco solubles en agua (pero algunos componentes aromáticos del aceite esencial se disuelven en el agua) y solubles en alcoholes, aceites fijos y grasas.

2.4. Limón criollo

El limón es un cítrico caracterizado por su forma casi esférica y su sabor ácido. Esta fruta contiene altas concentraciones de ácido cítrico y vitamina C, además de esto, contiene compuestos que actúan como antioxidantes (compuestos que evitan que las moléculas orgánicas pierdan electrones).

El limón criollo poco a poco ha sido desplazado, en algunos países, por el limón persa, a pesar que este limón puede propagarse por semilla o por injerto, y el limón persa, no se puede sembrar con semilla debido a que el fruto no produce.

Figura 1. **Limón criollo**



Fuente: <http://eleconomista.com.mx/estados/2014/03/02/plaga-crimen-encarecen-limon>
consulta: 28 de septiembre de 2017.

2.4.1. Partes del limón criollo

El flavedo del limón criollo es la parte del fruto con aceite esencial.

2.4.1.1. Endocarpio

Es la pulpa jugosa, rica en fibra. En la maduración, el contenido de azúcares y ácidos cambia, aumentando los primeros y disminuyendo los segundos.

2.4.1.2. Flavedo

Se compone de epidermis e hipodermis y es la corteza exterior del fruto. El color del fruto se debe a los pigmentos que se encuentran en la cascara antes de madurar la clorofila tiñe la piel verde, después los carotenoides le dan el color amarillo.

2.4.1.3. Albedo

Es la parte blanca debajo de la cascara, con sabor ligeramente amargo y muy rica en pectina.

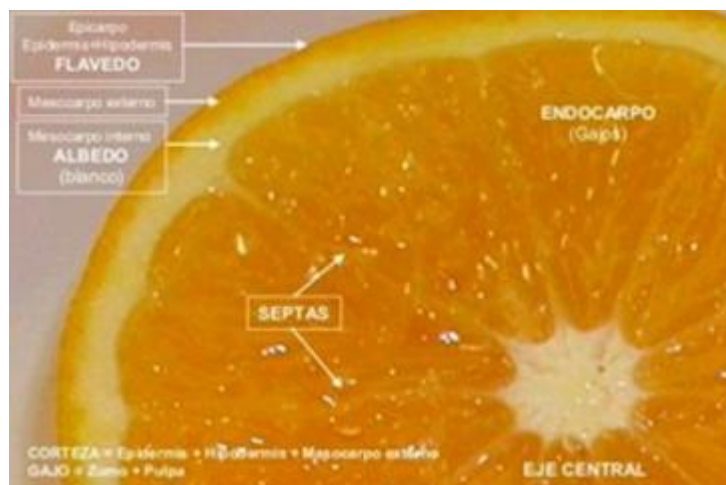
2.4.1.4. Septas

Son las finas paredes celulares que separan los gajos de las naranjas.

2.4.1.5. Eje central

Es el cordón blanco en el centro de la fruta.

Figura 2. Partes de un cítrico



Fuente: <http://citricoslapaz.com/blog/partes-de-un-fruto-citrico/> Consulta: 28 de septiembre de 2017.

2.4.2. Taxonomía y morfología

La siguiente información se extrajo de un artículo de la Universidad de Florida:

- Nombre común: limón criollo o limón sutil
- Nombre científico: *Citrus aurantifolia* Swingle
- Familia: Rutaceae
- Origen: Sur de Asia
- Porte: árbol pequeño rara vez supera los 12 pies de altura, con ramas delgadas, las cuales posean espinas cortas.
- Hojas: las hojas son pequeñas de color verde pálido, con puntas romas y que poseen peciolo alado.
- Flores: son pequeñas, de color blanco y se disponen en grupos en las axilas.
- Frutos: son muy pequeños (1.5 a 2 pulgadas) y de forma redondeada a oval.

2.4.3. Clima en el cual se cultiva el limón criollo

El limón criollo es muy sensible a las temperaturas frías, por lo tanto, un requisito para la producción de esta clase de limón es que se siembren los árboles en regiones cálidas. El limón criollo tiene un alto requerimiento de calor, para producir frutos de buen tamaño. Si el área donde se desea sembrar el limón criollo se producen vientos fríos durante el invierno, es necesario proteger los árboles.

2.4.4. Aceite esencial de limón

El aceite esencial de limón se puede extraer de las hojas y de la cascara del cítrico, mediante métodos de extracción como la hidrodestilación. Este aceite tiene un aroma fresco, un color que va desde el verde hasta el amarillo y una viscosidad no muy alta. Entre los componentes activos que tiene el aceite esencial de limón se encuentran: el limoneno, alfa-pineno y el linalool.

Tabla I. **Propiedades fisicoquímicas e información técnica del aceite esencial de limón**

Número CAS	68917-33-9
Punto de ebullición	176°C
Densidad a 25°C	0,853 g/mL
Índice de refracción	1,475
Punto Flash	130°F

Fuente: Chemical Book,

http://www.chemicalbook.com/ChemicalProductProperty_US_CB0378594.aspx Consulta:
18/04/2016.

2.4.4.1. Limoneno

El limoneno es la sustancia que le da el olor característico a las naranjas y a los limones. Este compuesto tiene dos estereoisómeros: el D- limoneno y L- limoneno, entre estos dos compuestos el más utilizado es el D-limoneno el cual ha llegado a ser el sustituto de otros compuestos tóxicos, que se utilizaban anteriormente.

Algunos de los usos que se le dan al D-limoneno se encuentran:

- Limpieza de drenajes y alcantarillado

- Control y eliminación de grasas
- Desengrasante de líneas de producción
- Limpieza en general
- Limpieza de equipos de asfalto
- Remoción de aceite en carreteras y pistas
- Lavado de unidades recolectoras de basura
- Lavado de máquinas automotrices, ferrocarriles, avionetas, etc.
- Lavado de piezas mecánicas.

Tabla II. **Propiedades fisicoquímicas e información técnica del d-limoneno**

Nombre IUPAC	1-metil-4-(1-metiletetil)-ciclohexano
Número CAS	5989-27-5
Aspecto y olor	Líquido incoloro a amarillo pálido, olor cítrico
Punto de fusión	-96°C
Punto de ebullición	176°C
Índice de refracción	96° a 104°
Solubilidad (en agua)	Insoluble
Gravedad específica	0,838 a 0,843 a 20°C

Fuente: Transmerquin. <http://www.gtm.net/images/industrial/d/D-LIMONENO.pdf>. Consulta: 17 de abril de 2016.

2.4.4.2. Alfa-pineno

El alfa-pineno es un líquido sin color cuya densidad es menor a la del agua, siendo también insoluble en este último compuesto. Los vapores de este compuesto tienen una mayor densidad que el aire.

Este compuesto se utiliza como lubricante y como aditivo de estos, además se usa como intermediario químico. El alfa-pineno es uno de los terpenos más

comunes en el mundo de las plantas, tiene capacidades anti oxidativas, evita el crecimiento acelerado de las bacterias, disminuye la inflamación y alivia el dolor.

Tabla III. **Propiedades fisicoquímicas e información técnica del alfa-pineno**

Nombre IUPAC	4,5,5-trimetilbicyclo[3.1.1] hept-eno
Número CAS	80-56-8
Aspecto y olor	Líquido incoloro con olor a pino
Punto de fusión	-62,5°C
Punto de ebullición	156°C
Índice de refracción	1,4632
Solubilidad (en agua)	2,49 mg/mL
Gravedad específica	0,8592 a 20°C

Fuente: Pubchem. <https://www.alfa.com/content/msds/SouthAmerican/L04941.pdf> Consulta: 17 de abril de 2016.

2.4.4.3. Linalool

El linalool es un líquido incoloro, soluble en alcohol, éter, aceites fijos, propilenglicol, cuya densidad es menor a la del agua. Este compuesto es usado a nivel industrial como un agente odorante y un intermediario químico.

El linalool es un alcohol, puesto que contiene un grupo hidroxilo en la molécula, dicho compuesto se encuentra entre los componentes volátiles de las flores.

Tabla IV. **Propiedades fisicoquímicas e información técnica del Linalool**

Nombre IUPAC	3,7-dimetiloocta-1,6-dien-3-ol
Número CAS	78-70-6
Aspecto y olor	Líquido incoloro con olor a floral
Punto de ebullición	198°C
Índice de refracción	1,4627
Solubilidad (en agua)	1590 mg/mL
Gravedad específica	0,858 a 20°C

Fuente: Pubchem. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/6549> Consulta: 17 de abril de 2016

2.5. Métodos de extracción de aceites esenciales

Puesto que la presente investigación se trata de extraer el aceite esencial de las hojas y de la cascara del limón criollo es necesario describir las técnicas que se van a utilizar las cuales son hidrodestilación y arrastre con vapor.

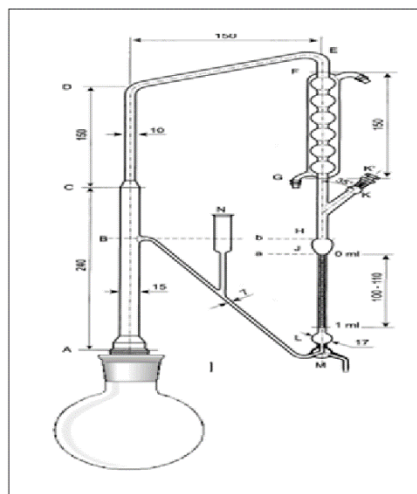
2.5.1. Hidrodestilación

Es un método que sirve para la extracción del aceite esencial de algunos productos naturales, durante la hidrodestilación los componentes del aceite esencial forman una mezcla azeotrópica con el agua.

En este método el material se sumerge en el agua; luego, esta mezcla se ebulle, esto provoca que el vapor producido, arrastre parte del aceite esencial, siendo esta mezcla condensada para luego ser decantada. En el laboratorio se utilizará una cristalería conocida como Neoclavenger, el cual permite colocar materia prima en un balón, para luego agregar agua y por último calentar hasta que hierva el agua.

Es importante considerar que si el calentamiento de la mezcla agua-materia prima se realiza con fuego, se debe tener una gran cantidad de agua, para evitar que se carbonice el material al cual se le va a extraer el aceite esencial.

Figura 3. **Neoclevenger**



Fuente: https://www.researchgate.net/figure/274312856_fig2_Figure-52-Schematic-diagram-of-Clevenger-apparatus-dimensions-are-shown-in Consulta: 1 de octubre de 2017.

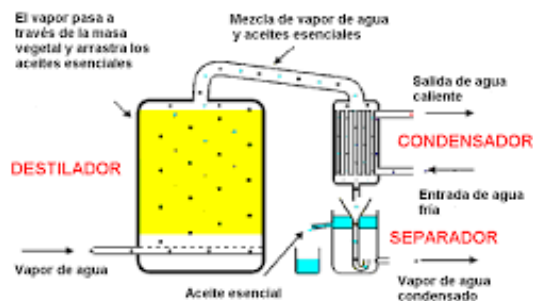
2.5.2. Destilación por arrastre con vapor

Este tipo de destilación se utiliza normalmente para la extracción de aceites esenciales de las plantas. En este método el vapor se pone en contacto con el material que se le desea extraer el aceite esencial, este luego se volatiliza, para después formar una mezcla vapor-aceite la cual es condensada, puesto que el aceite esencial y el agua son prácticamente inmiscibles, estos se separan posteriormente mediante decantación.

Es importante que el producto que se destilará, por arrastre con vapor, no tenga una temperatura de descomposición, muy baja porque el momento de estar en contacto con el vapor, puede que algunas propiedades del aceite se pierdan. Un factor de suma importancia que se debe considerar al realizar esta operación es que el tamaño de partícula no debe ser pequeño, porque el vapor puede arrastrar el material.

Es necesario utilizar un solvente de captura cuando la cantidad de aceite esencial recuperado no se puede separar por decantación. Normalmente para este proceso se utiliza hexano, debido a que es insoluble en agua y solubiliza el aceite esencial. Posteriormente, es necesario separar el hexano y el agua mediante decantación para luego concentrar el extracto evaporando el solvente.

Figura 4. **Diagrama de equipo de destilación por arrastre con vapor**



Fuente: <http://www.members.tripod.com/aromaticas/Aceites.htm> Consulta: 6 de diciembre de 2017.

2.5.3. Expresión en frío

La expresión en frío es un método que se utiliza específicamente para la extracción del aceite esencial de cítricos como el limón, la naranja y mandarina. La extracción industrial del aceite esencial se realiza mediante la compresión de

la materia prima que provoca el rompimiento de la parte del fruto que contiene el aceite esencial.

Un aspecto muy importante de la expresión en frío es que los rendimientos de extracción son bajos, esto es necesario considerarlo si se planea utilizar esta técnica a nivel industrial. La mayor ventaja de este procedimiento es que no existe contaminación química en el aceite esencial.

2.5.4. Enfloraje

Este método ha sido utilizado desde la antigüedad para extraer los aromas de ciertas plantas, y ha sido una práctica principalmente artesanal. Para utilizar este método es necesario introducir la materia prima (flores) en grasa, esto se realiza debido a que este último tiene la tendencia a solubilizar los componentes del aceite esencial.

Al utilizar este método es necesario que el tiempo de extracción no sea muy largo debido al deterioro que sufre la grasa al estar en contacto con el oxígeno. Esta técnica actualmente se encuentra desuso debido a que el proceso no es económicamente eficiente a gran escala, por lo que solo pequeño productores de aceite esencial lo utilizan. Debido a que en este método el aceite esencial no se expone a elevadas temperaturas, los componentes aromáticos del extracto se conservan satisfactoriamente.

2.5.5. Extracción hiper-crítica con dióxido de carbono

En esta técnica extractiva se somete el dióxido de carbono a la presión y temperatura crítica, lo que permite que este compuesto actúe como solvente,

solubilizando el aceite esencial de la materia prima que se ingresó en el proceso.

Los componentes extraídos de una planta mediante este método son similares a los del aceite esencial; sin embargo, existen casos como la extracción del frankincense, en la cual el extracto contiene ciertas propiedades medicinales, que no se encuentran en el aceite esencial.

El costo de operación se encuentra entre las principales desventajas de este método. Es exclusivo para las industrias que tienen una alta capacidad económica. Además de su elevado costo de operación, los costos fijos de diseño e instalación y el equipo son mayores que si se comparan con los métodos tradicionales de extracción, por lo que este método no se aconseja que se utilice para la producción a nivel nacional de aceite esencial.

2.6. Análisis fisicoquímicos de aceites esenciales

El éxito del proceso extractivo de un aceite esencial no solo se verifica mediante el rendimiento, sino mediante análisis fisicoquímicos que determinan la calidad del aceite, siendo estos parámetros indispensables para que una industria pueda garantizar la calidad del aceite.

Una razón muy importante para realizar los análisis fisicoquímicos periódicamente es verificar que la calidad del producto permanezca dentro de los parámetros aceptables cada vez que se produzca en la planta.

2.6.1. Cromatografía de capa fina

La separación de los componentes del aceite esencial mediante la cromatografía de capa fina se basa en la diferencia de polaridad que tienen las moléculas. Debido a la diferencia de afinidad de los componentes del aceite esencial con la fase estacionaria se efectúa la separación y la identificación cualitativa mediante la comparación con un estándar. Se deben consultar los manuales para determinar la mezcla de solventes que permitirá una separación adecuada de las sustancias.

Es importante hacer notar que, al realizar un análisis con una muestra tan compleja, como un aceite esencial, con este método no permite obtener resultados satisfactorios, debido a la baja resolución que tiene esta técnica. A pesar de esto, todavía se utiliza como una prueba cualitativa preliminar. Otra desventaja que tiene la técnica es que no es posible cuantificar un componente sino solo detectarlo. La cromatografía gaseosa es la técnica utilizada para cuantificar los componentes del aceite esencial.

2.6.2. Cromatografía gaseosa

La cromatografía de gases permite separar compuestos mediante la diferencia de afinidad entre la fase estacionaria y la fase móvil. Para utilizar esta técnica se requiere que el analito sea un gas o un líquido volátil, puesto que los aceites esenciales tienen esta característica esta técnica se utiliza para analizar las muestras.

Es importante al elegir la fase móvil que esta sea inerte para los componentes del aceite esencial. Para conocer si esta técnica es aplicable a una muestra es necesario conocer los puntos de ebullición de los componentes

que se desean identificar porque de lo contrario se debe utilizar la técnica de cromatografía líquida de alta resolución.

2.6.3. Cromatografía gaseosa acoplada a espectrometría de masas

La ventaja de acoplar un cromatógrafo de gases a un espectrómetro de masas es que muestras complejas, como los aceites esenciales pueden ser analizadas de forma precisa. Como se había mencionado, la separación de los componentes se realiza en la columna cromatográfica. Después de esto los compuestos pasan al espectrómetro de masas. En esta parte del sistema los componentes son identificados comparándolos con la biblioteca virtual de la computadora.

Es importante mencionar que el espectro de masas es característico de un determinado compuesto, si solo un componente se encuentra bajo el máximo cromatográfico. Para evitar la superposición de los picos cromatográficos se necesita una fase móvil que en conjunto con la fase estacionaria puedan separar satisfactoriamente los componentes. Esto se logra variando la polaridad de la fase móvil mediante la mezcla de solventes.

2.6.4. Densidad

La densidad es el espacio que ocupa una determinada cantidad de masa a una temperatura dada. Es necesario especificar la temperatura a la que se realizó una medición de densidad debido a que esta propiedad se ve fuertemente influenciada por la temperatura.

La mayoría de los aceites esenciales tienen una menor densidad que el agua, Este factor y su baja solubilidad provocan que, en el agua, el aceite se encuentre en la parte superior del agua al momento de la decantación. Este parámetro puede ser una verificación preliminar para comparar la densidad del aceite con un valor patrón para control de calidad del extracto.

2.6.5. Índice de refracción

Es la medida del doblamiento que sufre un haz de luz al pasar de un medio a otro. Este equipo se utiliza para este ensayo conocido como refractómetro. La medición del índice de refracción se utiliza como una prueba de control de calidad en la cual se compara el índice de refracción medido con un índice estándar para corroborar que las propiedades del aceite no han cambiado en el proceso.

Es necesario que, al realizar la medición del índice de refracción, la muestra se encuentre filtrada, para evitar que partículas en la muestra afecten el doblamiento que sufre el haz de luz al pasar por la muestra. Otro parámetro de suma importancia es reportar la temperatura a la que se midió el índice de refracción porque el índice se ve fuertemente influenciado por la temperatura.

2.6.6. Potencial de hidrógeno

El pH es una escala logarítmica que se utiliza para representar el grado de acidez de un compuesto, mediante la concentración de cationes hidronio. Esta propiedad del aceite esencial se puede medir mediante un instrumento conocido como potenciómetro y se puede utilizar como parámetro para realizar un control de calidad del extracto.

2.6.7. Solubilidad

La solubilidad es la cantidad de masa de soluto que se puede disolver en otro compuesto. Esta propiedad se ve fuertemente influenciada por la polaridad tanto del solvente como del soluto por lo que se debe considerar al momento de realizar un ensayo de este tipo.

Esta propiedad es muy importante porque los aceites esenciales se utilizan en diversidad de productos, como perfumes y alimentos, por lo tanto, es necesario verificar que el aceite se mantendrá soluble en el producto en los rangos de temperatura a los cuales estará expuesto.

2.7. Factores que afectan el rendimiento de los aceites esenciales

En el rendimiento de una extracción influyen diversos factores que se deben tomar en cuenta cuando se quiere industrializar el proceso de extracción de aceite esencial. Los factores mencionados que afectan el rendimiento son los siguientes:

2.7.1. Materia prima

Se refiere a las características de la planta, las cuales reciben influencia significativa del lugar de cultivo, temperatura ambiental, humedad del suelo, cantidad de microorganismos, etc. Por esta razón, es importante al realizar un estudio especificar el lugar de donde se obtuvo la materia prima. Otro aspecto de suma importancia que puede afectar el rendimiento extractivo es la época en que se realiza la producción.

El estado de maduración de una planta es importante considerarlo, al realizar un estudio de rendimiento, debido a que, mientras transcurre el proceso de maduración, algunos compuestos varían en su concentración en las diversas partes de las plantas.

2.7.2. Fertilización del limón

Para que el árbol pueda desarrollar sus frutos, es necesario la fertilización con macro y micronutrientes, como el potasio, que permite un crecimiento adecuado del fruto con mucho jugo. El tipo de fertilización que le provea a la planta afectara la producción de aceite esencial de la misma, por lo que este paso es de suma importancia.

2.7.3. Tiempo de secado

Esta etapa es utilizada para favorecer la ruptura de las paredes celulares de la materia vegetal lo que permite que el proceso de lixiviación sea más rápido y eficiente, si esta etapa no se realizara se tendría una mayor resistencia a la transferencia de masa por lo que el rendimiento decaería.

Es necesario controlar la temperatura del secador, debido a que algunos compuestos del aceite esencial son termolábiles. Otro factor que se debe tomar en cuenta es el flujo másico de aire que ingresa en el secador el cual debe evitar ser elevada para evitar el arrastre de la materia prima que se está secando.

2.7.4. Tamaño de partícula

El tamaño de partícula es de suma importancia en el proceso extractivo, debido a que una reducción del tamaño de la materia prima permite que

aumente el área de transferencia de masa, pero esta reducción no debe ser muy grande debido a que esto provocaría el arrastre de las partículas cuando se utiliza la técnica de destilación por arrastre con vapor directo.

2.7.5. Tiempo de extracción

El tiempo es una variable muy importante en cualquier proceso extractivo, debido a que, si el contacto entre el solvente y la materia prima se realiza por un periodo corto de tiempo el rendimiento será bajo, si se deja un periodo largo, el proceso no será viable económicamente debido a que aumentarían los costos variables.

Se determina el tiempo óptimo de extracción mediante ensayos a nivel laboratorio, antes de emprender un proyecto a escala industrial, esto permitirá diseñar un proceso viable desde el punto de vista económico y técnico. El tiempo varía de acuerdo con la materia prima que se utilice y de acuerdo a la relación materia prima- solvente.

2.8. Planta piloto de extracción-destilación

La planta piloto se utiliza para determinar rendimientos que se obtendrían si el proceso se llevara a cabo a nivel industrial, esto permite recolectar datos sin realizar la instalación del equipo industrial, además, permite la evaluación económica del proyecto para determinar si es financieramente viable.

Para el proceso de extracción de aceite esencial a escala planta piloto se utiliza la técnica de destilación con arrastre de vapor directo, mediante la planta piloto se pueden evaluar los costos variables que tendría este proceso a nivel

industrial además permite obtener datos de rendimiento más cercanos a los que se obtendrían a nivel industrial.

Figura 5. **Planta piloto de extracción-destilación**



Fuente: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales (LIECVE), 15 de mayo de 2016.

La planta piloto consta con una marmita de extracción, la cual cuenta con platos perforados, siendo estos en donde se deposita la materia prima para la extracción del aceite esencial el cual posteriormente es condensado mediante un intercambiador de coraza y tubos, siendo recuperado en la unidad conocida como vaso Fiorentino.

2.8.1. Partes de la planta piloto

La planta piloto es una herramienta indispensable al realizar un estudio económico de un proceso de extracción de aceites esenciales por lo cual se deben conocer su funcionamiento.

2.8.1.1. Condensador

Equipo que permite realizar un cambio de fase (vapor a líquido) mediante la utilización de un líquido que se encuentra a una temperatura inferior a la del vapor. El condensador de la planta piloto es un intercambiador de calor de coraza y tubos, este tipo de intercambiador contiene un elevado número de tubos empacados en una carcasa. Es necesario que el caudal del agua de enfriamiento se regulado mediante la válvula para evitar una condensación parcial del vapor que pasa por la unidad.

2.8.1.2. Bomba de vacío

Equipo que permite extraer el aire contenido en un medio, para disminuir la presión interna del equipo a un valor menor que la presión atmosférica del lugar donde se realiza la extracción. Este tipo de bomba puede utilizarse en una columna de destilación para disminuir los puntos de ebullición de los componentes a separar y evitar que las moléculas del extracto se descompongan.

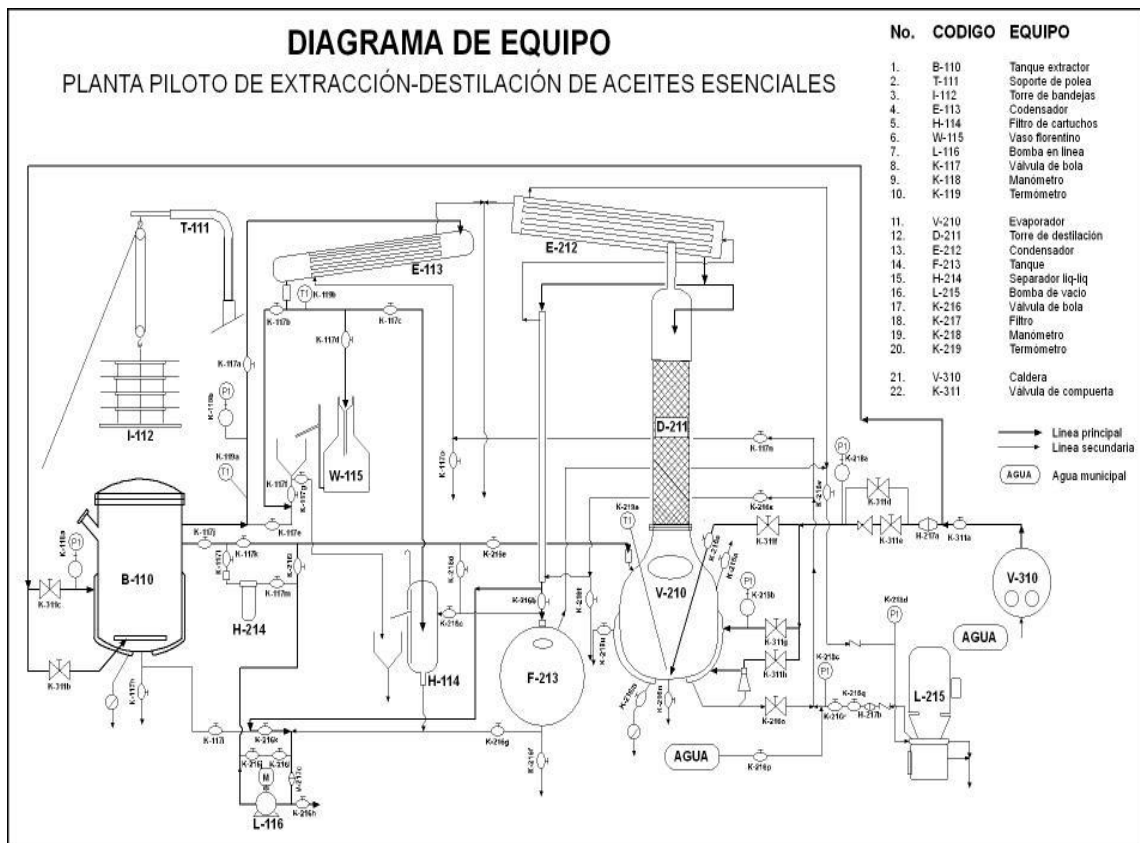
2.8.1.3. Vaso Fiorentino

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

2.8.1.4. Válvula

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

Figura 6. Plano de la planta piloto de extracción-distilación (LIEXVE)



Fuente: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales (LIEXVE) Consulta: 15 de mayo de 2016.

2.9. Aplicaciones de aceites esenciales

Los aceites esenciales se utilizan en una amplia variedad de industrias.

2.9.1. Industria alimentaria

La aplicación de los aceites esenciales en la industria alimentaria abarca los embutidos, sopas, helados y quesos, entre otros, los aceites más utilizados son los de cilantro, naranja y menta.

Los aceites esenciales se utilizan para saborizar refrescos, como un valor agregado al producto debido que no perjudica la salud de los consumidores.

2.9.2. Industria farmacéutica

Los aceites esenciales se utilizan en productos para inhibir el dolor y descongestionar las vías respiratorias de las personas. Para formular un producto es necesario que se considere la solubilidad del aceite esencial en el vehículo para aprovechar toda la capacidad curativa de este.

Debido al desagradable sabor de algunos medicamentos es común que las compañías utilicen los aceites esenciales para la fabricación de neutralizantes del sabor.

2.9.3. Perfumería

Debido al agradable aroma del aceite esencial de algunas plantas los productores de perfumes utilizan mezclas de aceites en su producto para obtener olores deseables a sus consumidores. Es importante resaltar que la

técnica de extracción influye considerablemente en las características organolépticas del aceite por lo que el fabricante de perfumes debe evitar las técnicas de extracción que utilizan temperaturas elevadas.

Las alergias que producen algunos compuestos contenidos en el aceite esencial han provocado una iniciativa para la eliminación de estos alérgenos, siendo no adoptada por la mayoría de las empresas productoras de perfumes.

2.9.4. Productos de aseo personal

Para atraer a los consumidores con un olor agradable se utilizan aceites esenciales en la formulación de los productos. Algunos aceites esenciales, además de aportar un olor agradable, también tienen propiedades antisépticas por lo que se pueden utilizar para disminuir la población bacteriana.

2.10. Jabón antibacterial

Producto utilizado para la desinfección de la piel. Este producto se aplica en la piel sin la posterior aplicación de agua para removerlo, siendo la característica que le da ventaja sobre otros productos de aseo personal.

2.10.1. Componentes del jabón antibacterial

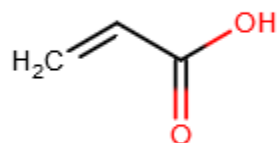
La fabricación del jabón antibacterial requiere que se utilicen las cantidades correctas de cada componente para obtener un producto de calidad.

2.10.1.1. Carbopol

El carbopol es un polímero reticulado del ácido acrílico, que tiene la propiedad de no repeler el agua. En su estructura molecular el carbopol cuenta con grupos carboxilo lo que permite hincharse en presencia de agua, debido a su grupo funcional el carbopol es afectado por los cambios de pH del producto, siendo esta la razón por la que la neutralización con una base soluble en agua provoca que el nivel de hinchazón de las partículas aumente, al igual que su viscosidad.

La capacidad espesante, así como la capacidad para aumentar su viscosidad al cambiar el pH del producto, permite utilizar al Carbopol como agente fijador en la industria cosmética y farmacéutica para la producción de geles. Este reactivo también se utiliza para la estabilización en agua de emulsiones de aceite esencial.

Figura 7. **Molécula de carbopol**

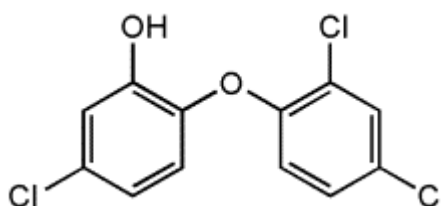


Fuente: <https://chem.nlm.nih.gov/chemidplus/rn/9003-01-4> Consulta: 12 de diciembre de 2017.

2.10.1.2. Triclosán

El triclosán es un compuesto aromático clorado que se utiliza como agente antibacteriano. Los grupos funcionales representativos de éteres y fenoles le dan una solubilidad muy baja en el agua, por lo que se utiliza una mezcla agua y etanol para agregarlo a los productos de aseo personal.

Figura 8. Molécula de triclosán

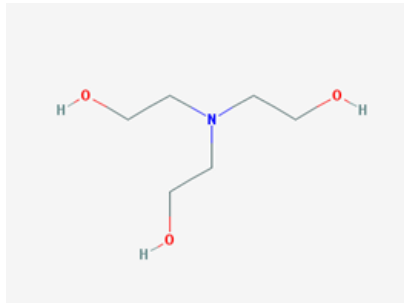


Fuente: <https://www.quiminet.com/articulos/que-es-el-triclosan-13323.htm> Consulta: 12 de diciembre de 2017.

2.10.1.3. Trietanolamina

Es una amina terciaria utilizada como emulsionante y tensoactivo. Este producto es utilizado en los productos de aseo personal como regulador de pH y agente alcalinizante. Este reactivo tiene la función de evitar los cambios bruscos de pH del jabón debido a la exposición del producto a distintas temperaturas.

Figura 9. **Molécula de trietanolamina**

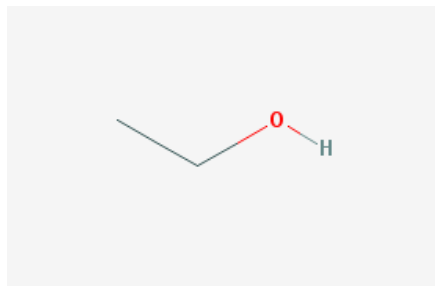


Fuente: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/triethanolamine#section=2D-Structure> Consulta: 12 de diciembre de 2017.

2.10.1.4. **Etanol**

El etanol es un alcohol primario que cadena corta que se utiliza como bactericida en la industria cosmética. El etanol tiene la capacidad para disolver compuestos como el triclosán, por lo que se utiliza en conjunto con el agua para fabricar productos de aseo personal.

Figura 10. **Molécula de etanol**

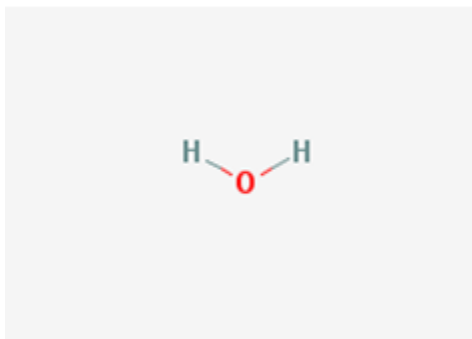


Fuente: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/702#section=Top> Consulta: 12 de diciembre de 2017.

2.10.1.5. Agua destilada

El agua que se utiliza normalmente contiene minerales y otros compuestos disueltos, debido a esto para la utilización de este líquido a nivel laboratorio es necesario eliminar las impurezas, siendo esta agua tratada conocida como agua destilada.

Figura 11. Molécula de agua



Fuente: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/water#section=2D-Structure>

Consulta: 12 de diciembre de 2017.

2.10.2. Pruebas de calidad de jabón antibacterial

Para el aseguramiento de la inalterabilidad de las propiedades del jabón en el proceso se realizan pruebas fisicoquímicas periódicas.

2.10.2.1. Pruebas físicas

Permiten determinar características del producto, como lo es la densidad y viscosidad. Para la elaboración de un producto es necesario mantener estas propiedades estables de lote en lote.

2.10.2.2. Pruebas químicas

Se deben efectuar pruebas de identificación, características químicas y de contenido de ingredientes activos en aquellas sustancias restringidas cuando aplique, esto se encuentra en el documento CONSLEG: 196L0768.

2.10.2.3. Pruebas microbiológicas

Deben realizarse a todos los cosméticos, excepto a los que no sean susceptibles a la contaminación microbiológica por la propia naturaleza del cosmético.

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Localización

Los laboratorios en los cuales se realizó el procedimiento experimental del presente estudio de investigación son los siguientes:

- Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales (LIEXVE), Sección de Química Industrial, Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Laboratorio de Investigación de Productos Naturales (LIPRONAT), Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Laboratorio de Análisis Físicoquímicos (LAFIQ), Sección de Química Industrial, Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Laboratorio de Análisis Físicoquímicos y Microbiológicos (LAFYM), Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, Instituto de Investigaciones, Universidad del Valle de Guatemala.

3.2. Variables

Símbolo matemático que representa un número en una expresión matemática.

3.2.1. Variables independientes

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

Tabla V. **Variables independientes en el proceso de extracción del aceite esencial de limón criollo (*Citrus aurantifolia* Swingle)**

Número	Variable	Dimensional	Descripción
1	Parte de planta	No aplica	Hojas y flavedo de limón
2	Tipo de escala	No aplica	Laboratorio y planta piloto
3	Departamento	No aplica	Santa Rosa, Escuintla y Suchitpequez

Fuente: elaboración propia.

3.2.2. Variables dependientes

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

Tabla VI. **Variables dependientes en el proceso de extracción del aceite esencial de limón criollo (*Citrus aurantifolia* Swingle)**

Número	Variable	Unidad	Descripción
1	Rendimiento	%	Depende de la parte de la planta, tipo de escala y lugar de procedencia.
2	Densidad	g/mL	Depende de la parte de la planta, tipo de escala y lugar de procedencia.
3	Índice de refracción	Adimensional	Depende de la parte de la planta, tipo de escala y lugar de procedencia.
4	Componentes activos del aceite del esencial	%	Depende de la parte de la planta, tipo de escala y lugar de procedencia.
5	pH	Adimensional	Depende de la parte de la planta, tipo de escala y lugar de procedencia.
6	Solubilidad en etanol	g/mL	Depende de la parte de la planta y lugar de procedencia.

Fuente: elaboración propia.

3.2.3. Variables de respuesta

En función de los resultados que se obtuvieron en la fase experimental se determinó que la variable de respuesta para el proceso de extracción del aceite esencial fue el rendimiento extractivo, el cual es función de la parte de la planta, departamento y tipo de escala.

3.3. Delimitación del campo de estudio

Se refiere a la limitación de la extensión del área de estudio.

3.3.1. Obtención de la materia prima

Se utilizó el fruto y hojas provenientes de los departamentos de Santa Rosa, Suchitepéquez y Escuintla.

3.3.2. Extracción del aceite esencial

Se utilizaron los métodos de hidrodestilación y destilación por arrastre con vapor directo, a escala laboratorio y planta piloto respectivamente, en las instalaciones del Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales (LIEXVE), en la sección de Química Industrial, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

3.3.3. Análisis fisicoquímico del aceite esencial

La determinación de la densidad, solubilidad en etanol se realizaron en el Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales (LIEXVE), en la sección de Química Industrial, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, mientras que la medición del índice de refracción se efectuó en el Laboratorio de Investigación de productos Naturales (LIPRONAT), Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala.

3.3.4. Análisis cuantitativo del aceite esencial

La cuantificación mediante la cromatografía gaseosa con acoplamiento a espectrometría de masas para el aceite esencial se realizó en el Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada del Instituto de Investigaciones de la Universidad del Valle de Guatemala.

3.3.5. Formulación de jabón en gel

Se realizó jabón en gel utilizando el aceite esencial de hoja de limón criollo (*Citrus aurantifolia* Swingle), dicho producto se formuló en el Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales (LIEXVE), en la sección de Química Industrial, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

3.3.6. Control de calidad para el gel antibacterial

Las pruebas de calidad que se realizaron en el gel antibacterial fueron color, olor, pH en el Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales (LIEXVE), en la sección de Química Industrial, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

3.3.7. Control microbiológico para el gel antibacterial

Las pruebas de acción bactericida y contaminación para el gel antibacterial se realizaron en el Laboratorio de Análisis Físicoquímicos y Microbiológicos (LAFYM), Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala.

3.3.8. Recursos humanos disponibles

- Investigador: Derick Junior Carrera Guerra.
- Asesores: Inga. Telma Maricela Cano Morales e Ing. Mario José Mérida Meré.

3.3.9. Recursos materiales disponibles

La materia prima que se utilizó fue de las regiones que especifica el presente estudio de investigación y los reactivos que se utilizaron se especifican más adelante.

3.3.9.1. Materia prima y reactivos

La materia prima y los reactivos que se utilizaron se especifican en la siguiente tabla:

Tabla VII. **Materia prima y reactivos utilizados en la extracción del aceite esencial de limón criollo (*Citrus aurantifolia* Swingle) y en la formulación del gel antibacterial**

Materia prima	Fruto de limón criollo
	Hojas de limón criollo
Reactivos	Hexano
	Agua desmineralizada
	Etanol 95%
	Trietanolamina
	Triclosán
	Carbopol ultra

Fuente: elaboración propia.

3.3.9.2. Instrumentos de laboratorio y cristalería

Los instrumentos de laboratorio que se utilizaron fueron los siguientes:

Tabla VIII. **Cristalería e instrumentos de laboratorio utilizados en la extracción del aceite esencial de limón criollo (*Citrus aurantifolia* Swingle) y en la información del gel antibacterial**

Instrumentos de laboratorio	Manta de calentamiento
	Embudo
	Agitador magnético
Cristalería	Balón de 1000 mL
	Balón de 500 mL
	Neoclevenger
	Beaker
	Probeta
	Vial color ámbar
	Ampolla de decantación

Fuente: elaboración propia.

3.3.9.3. Recursos generales

En la siguiente tabla se especifican los artículos auxiliares que se utilizaron:

Tabla IX. **Recursos generales**

Útiles de oficina	Papel bond
	Lapiceros
	Cuaderno de bitácora
	Cartucho para tinta
Vestimenta de seguridad	Bata
	Mascarilla de gases
	Mascarilla de polvo
	Guantes de neopreno
	Guantes de Látex
Artículos de limpieza	Jabón para manos
	Jabón en gel para limpieza de cristalería
	Papel mayordomo
Otros recursos	Diesel
	Mangueras
	Impresora
	Electricidad

Fuente: elaboración propia.

3.3.9.4. Instrumentos de medición y equipo auxiliar

- Bureta
- Balanza analítica

Figura 12. **Balanza analítica**



Fuente: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales (LIEXVE) 10 de marzo de 2018.

- Campana de extracción

Figura 13. **Campana de extracción**



Fuente: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales (LIEXVE) 10 de marzo de 2018.

Figura 14. **Rotaevaporador**



Fuente: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales (LIEXVE) 10 de marzo de 2018.

Figura 15. **Refractómetro**



Fuente: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales (LIEXVE) 10 de marzo de 2018.

3.4. Técnica cualitativa y cuantitativa

En esta investigación se utilizó una técnica cuantitativa para la determinación del rendimiento del aceite esencial, así como para las propiedades fisicoquímicas del mismo (densidad, índice de refracción, solubilidad en etanol, pH e identificación de compuestos mayoritarios).

Para la formulación del gel antibacterial se utilizó una técnica cuantitativa-experimental, mientras que para las propiedades organolépticas (olor y color) y propiedades fisicoquímicas (Viscosidad y pH) se utilizó una técnica cuantitativa. La eficiencia del gel antibacterial se determinó por medio de una técnica cuantitativa.

3.4.1. Extracción del aceite esencial de limón criollo (*Citrus aurantifolia* Swingle) utilizando la técnica de hidrodestilación a escala laboratorio

- Colocar 50 g de cáscara de limón u hojas según la extracción en un balón de 1000 mL.
- Agregar 750 mL de agua destilada al balón de 1000 mL.
- Acoplar el balón con el Neoclevenger.
- Recircular el agua al condensador del Neoclevenger mediante una bomba, manteniendo el agua, de este, fría.
- Calentar el agua y la materia prima mediante la manta de calentamiento.
- Tomar 4 horas como tiempo de extracción.
- Suspender el calentamiento una vez terminada la extracción.
- Tarar el vial ámbar.
- Transferir el aceite al vial ámbar.

- Determinar la masa del aceite con la balanza analítica.

3.4.2. Extracción del aceite esencial de limón criollo (*Citrus aurantifolia* Swingle) utilizando la técnica de arrastre con vapor directo a escala planta piloto

- Purgar la caldera, luego que la bomba termine de elevar el nivel de agua, encender la caldera.
- Pesar en la balanza la materia prima.
- Agregar agua y hexano al vaso florentino en ese orden.
- Abrir las válvulas para que el agua pase a través del condensador.
- Si la presión de la caldera es igual o mayor a 80 psi, abrir la válvula de vapor.
- Tomar el tiempo de extracción cuando se observe la condensación del vapor, dejar la extracción por 4 horas.
- Al terminar las 4 horas cerrar la válvula de vapor y la válvula que controla el paso de agua.
- Apagar la caldera.
- Descargar la mezcla de hexano-aceite esencial y el agua del vaso florentino.
- Colocar la mezcla de hexano-aceite esencial y el agua en la ampolla de decantación hasta que se observe la separación de las fases.
- Abrir la válvula de la ampolla hasta que se observe que solo quedo la mezcla hexano-aceite esencial.
- Eliminar el hexano utilizando el rotaevaporador.
- Tarar el vial ámbar.
- Verter el aceite esencial en el vial ámbar.
- Determinar la masa del aceite esencial utilizando una balanza analítica.

3.4.3. Medición de la densidad del aceite esencial de limón criollo (*Citrus aurantifolia* Swingle)

- Llenar la bureta graduada con agua desmineraliza.
- Medir con la balanza analítica la masa del beaker, bureta y agua.
- Agregar el aceite esencial hasta el volumen deseado.
- Medir la masa del aceite esencial con la balanza analítica.
- Limpiar la bureta con alcohol y agua antes de repetir el proceso.

3.4.4. Medición del índice de refracción del aceite esencial de limón criollo (*Citrus aurantifolia* Swingle)

- Limpiar el prisma del refractómetro con xylol.
- Agregar dos o tres gotas del aceite esencial al prisma.
- Encender la lámpara y el termómetro digital del refractómetro.
- Girar la perilla de medición, alineando el área sombreada al centro de la circunferencia que se observa en el refractómetro.
- Leer en las escalas del refractómetro el índice.

3.4.5. Medición del pH del aceite esencial de limón criollo (*Citrus aurantifolia* Swingle)

- Cortar un trozo de papel pH.
- Agregar dos o tres gotas de aceite esencial.
- Dejar reposar el papel.
- Determinar el pH mediante la comparación con la escala de colores.

3.4.6. Medición de la solubilidad en etanol al 95% del aceite esencial de limón criollo (*Citrus aurantifolia* Swingle)

- Colocar una probeta con 1 mL de aceite esencial de limón.
- Agregar etanol al 95% a la muestra con una pipeta.
- Anotar el volumen del etanol cuando la turbidez desaparezca.

3.4.7. Detección de compuestos químicos mediante el método de cromatografía gaseosa acoplada a espectrometría de masas para el aceite esencial de limón criollo (*Citrus aurantifolia* Swingle)

- Preparar la fase móvil que se utilizara en el análisis cromatográfico.
- Inyectar dentro del cromatógrafo de gases 0.1µL de aceite esencial.
- Dejar que el equipo opere hasta que se observe en el cromatograma que no aparecen picos.
- Identificar los compuestos mediante la biblioteca de compuestos.

3.4.8. Procedimiento para la elaboración de jabón en gel

A continuación, se presenta la formulación del jabón en gel.

Tabla X. **Formulación del jabón en gel**

Componente	Porcentaje (%)
Etanol al 95%	71,00
Agua desmineralizada	26,74
Trietanolamina	0,8
Aceite esencial	0,4
Triclosán	0,56
Carbopol	0,5

Fuente: elaboración propia, con base a referencia no. 5.

- Agregar en un beaker el carbopol poco a poco por medio de tamizaje al agua desmineralizada y agitar hasta que se observe una sola fase.
- En otro beaker agregar el triclosán al etanol y agitar hasta que se solubilice por completo.
- Agregar el aceite esencial de limón criollo a la mezcla triclosán-etanol y agitar.
- Agregar la trietanolamina a la mezcla agua-carbopol.
- Agregar la solución de etanol en el beaker que contiene el agua desmineralizada.
- Agitar hasta que se forme una sola fase.

3.4.9. Olor

- Comparar mediante la percepción olfativa si la muestra tiene el olor deseado.

3.4.10. Color

- Observar el color que tiene la muestra.
- Observar si la muestra tiene un color homogéneo.

3.4.11. Procedimiento para determinar el pH del gel antibacterial

- Cortar un trozo de papel pH.
- Agregar el gel antibacterial al papel.
- Dejar reposar el papel.
- Determinar el pH mediante la comparación con la escala de colores.

3.4.12. Procedimiento para determinar la viscosidad del gel antibacterial

- Determinar la escala de viscosidad en la cual se desean obtener los datos.
- Agregar 250 mL de la muestra de gel en un Beacker.
- Posicionar el Beacker debajo de las hélices del viscosímetro e introducir las hélices a la muestra.
- Accionar las hélices del viscosímetro y tomar la medida hasta que el valor de viscosidad se estabilice.

3.4.13. Procedimiento para determinar la acción bactericida del gel antibacterial

- Realizar el cultivo de las bacterias Escherichia coli, Staphylococcus aureus, Pseudomonas aeruginosa y Salmonella spp.

- Una vez que el cultivo de las bacterias esté en su etapa óptima agregar el gel.
- Contar la cantidad de colonias sobrevivientes.

3.5. Recolección y ordenamiento de la información

Se realizaron 36 extracciones de aceite esencial de limón criollo para determinar las propiedades fisicoquímicas y composición del aceite. Se realizaron 3 geles antibacteriales para determinar las propiedades fisicoquímicas del mismo.

Tabla XI. **Extracción de aceite esencial de limón criollo (*Citrus aurantifolia* Swingle) a escala laboratorio**

Departamento	Parte del fruto	Masa de aceite (g)	Rendimiento (%)
Escuintla	Hoja	0,197	0,394
		0,189	0,377
		0,161	0,322
	Cáscara	0,350	0,700
		0,401	0,802
		0,386	0,772
Suchitepéquez	Hoja	0,409	0,818
		0,460	0,920
		0,407	0,814
	Cáscara	0,354	0,708
		0,331	0,661
		0,320	0,640
Santa Rosa	Hoja	0,216	0,432
		0,201	0,411
		0,175	0,350
	Cáscara	0,327	0,654
		0,282	0,564
		0,339	0,678

Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. **Extracción de aceite esencial de limón criollo (*Citrus aurantifolia* Swingle) a escala planta piloto**

Departamento	Parte del fruto	Masa de aceite (g)	Rendimiento (%)
Escuintla	Hoja	2,034	0,0678
		3,750	0,1250
		3,240	0,1080
	Cáscara	1,902	0,0380
		0,930	0,0186
		2,810	0,0562
Suchitepéquez	Hoja	1,263	0,0421
		1,866	0,0622
		2,063	0,0688
	Cáscara	0,815	0,0163
		0,680	0,0136
		0,870	0,0174
Santa Rosa	Hoja	3,930	0,1310
		2,751	0,0917
		4,920	0,1640
	Cáscara	0,700	0,0140
		3,045	0,0609
		0,985	0,0197

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIII. **Medición de la densidad a 25°C del aceite esencial de limón criollo (*Citrus aurantifolia* Swingle) a escala laboratorio**

Departamento	Parte del fruto	Densidad (g/mL)
Escuintla	Hoja	0,905
		0,940
		0,942
	Cáscara	0,956
		0,986
		0,931
Suchitepéquez	Hoja	0,968
		0,904
		0,956
	Cáscara	0,930
		0,862
		0,946
Santa Rosa	Hoja	0,980
		0,897
		0,968
	Cáscara	0,899
		0,902
		0,876

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIV. **Medición de la densidad a 25°C del aceite esencial de limón criollo (*Citrus aurantifolia* Swingle) a escala planta piloto**

Departamento	Parte del fruto	Densidad (g/mL)
Escuintla	Hoja	0,857
		0,991
		0,888
	Cáscara	0,986
		0,913
		0,981
Suchitepéquez	Hoja	0,874
		0,864
		0,884
	Cáscara	0,920
		0,936
		0,962
Santa Rosa	Hoja	0,936
		0,964
		0,859
	Cáscara	0,858
		0,897
		0,897

Fuente: elaboración propia.

Tabla XV. **Medición del índice de refracción a 20°C del aceite esencial de limón criollo (*Citrus aurantifolia* Swingle) a escala laboratorio.**

Departamento	Parte del fruto	Índice de refracción (adimensional)
Escuintla	Hoja	1,49854
		1,49754
		1,49858
	Cáscara	1,48754
		1,49155
		1,49657
Suchitepéquez	Hoja	1,49963
		1,49343
		1,49447
	Cáscara	1,48549
		1,48549
		1,49553
Santa Rosa	Hoja	1,50068
		1,49767
		1,49666
	Cáscara	1,49858
		1,49762
		1,49867

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVI. **Medición del índice de refracción a 20°C del aceite esencial de limón criollo (*Citrus aurantifolia* Swingle) a escala planta piloto**

Departamento	Parte del fruto	Índice de refracción (adimensional)
Escuintla	Hoja	1,48133
		1,48832
		1,48745
	Cáscara	1,50146
		1,49142
		1,49443
Suchitepéquez	Hoja	1,48632
		1,48736
		1,48535
	Cáscara	1,49024
		1,48728
		1,48810
Santa Rosa	Hoja	1,48806
		1,48902
		1,49919
	Cáscara	1,49908
		1,49089
		1,49409

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVII. **Medición de pH a 25°C del aceite esencial de limón criollo (*Citrus aurantifolia* Swingle)**

Departamento	Escala	Parte de la planta	pH
Suchitepéquez	Laboratorio	Hoja	4
		Fruto	3
	Piloto	Hoja	4
		Fruto	5
Santa Rosa	Laboratorio	Hoja	4
		Fruto	3
	Planta piloto	Hoja	4
		Fruto	3
Escuintla	Laboratorio	Hoja	3
		Fruto	5
	Planta piloto	Hoja	4
		Fruto	4

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVIII. **Medición de solubilidad en etanol a 20°C del aceite esencial de limón criollo (*Citrus aurantifolia* Swingle) a escala planta piloto**

Procedencia	Parte de planta	Volumen de muestra (mL)	Volumen de etanol	Solubilidad (mL/mL de solvente)
Santa Rosa	Hoja	0,5	15,75	0,0317
	Fruto	0,5	9,35	0,0535
Suchitepéquez	Hoja	0,5	15,1	0,0331
	Fruto	0,5	9,1	0,0549
Escuintla	Hoja	0,5	8,75	0,0571
	Fruto	0,5	13,95	0,0358

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIX. **Composición química del aceite esencial de hoja de limón criollo (*Citrus aurantifolia* Swingle) a escala laboratorio de la región de Suchitepéquez**

Número	Tiempo de retención (min)	Porcentaje de área	Nombre	Número CAS
1	16,311	35,680	d-limoneno	005989-27-5
2	12,944	15,598	Beta-pineno	000127-91-3
3	17,970	9,331	Gamma-terpineno	000099-85-4
4	37,511	7,934	Acetato de geranilo	000105-87-3
5	35,639	5,232	Z-Citral	000106-26-3
6	42,185	3,183	Geraniol	000106-24-1
7	13,222	2,736	Beta-felandreno	000555-10-2
8	10,269	2,564	+alfa-pineno	007785-70-8
9	40,581	2,328	Geraniol	000624-15-7
10	36,146	2,205	Alfa-terpineol	000098-55-5

Fuente: datos experimentales, Laboratorio de Instrumentación de Química Avanzada, UV.

Tabla XX. **Composición química del aceite esencial de fruto de limón criollo (*Citrus aurantifolia* Swingle) a escala laboratorio de la región de Suchitepéquez**

Número	Tiempo de retención (min)	Porcentaje de área	Nombre	Número CAS
1	37,737	18,107	Geranial	005392-40-5
2	35,805	14,446	Z-Citral	000106-26-3
3	16,183	11,323	D-limoneno	005989-27-5
4	42,118	5,487	Geraniol	000106-24-1
5	38,320	4,662	Acetato de geranilo	000105-87-3
6	40,511	3,882	Nerol	000106-25-2
7	66,627	3,473	Fitol	000150-86-7
8	55,216	2,842	1,7,7-trimetil-2-vinilbicyclo(2,2,1) hept-2-eno	130930-56-2
9	56,982	2,261	Ácido geránico	000459-80-3
10	47,087	2,181	Oxido de cariofileno	001139-30-6

Fuente: datos experimentales, Laboratorio de Instrumentación de Química Avanzada, UV.

Tabla XXI. **Composición química del aceite esencial de hoja de limón criollo (*Citrus aurantifolia* Swingle) a escala laboratorio de la región de Santa Rosa**

Número	Tiempo de retención (min)	Porcentaje de área	Nombre	Número CAS
1	16,270	36,156	d-limoneno	005989-27-5
2	12,928	16,265	Beta-pineno	000127-91-3
3	37,502	8,733	Geranial	005392-40-5
4	18,875	6,579	o-cimeno	000527-84-4
5	35,628	4,973	Z-Citral	000106-26-3
6	17,907	3,266	Gamma-terpineno	000099-85-4
7	13,213	2,618	Beta-felandreno	000555-10-2
8	36,144	2,350	Alfa-terpineol	000098-55-5
9	42,196	2,216	Geraniol	000624-15-7
10	10,264	2,215	+alfa-pineno	007785-70-8

Fuente: datos experimentales, Laboratorio de Instrumentación de Química Avanzada, UV.

Tabla XXII. **Composición química del aceite esencial de fruto de limón criollo (*Citrus aurantifolia* Swingle) a escala laboratorio de la región de Santa Rosa**

Número	Tiempo de retención (min)	Porcentaje de área	Nombre	Número CAS
1	35,765	9,403	Z-Citral	000106-26-3
2	37,626	8,563	Geranial	005392-40-5
3	42,032	8,063	Geraniol	000624-15-7
4	40,427	5,530	Trifluoracetil-lavandol	028673-24-7
5	38,357	5,452	Acetato de geranilo	000105-87-3
6	37,706	5,363	Geranial	005392-40-5
7	16,111	4,605	d-limoneno	005989-27-5
8	8,102	3,900	Alcohol etílico	0000064-17-5
9	47,135	3,701	Oxido de cariofileno	001139-30-6
10	57,000	3,087	Ácido geránico	000459-80-3

Fuente: datos experimentales, Laboratorio de Instrumentación de Química Avanzada, UV.

Tabla XXIII. **Composición química del aceite esencial de hoja de limón criollo (*Citrus aurantifolia* Swingle) a escala laboratorio de la región de Escuintla**

Número	Tiempo de retención (min)	Porcentaje de área	Nombre	Número CAS
1	16,336	27,040	d-limoneno	005989-27-5
2	12,968	13,260	Beta-pineno	000127-91-3
3	37,548	9,581	Geranial	005392-40-5
4	18,913	6,492	o-cimeno	000527-84-4
5	35,663	5,076	Z-Citral	000106-26-3
6	36,159	2,507	p-ment-1-en-8-ol	1000157-89-9
7	32,186	2,409	Alfa-bergamoteno	017699-05-7
8	13,233	2,351	Beta-felandreno	000555-10-2
9	10,274	2,279	1S-alfa-pineno	00785-26-4
10	17,926	2,160	Gamma-terpineno	000099-85-4

Fuente: datos experimentales, Laboratorio de Instrumentación de Química Avanzada, UV.

Tabla XXIV. **Composición química del aceite esencial de fruto de limón criollo (*Citrus aurantifolia* Swingle) a escala laboratorio de la región de Escuintla**

Número	Tiempo de retención (min)	Porcentaje de área	Nombre	Número CAS
1	35,756	8,873	Z-Citral	000106-26-3
2	37,627	8,416	Geranial	005392-40-5
3	38,363	6,072	Acetato de geranilo	000105-87-3
4	47,168	5,591	Oxido de cariofileno	001139-30-6
5	37,713	5,465	E-Citral	000141-27-5
6	42,104	4,576	Geraniol	000106-24-1
7	57,010	4,173	Ácido geránico	000459-80-3
8	55,233	3,326	Espatulenol	006750-60-3
9	37,303	3,286	3,7-dimetil-acetato-Z-2,6-octadien-1-ol	000141-12-8
10	40,491	2,955	Lavandulol	000498-16-8

Fuente: datos experimentales, Laboratorio de Instrumentación de Química Avanzada, UV.

Tabla XXV. **Composición química del aceite esencial de hoja de limón criollo (*Citrus aurantifolia* Swingle) a escala planta piloto de la región de Suchitepéquez**

Número	Tiempo de retención (min)	Porcentaje de área	Nombre	Número CAS
1	66,687	9,781	Fitol	000150-86-7
2	37,516	8,042	Geranial	005392-40-5
3	32,964	7,601	Cariofileno	000087-44-5
4	16,088	7,263	d-limoneno	005989-27-5
5	27,465	5,730	(R)-(+)-Citronelal	002385-77-5
6	78,801	5,570	Acido n-hexadecanoico	000057-10-3
7	42,157	5,145	Geraniol	000106-24-1
8	35,635	4,676	Z-Citral	000106-26-3
9	40,537	4,531	Acetato de geranilo	000105-87-3
10	38,267	4,284	Acetato 3,7-dimetil-2,6-octadienilo	016409-44-2

Fuente: datos experimentales, Laboratorio de Instrumentación de Química Avanzada, UV.

Tabla XXVI. **Composición química del aceite esencial de fruto de limón criollo (*Citrus aurantifolia* Swingle) a escala planta piloto de la región de Suchitepéquez**

Número	Tiempo de retención (min)	Porcentaje de área	Nombre	Número CAS
1	16,168	16,709	d-limoneno	005989-27-5
2	37,538	12,369	Beta-bisaboleno	000495-61-4
3	32,978	6,813	Cariofileno	000087-44-5
4	35,642	4,881	Z-Citral	000106-26-3
5	66,679	4,208	Fitol	000150-86-7
6	32,214	3,884	Alfa-bergamoteno	017699-05-7
7	36,163	3,859	Alfa-terpineol	000098-55-5
8	38,082	3,770	Alfa-farneseno	000502-61-4
9	78,752	2,940	Acido n-hexadecanoico	000057-10-3
10	37,135	2,747	3,7-dimetil-acetato-Z-2,6-octadien-1-ol	000141-12-8

Fuente: datos experimentales, Laboratorio de Instrumentación de Química Avanzada, UV.

Tabla XXVII. Composición química del aceite esencial de hoja de limón criollo (*Citrus aurantifolia* Swingle) a escala planta piloto de la región de Santa Rosa

Número	Tiempo de retención (min)	Porcentaje de área	Nombre	Número CAS
1	37,597	16,015	Geranial	005392-40-5
2	16,125	11,847	d-limoneno	005989-27-5
3	35,692	11,764	Z-Citral	000106-26-3
4	38,311	9,693	Acetato de geranilo	000105-87-3
5	66,668	6,306	Fitol	000150-86-7
6	32,963	6,110	Cariofileno	000087-44-5
7	37,176	3,750	3,7-dimetil-acetato-Z-2,6-octadien-1-ol	000141-12-8
8	27,439	2,833	(R)-(+)-Citronelal	002385-77-5
9	47,058	2,654	Oxido de cariofileno	001139-30-6
10	42,194	1,889	Geraniol	000106-24-1

Fuente: datos experimentales, Laboratorio de Instrumentación de Química Avanzada, UV.

Tabla XXVIII. **Composición química del aceite esencial de fruto de limón criollo (*Citrus aurantifolia* Swingle) a escala planta piloto de la región de Santa Rosa**

Número	Tiempo de retención (min)	Porcentaje de área	Nombre	Número CAS
1	16,167	15,407	d-limoneno	005989-27-5
2	37,550	12,444	Beta-bisaboleno	000495-61-4
3	38,317	7,942	Acetato de geranilo	000105-87-3
4	32,980	6,393	Cariofileno	000087-44-5
5	35,647	5,230	Z-Citral	000106-26-3
6	66,666	3,528	Fitol	000150-86-7
7	47,074	3,422	Oxido de cariofileno	001139-30-6
8	37,149	3,117	3,7-dimetil-propanoato-z-2,6 octadien-1-ol	000105-91-9
9	36,155	2,929	Alfa-terpineol	000098-55-5
10	38,090	2,609	Alfa-farneseno	000502-61-4

Fuente: datos experimentales, Laboratorio de Instrumentación de Química Avanzada, UV.

Tabla XXIX. **Composición química del aceite esencial de hoja de limón criollo (*Citrus aurantifolia* Swingle) a escala planta piloto de la región de Escuintla**

Número	Tiempo de retención (min)	Porcentaje de área	Nombre	Número CAS
1	37,220	12,386	3,7-dimetil-acetato-Z-2,6-octadien-1-ol	000141-12-8
2	16,120	11,592	d-limoneno	005989-27-5
3	37,551	10,533	Geranial	005392-40-5
4	38,294	7,088	Acetato de geranilo	000105-87-3
5	35,649	6,446	Z-Citral	000106-26-3
6	32,954	6,061	Cariofileno	000087-44-5
7	66,669	5,316	Fitol	000150-86-7
8	27,449	3,875	(R)-(+)-Citronelal	002385-77-5
9	40,570	3,367	Nerol	000106-25-2
10	42,188	2,872	Geraniol	000106-24-1

Fuente: datos experimentales, Laboratorio de Instrumentación de Química Avanzada, UV.

Tabla XXX. **Composición química del aceite esencial de fruto de limón criollo (*Citrus aurantifolia* Swingle) a escala planta piloto de la región de Escuintla**

Número	Tiempo de retención (min)	Porcentaje de área	Nombre	Número CAS
1	33,259	6,948	Cariofileno	000087-44-5
2	32,476	4,616	Alfa-bergamoteno	017699-05-7
3	16,187	4,070	d-limoneno	005989-27-5
4	37,827	3,658	Beta-bisaboleno	000495-61-4
5	52,051	3,426	Chavibetol	00501-19-9
6	66,462	3,295	Fitol	000150-86-7
7	37,319	3,151	3,7-dimetil-acetato-Z-2,6-octadien-1-ol	000141-12-8
8	47,072	2,995	Metil eugenol	000093-15-2
9	14,507	2,694	Bicilo[3.1.0] hex-2-eno, 4-metil-1-(1-metil etil)-	028634-89-1
10	36,180	2,571	p-menth-1-en-8-ol	1000157-89-9

Fuente: datos experimentales, Laboratorio de Instrumentación de Química Avanzada, UV.

Tabla XXXI. **Determinación de propiedades organolépticas del gel antibacterial formulado con aceite esencial de limón criollo (*Citrus aurantifolia* Swingle)**

Muestra	Color	Olor
1	Amarillo pálido	Etanol y limón
2	Amarillo pálido	Etanol y limón
3	Amarillo pálido	Etanol y limón

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXII. **Medición de pH del gel antibacterial formulado con aceite esencial de limón criollo (*Citrus aurantifolia* Swingle)**

Muestra	pH
1	6
2	6
3	6

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXIII. **Medición de viscosidad de gel antibacterial formulado con aceite esencial de limón criollo (*Citrus aurantifolia* Swingle)**

Medición	Viscosidad (cp)
1	1172
2	1202
3	1202

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXIV. **Determinación del poder bactericida del gel antibacterial formulado con aceite esencial del limón criollo (*Citrus aurantifolia* Swingle)**

Muestra	Microorganismo	Resultado
1	Escherichia coli	No hubo crecimiento bacteriano
	Staphylococcus aureus	No hubo crecimiento bacteriano
	Pseudomonas aeruginosa	Hubo crecimiento bacteriano
	Salmonella spp	No hubo crecimiento bacteriano
2	Escherichia coli	No hubo crecimiento bacteriano
	Staphylococcus aureus	No hubo crecimiento bacteriano
	Pseudomonas aeruginosa	Hubo crecimiento bacteriano
	Salmonella spp	No hubo crecimiento bacteriano
3	Escherichia coli	No hubo crecimiento bacteriano
	Staphylococcus aureus	No hubo crecimiento bacteriano
	Pseudomonas aeruginosa	Hubo crecimiento bacteriano
	Salmonella spp	No hubo crecimiento bacteriano

Fuente: laboratorio de análisis fisicoquímicos y microbiológicos (LAFYM).

3.6. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

En esta parte del informe se describe la tabulación y procesamiento de los datos de los rendimientos, propiedades fisicoquímicas y composición química del aceite esencial, además se describen también las propiedades organolépticas, fisicoquímicas y microbiológicas del gel antibacterial.

El ordenamiento de los resultados obtenidos se realizó de la siguiente manera:

Tabla XXXV. **Determinación de rendimiento del aceite esencial de limón criollo (*Citrus aurantifolia* Swingle) a escala laboratorio**

Departamento	Parte del fruto	Rendimiento (%)	Media	Desviación estándar
Escuintla	Hoja	0,394	0,364	0,0376
		0,377		
		0,322		
	Cáscara	0,700	0,758	0,0524
		0,802		
		0,772		
Suchitepéquez	Hoja	0,818	0,851	0,0601
		0,920		
		0,814		
	Cáscara	0,708	0,670	0,0348
		0,661		
		0,640		
Santa Rosa	Hoja	0,432	0,398	0,0426
		0,411		
		0,350		
	Cáscara	0,654	0,632	0,0601
		0,564		
		0,678		

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVI. **Determinación de Rendimiento del aceite esencial de limón criollo (*Citrus aurantifolia* Swingle) a escala planta piloto**

Departamento	Parte del fruto	Rendimiento (%)	Media (%)	Desviación estándar
Escuintla	Hoja	0,0678	0,1000	0,0294
		0,1250		
		0,1080		
	Cáscara	0,0380	0,0376	0,0188
		0,0186		
		0,0562		
Suchitepéquez	Hoja	0,0421	0,0577	0,0139
		0,0622		
		0,0688		
	Cáscara	0,0163	0,0158	0,0020
		0,0136		
		0,0174		
Santa Rosa	Hoja	0,1310	0,1290	0,0362
		0,0917		
		0,1640		
	Cáscara	0,0140	0,0158	0,0256
		0,0609		
		0,0197		

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVII. **Determinación de la densidad a 25°C del aceite esencial de limón criollo (*Citrus aurantifolia* Swingle) a escala laboratorio**

Departamento	Parte del fruto	Densidad (g/mL)	Media (g/mL)	Desviación estándar
Escuintla	Hoja	0,905	0,929	0,0208
		0,940		
		0,942		
	Cáscara	0,956	0,958	0,0279
		0,986		
		0,931		
Suchitepéquez	Hoja	0,968	0,943	0,0340
		0,904		
		0,956		
	Cáscara	0,930	0,913	0,0446
		0,862		
		0,946		
Santa Rosa	Hoja	0,980	0,948	0,0449
		0,897		
		0,968		
	Cáscara	0,899	0,892	0,0142
		0,902		
		0,876		

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVIII. **Determinación de la densidad a 25°C del aceite esencial de limón criollo (*Citrus aurantifolia* Swingle) a escala planta piloto**

Departamento	Parte del fruto	Densidad (g/mL)	Media (g/mL)	Desviación estándar
Escuintla	Hoja	0,857	0,912	0,0701
		0,991		
		0,888		
	Cáscara	0,986	0,960	0,0408
		0,913		
		0,981		
Suchitepéquez	Hoja	0,874	0,874	0,0100
		0,864		
		0,884		
	Cáscara	0,920	0,939	0,0212
		0,936		
		0,962		
Santa Rosa	Hoja	0,936	0,920	0,0544
		0,964		
		0,859		
	Cáscara	0,858	0,884	0,0225
		0,897		
		0,897		

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXIX. **Determinación del índice de refracción a 20°C del aceite esencial de limón criollo (*Citrus aurantifolia* Swingle) a escala laboratorio**

Departamento	Parte del fruto	Índice de refracción (adimensional)	Media	Desviación estándar
Escuintla	Hoja	1,49854	1,49822	0,0005905
		1,49754		
		1,49858		
	Cáscara	1,48754	1,49189	0,0045244
		1,49155		
		1,49657		
Suchitepéquez	Hoja	1,49963	1,49584	0,0033195
		1,49343		
		1,49447		
	Cáscara	1,48549	1,48883	0,0057966
		1,48549		
		1,49553		
Santa Rosa	Hoja	1,50068	1,49833	0,0020913
		1,49767		
		1,49666		
	Cáscara	1,49858	1,49829	0,0005790
		1,49762		
		1,49867		

Fuente: elaboración propia.

Tabla XL. **Determinación del índice de refracción a 20°C del aceite esencial de limón criollo (*Citrus aurantifolia* Swingle) a escala planta piloto**

Departamento	Parte del fruto	Índice de refracción (adimensional)	Media	Desviación estándar
Escuintla	Hoja	1,48133	1,48750	0,0038076
		1,48832		
		1,48745		
	Cáscara	1,50146	1,49577	0,0051524
		1,49142		
		1,49443		
Suchitepéquez	Hoja	1,48632	1,48635	0,0010053
		1,48736		
		1,48535		
	Cáscara	1,49024	1,48854	0,0015310
		1,48728		
		1,48810		
Santa Rosa	Hoja	1,48806	1,49209	0,0061671
		1,48902		
		1,49919		
	Cáscara	1,49908	1,49468	0,0041256
		1,49089		
		1,49409		

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLI. **Determinación del pH a 25°C de aceite esencial de limón criollo (*Citrus aurantifolia* Swingle)**

Departamento	Escala	Parte de la planta	pH
Suchitepéquez	Laboratorio	Hoja	4
		Fruto	3
	Piloto	Hoja	4
		Fruto	5
Santa Rosa	Laboratorio	Hoja	4
		Fruto	3
	Planta piloto	Hoja	4
		Fruto	3
Escuintla	Laboratorio	Hoja	3
		Fruto	5
	Planta piloto	Hoja	4
		Fruto	4

Fuente: Elaboración propia

Tabla XLII. **Determinación de la solubilidad en etanol a 20°C del aceite esencial de limón (*Citrus aurantifolia* Swingle) a escala planta piloto**

Procedencia	Parte de planta	Solubilidad (mL/mL de solvente)
Santa Rosa	Hoja	0,0317
	Fruto	0,0535
Suchitepéquez	Hoja	0,0331
	Fruto	0,0549
Escuintla	Hoja	0,0571
	Fruto	0,0358

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLIII. **Determinación de pH de gel antibacterial formulado con aceite esencial de limón criollo (*Citrus aurantifolia* Swingle)**

Muestra	pH
1	6
2	6
3	6

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLIV. **Determinación de viscosidad de gel antibacterial formulado con aceite esencial de limón criollo (*Citrus aurantifolia* Swingle)**

Muestra	Viscosidad (cP)
1	1172
2	1202
3	1202

Fuente: elaboración propia.

3.7. Análisis estadístico

3.7.1. Análisis de varianza de un factor

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

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

S_2^2 = media cuadrática dentro de la muestra

x_{ij} = repetición j de la muestra i

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

n = número de repeticiones

h = número de muestras

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

La variación entre muestras se define mediante la siguiente ecuación:

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

S_1^2 = media cuadrática entre muestras

n = número de repeticiones

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

\bar{x} = media global

h = número de muestras

$(h - 1)$ = grados de libertad

Si la hipótesis nula es correcta la variación entre S_1^2 y S_2^2 debe ser significativa. Si F supera a la F crítica indica que si hay diferencia significativa.

$$F = \frac{S_1^2}{S_2^2} \quad \text{Ecuación No. 3}$$

S_2^2 = media cuadrática dentro de la muestra

S_1^2 = media cuadrática entre muestras

Tabla XLV. **Datos de rendimiento a escala laboratorio para ANOVA de un factor de aceite esencial proveniente de la hoja de las regiones de estudio**

Región	Escuintla	Suchitepéquez	Santa Rosa
Rendimiento (%)	0,394	0,818	0,432
	0,377	0,920	0,411
	0,322	0,814	0,350
Suma (%)	1,093	2,552	1,193
Promedio (%)	0,364	0,851	0,398
Varianza (%)	0,00142	0,00361	0,00181

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLVI. **ANOVA de rendimiento a escala laboratorio de las regiones del estudio de aceite esencial de hoja**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0,4428	2	0,2214	97,1141	0,00002691	5,1433
Dentro de los grupos	0,0137	6	0,0023			
Total	0,4565	8				

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLVII. **Datos de rendimiento a escala laboratorio para ANOVA de un factor de aceite esencial proveniente del fruto de las regiones del estudio**

Región	Escuintla	Suchitepéquez	Santa Rosa
Rendimiento (%)	0,700	0,708	0,654
	0,802	0,661	0,564
	0,772	0,640	0,678
Suma (%)	2,274	2,009	1,896
Promedio (%)	0,758	0,670	0,632
Varianza (%)	0,00275	0,00121	0,00361

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLVIII. **ANOVA de rendimiento a escala laboratorio de las regiones del estudio de aceite esencial de fruto**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0,0251	2	0,0125	4,9716	0,0533	5,1433
Dentro de los grupos	0,0151	6	0,0025			
Total	0,0402	8				

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLIX. **Datos de rendimiento a escala planta piloto para ANOVA de un factor de aceite esencial proveniente de la hoja de las regiones de estudio**

Región	Escuintla	Suchitepéquez	Santa Rosa
Rendimiento (%)	0,0678	0,0421	0,1310
	0,1250	0,0622	0,0917
	0,1080	0,0688	0,1640
Suma (%)	0,3008	0,1731	0,3867
Promedio (%)	0,1003	0,0577	0,1289
Varianza (%)	0,000863	0,000193	0,001310

Fuente: elaboración propia.

Tabla L. **ANOVA de rendimiento a escala planta piloto de regiones de estudio de aceite esencial de hoja**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0,0077	2	0,0039	4,8817	0,0551	5,1433
Dentro de los grupos	0,0047	6	0,0008			
Total	0,0124	8				

Fuente: elaboración propia.

Tabla LI. **Datos de rendimiento a escala planta piloto para ANOVA de un factor de aceite esencial proveniente del fruto de las regiones del estudio**

Región	Escuintla	Suchitepéquez	Santa Rosa
Rendimiento (%)	0,0380	0,7080	0,0140
	0,0186	0,6610	0,0609
	0,0562	0,6400	0,0197
Suma (%)	0,1128	0,0473	0,0946
Promedio (%)	0,0376	0,0158	0,0315
Varianza (%)	0,000354	0,000004	0,000655

Fuente: elaboración propia.

Tabla LII. **ANOVA para rendimiento a escala planta piloto de regiones del estudio de aceite esencial de fruto**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0,0008	2	0,0004	1,1292	0,3835	5,1433
Dentro de los grupos	0,0020	6	0,0003			
Total	0,0028	8				

Fuente: elaboración propia.

Tabla LIII. **Datos de rendimiento en función de la parte de la planta para ANOVA de un factor a escala laboratorio**

Parte de la planta	Hoja	Fruto
Escuintla	0,394	0,700
	0,377	0,802
	0,322	0,772
Suchitepéquez	0,818	0,708
	0,920	0,661
	0,814	0,640
Santa Rosa	0,432	0,654
	0,411	0,564
	0,350	0,678
Suma (%)	4,838	6,179
Promedio (%)	0,538	0,687
Varianza (%)	0,05707	0,00503

Fuente: elaboración propia.

Tabla LIV. **ANOVA de rendimiento en función de la parte de la planta a escala laboratorio**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0,0999	1	0,0999	3,2178	0,0918	4,4940
Dentro de los grupos	0,4968	16	0,0310			
Total	0,5967	17				

Fuente: elaboración propia.

Tabla LV. **Datos de rendimiento en función de la parte de la planta para ANOVA de un factor a escala planta piloto**

Parte de la planta	Hoja	Fruto
Escuintla	0,0678	0,0380
	0,1250	0,0186
	0,1080	0,0562
Suchitepéquez	0,0421	0,0163
	0,0622	0,0136
	0,0688	0,0174
Santa Rosa	0,1310	0,0140
	0,0917	0,0609
	0,1640	0,0197
Suma (%)	0,8606	0,2547
Promedio (%)	0,0956	0,0283
Varianza (%)	0,0016	0,0003

Fuente: elaboración propia.

Tabla LVI. **ANOVA de rendimiento en función de la parte de la planta a escala planta piloto**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0,0204	1	0,0204	21,4396	0,0003	4,4940
Dentro de los grupos	0,0152	16	0,0010			
Total	0,0356	17				

Fuente: elaboración propia.

Tabla LVII. **Datos de rendimiento en función de la escala del aceite esencial de hoja para ANOVA de un factor**

Escala	Laboratorio	Planta piloto
Escuintla	0,394	0,0678
	0,377	0,1250
	0,322	0,1080
Suchitepéquez	0,818	0,0421
	0,920	0,0622
	0,814	0,0688
Santa Rosa	0,432	0,1310
	0,411	0,0917
	0,350	0,1640
Suma (%)	4,838	0,861
Promedio (%)	0,538	0,096
Varianza (%)	0,05707	0,00155

Fuente: elaboración propia.

Tabla LVIII. **ANOVA de rendimiento en función de escala para aceite esencial de hojas**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0,8789	1	0,8789	29,9858	0,0001	4,4940
Dentro de los grupos	0,4690	16	0,0293			
Total	1,3478	17				

Fuente: elaboración propia.

Tabla LIX. **Datos de rendimiento en función de la escala del aceite esencial de frutos para ANOVA de un factor**

Escala	Laboratorio	Planta piloto
Escuintla	0,7	0,038
	0,802	0,0186
	0,772	0,0562
Suchitepéquez	0,708	0,0163
	0,920	0,0136
	0,814	0,0174
Santa Rosa	0,432	0,1310
	0,411	0,0917
	0,350	0,1640
Suma (%)	4,838	0,861
Promedio (%)	0,538	0,096
Varianza (%)	0,05707	0,00155

Fuente: elaboración propia.

Tabla LX. **ANOVA de rendimiento en función de escala para aceite esencial de frutos**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	1,9499	1	1,9499	725,0385	9,36571E-15	4,4940
Dentro de los grupos	0,0430	16	0,0027			
Total	1,9929	17				

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXI. **Datos de densidad a escala laboratorio para ANOVA de un factor del aceite esencial de hoja de las regiones del estudio**

Región	Escuintla	Suchitepéquez	Santa Rosa
Densidad (g/mL)	0,905	0,968	0,980
	0,940	0,904	0,897
	0,942	0,956	0,968
Suma (g/mL)	2,787	2,828	2,845
Promedio (g/mL)	0,929	0,947	0,948
Varianza (g/mL)	0,00043	0,00116	0,00201

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXII. **ANOVA de densidad a escala laboratorio de regiones del estudio del aceite esencial de hoja**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0,0006	2	0,0003	0,2468	0,7889	5,1433
Dentro de los grupos	0,0072	6	0,0012			
Total	0,0078	8				

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXIII. **Datos de densidad a escala laboratorio para ANOVA de un factor del aceite esencial de fruto de las regiones del estudio**

Región	Escuintla	Suchitepéquez	Santa Rosa
Densidad (g/mL)	0,956	0,930	0,899
	0,986	0,862	0,902
	0,931	0,946	0,876
Suma (g/mL)	2,873	2,738	2,677
Promedio (g/mL)	0,958	0,913	0,892
Varianza (g/mL)	0,00076	0,00199	0,00020

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXIV. **ANOVA de densidad a escala laboratorio para las regiones del estudio del aceite esencial de fruto**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0,007	2	0,003	3,410	0,103	5,143
Dentro de los grupos	0,006	6	0,001			
Total	0,013	8				

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXV. **Datos de densidad a escala planta piloto para ANOVA de un factor del aceite esencial de hoja de las regiones del estudio**

Región	Escuintla	Suchitepéquez	Santa Rosa
Densidad (g/mL)	0,857	0,874	0,936
	0,991	0,864	0,964
	0,888	0,884	0,859
Suma (g/mL)	2,736	2,622	2,759
Promedio (g/mL)	0,912	0,874	0,919
Varianza (g/mL)	0,00492	0,00010	0,00296

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXVI. **ANOVA de densidad a escala planta piloto para las regiones de estudio de aceite esencial de hoja**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0,0036	2	0,0018	0,6747	0,5441	5,1433
Dentro de los grupos	0,0160	6	0,0027			
Total	0,0195	8				

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXVII. **Datos de densidad a escala planta piloto para ANOVA de un factor de aceite esencial del fruto para las regiones de estudio**

Región	Escuintla	Suchitepéquez	Santa Rosa
Densidad (g/mL)	0,986	0,920	0,936
	0,913	0,936	0,897
	0,981	0,962	0,897
Suma (g/mL)	2,880	2,818	2,652
Promedio (g/mL)	0,960	0,939	0,884
Varianza (g/mL)	0,00166	0,00045	0,00051

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXVIII. **ANOVA para densidad a escala planta piloto para las regiones del estudio de aceite esencial de fruto a escala planta piloto**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0,0093	2	0,0046	5,3057	0,0471	5,1433
Dentro de los grupos	0,0052	6	0,0009			
Total	0,0145	8				

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXIX. **Datos de densidad en función de la parte de la planta para ANOVA de un factor a escala laboratorio**

Parte de la planta	Hoja	Fruto
Escuintla	0,905	0,956
	0,940	0,986
	0,942	0,931
Suchitepéquez	0,968	0,930
	0,904	0,862
	0,956	0,946
Santa Rosa	0,980	0,899
	0,897	0,902
	0,968	0,876
Suma (g/mL)	8,460	8,288
Promedio (g/mL)	0,940	0,921
Varianza (g/mL)	0,0010	0,0016

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXX. **ANOVA de densidad en función de la parte de la parte de la planta a escala laboratorio**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0,0016	1	0,0016	1,2888	0,2730	4,4940
Dentro de los grupos	0,0204	16	0,0013			
Total	0,0220	17				

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXXI. **Datos de densidad en función de la parte de la planta para ANOVA de un factor a escala laboratorio**

Parte de la planta	Hoja	Fruto
Escuintla	0,857	0,986
	0,991	0,913
	0,888	0,981
Suchitepéquez	0,874	0,920
	0,864	0,936
	0,884	0,962
Santa Rosa	0,936	0,858
	0,964	0,897
	0,859	0,897
Suma (g/mL)	8,117	8,289
Promedio (g/mL)	0,902	0,921
Varianza (g/mL)	0,0024	0,0014

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXXII. **ANOVA densidad en función de la parte de la planta a escala planta piloto**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0,0030	1	0,0030	1,4174	0,2512	4,4940
Dentro de los grupos	0,0340	16	0,0021			
Total	0,0371	17				

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXXIII. Datos de densidad en función de la escala del aceite esencial de hojas para ANOVA de un factor

Escala	Laboratorio	Planta piloto
Escuintla	0,905	0,857
	0,940	0,991
	0,942	0,888
Suchitepéquez	0,968	0,874
	0,904	0,864
	0,956	0,884
Santa Rosa	0,980	0,936
	0,897	0,964
	0,968	0,859
Suma (g/mL)	8,460	8,117
Promedio (g/mL)	0,940	0902
Varianza (g/mL)	0,0010	0,0024

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXXIV. ANOVA de densidad en función de escala para aceite esencial de hojas

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0,0065	1	0,0065	3,8249	0,0682	4,4940
Dentro de los grupos	0,0273	16	0,0017			
Total	0,0339	17				

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXXV. **Datos de densidad en función de la escala del aceite esencial de fruto para ANOVA de un factor**

Escala	Laboratorio	Planta piloto
Escuintla	0,956	0,986
	0,986	0,913
	0,931	0,981
Suchitepéquez	0,930	0,920
	0,862	0,936
	0,946	0,962
Santa Rosa	0,899	0,858
	0,902	0,897
	0,876	0,897
Suma (g/mL)	8,288	8,350
Promedio (g/mL)	0,921	0,928
Varianza (g/mL)	0,0016	0,0018

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXXVI. **ANOVA de densidad en función de escala para aceite esencial de fruto**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0,0002	1	0,0002	0,1260	0,7272	4,4940
Dentro de los grupos	0,0271	16	0,0017			
Total	0,0273	17				

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXXVII. **Datos de índice de refracción a escala laboratorio para ANOVA de un factor del aceite esencial de hojas de las regiones del estudio**

Región	Escuintla	Suchitepéquez	Santa Rosa
Índice de refracción (Adimensional)	1,49854	1,49963	1,50068
	1,49754	1,49343	1,49767
	1,49858	1,49447	1,49666
Suma (Adimensional)	4,49466	4,48753	4,49501
Promedio (Adimensional)	1,49822	1,49584	1,49834
Varianza (Adimensional)	$3,47 \cdot 10^{-7}$	$1,10 \cdot 10^{-5}$	$4,37 \cdot 10^{-6}$

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXXVIII. **ANOVA de índice de refracción de regiones del estudio del aceite esencial de hoja a escala laboratorio**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	1,188E-05	2	5,939E-06	1,132	3,828E-01	5,143
Dentro de los grupos	3,149E-05	6	5,248E-06			
Total	4,337E-05	8				

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXXIX. **Datos de índice de refracción a escala laboratorio para ANOVA de un factor de aceite esencial de fruto de las regiones del estudio**

Región	Escuintla	Suchitepéquez	Santa Rosa
Índice de refracción (Adimensional)	1,48754	1,48549	1,49858
	1,49155	148549	1,49762
	1,49657	1,49553	1,49867
Suma (Adimensional)	4,47566	4,46651	4,49487
Promedio (Adimensional)	1,49189	1,48884	1,49829
Varianza (Adimensional)	$2,05 \cdot 10^{-5}$	$3,36 \cdot 10^{-5}$	$3,39 \cdot 10^{-7}$

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXXX. **ANOVA de índice de refracción de regiones del estudio de aceite esencial de fruto a escala laboratorio**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	1,397E-04	2	6,984E-05	3,851	8,398E-02	5,143
Dentro de los grupos	1,088E-04	6	1,814E-05			
Total	2,485E-04	8				

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXXXI. **Datos de índice de refracción a escala planta piloto para ANOVA de un factor de aceite esencial de hoja de las regiones del estudio**

Región	Escuintla	Suchitepéquez	Santa Rosa
Índice de refracción (Adimensional)	1,48133	1,48632	1,48806
	1,48832	1,48736	1,48902
	1,48745	1,48535	1,49919
Suma (Adimensional)	4,45710	4,45903	4,47627
Promedio (Adimensional)	1,48570	1,48634	1,49209
Varianza (Adimensional)	$1,45 \cdot 10^{-5}$	$1,01 \cdot 10^{-6}$	$3,80 \cdot 10^{-6}$

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXXXII. **ANOVA de índice de refracción de regiones del estudio de aceite esencial de hoja a escala planta piloto**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	7,427E-05	2	3,714E-05	2,080	2,060E-01	5,143
Dentro de los grupos	1,071E-04	6	1,785E-05			
Total	1,814E-04	8				

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXXXIII. **Datos de índice de refracción a escala planta piloto para ANOVA de un factor de aceite esencial de fruto de las regiones del estudio**

Región	Escuintla	Suchitepéquez	Santa Rosa
Índice de refracción (Adimensional)	1,50146	1,49024	1,49908
	1,49142	1,48728	1,49089
	1,49443	1,48810	1,49409
Suma (Adimensional)	4,48731	4,46562	4,48406
Promedio (Adimensional)	1,49577	1,48854	1,49469
Varianza (Adimensional)	$2,65 \cdot 10^{-5}$	$2,34 \cdot 10^{-6}$	$1,70 \cdot 10^{-6}$

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXXXIV. **ANOVA de índice de refracción de regiones del estudio de aceite esencial de fruto a escala planta piloto**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	9,123E-05	2	4,561E-05	2,980	1,263E-01	5,143
Dentro de los grupos	9,184E-05	6	1,531E-05			
Total	1,831E-04	8				

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXXXV. **Datos de índice de refracción en función de la parte de la planta para ANOVA de un factor a escala laboratorio**

Parte de la planta	Hoja	Fruto
Escuintla	1,49854	1,48754
	1,49754	1,49155
	1,49858	1,49657
Suchitepéquez	1,49963	1,48549
	1,49343	1,48549
	1,49447	1,49553
Santa Rosa	1,50068	1,49858
	1,49767	1,49762
	1,49666	1,49867
Suma (Adimensional)	13,47720	13,43704
Promedio (Adimensional)	1,49747	1,49300
Varianza (Adimensional)	$5,42 \cdot 10^{-6}$	$3,11 \cdot 10^{-5}$

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXXXVI. **ANOVA de índice de refracción en función de la parte de la planta a escala laboratorio**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	8,960E-05	1	4,912	4,151E-02	4,494
Dentro de los grupos	2,919E-04	16			
Total	3,815E-04	17			

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXXXVII. **Datos de índice de refracción en función de la parte de la planta para ANOVA de un factor a escala planta piloto**

Parte de la planta	Hoja	Fruto
Escuintla	1,49133	1,50146
	1,48832	1,49142
	1,48745	1,49443
Suchitepéquez	1,48632	1,49024
	1,48736	1,48728
	1,48535	1,4881
Santa Rosa	1,48806	1,49908
	1,48902	1,49908
	1,49919	149409
Suma (Adimensional)	13,39240	13,43699
Promedio (Adimensional)	1,48804	1,49300
Varianza (Adimensional)	$2,27 \cdot 10^{-5}$	$2,29 \cdot 10^{-5}$

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXXXVIII. **ANOVA de índice de refracción en función de la parte de la planta a escala planta piloto**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	1,105E-04	1	1,105E-04	4,849	4,267E-02	4,494
Dentro de los grupos	3,645E-04	16	2,278E-05			
Total	4,749E-04	17				

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXXXIX. **Datos de índice de refracción en función de la escala del aceite esencial de hojas para ANOVA de un factor**

Escala	Laboratorio	Planta piloto
Escuintla	1,49854	1,48133
	1,49754	1,48832
	1,49858	1,48745
Suchitepéquez	1,49963	1,48632
	1,49343	1,48736
	1,49447	1,48535
Santa Rosa	1,50068	1,48806
	1,49767	1,48902
	1,49666	1,49919
Suma (g/mL)	13,4772	13,3924
Promedio (g/mL)	1,49747	1,48804
Varianza (g/mL)	$5,42 \cdot 10^{-6}$	$2,27 \cdot 10^{-5}$

Fuente: elaboración propia.

Tabla XC. **ANOVA de índice de refracción en función de escala para aceite esencial de hojas**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	3,995E-04	1	3,995E-04	28,439	6,731E-05	4,494
Dentro de los grupos	2,248E-04	16	1,405E-05			
Total	6,243E-04	17				

Fuente: elaboración propia.

Tabla XCI. **Datos de índice de refracción en función de la escala del aceite esencial de fruto para ANOVA de un factor**

Escala	Laboratorio	Planta piloto
Escuintla	1,48754	1,50146
	1,49155	1,49142
	1,49657	1,49443
Suchitepéquez	1,48549	1,49024
	1,48549	1,48728
	1,49553	1,48810
Santa Rosa	1,49858	1,49908
	1,49762	1,49089
	1,49867	1,49409
Suma (g/mL)	13,43704	13,43699
Promedio (g/mL)	1,49300	1,49300
Varianza (g/mL)	$3,11 \cdot 10^{-5}$	$2,29 \cdot 10^{-5}$

Fuente: elaboración propia.

Tabla XCII. **ANOVA de índice de refracción en función de escala para aceite esencial de fruto**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	1,389E-10	1	1,389E-10	5,149E-06	9,982E-01	4,494
Dentro de los grupos	4,316E-04	16	2,697E-05			
Total	4,316E-04	17				

Fuente: elaboración propia.

4. RESULTADOS

4.1. Extracción del aceite esencial de limón criollo

Tabla XCIII. Rendimiento del aceite esencial de limón criollo (*Citrus aurantifolia* Swingle) a escala laboratorio según la procedencia y la parte de la planta

Departamento	Parte de la planta	Rendimiento (%)
Escuintla	Hoja	0,364 ± 0,0376
	Fruto	0,758 ± 0,0524
Suchitepéquez	Hoja	0,851 ± 0,0601
	Fruto	0,670 ± 0,0348
Santa Rosa	Hoja	0,398 ± 0,0426
	Fruto	0,632 ± 0,0601

Fuente: datos experimentales, LIEXVE, USAC.

Tabla XCIV. Rendimiento del aceite esencial de limón criollo (*Citrus aurantifolia* Swingle) a escala planta piloto según la procedencia y la parte de la planta

Departamento	Parte de la planta	Rendimiento (%)
Escuintla	Hoja	0,1000 ± 0,0294
	Fruto	0,0376 ± 0,0188
Suchitepéquez	Hoja	0,0577 ± 0,0139
	Fruto	0,0158 ± 0,0020
Santa Rosa	Hoja	0,1290 ± 0,0362
	Fruto	0,0315 ± 0,0256

Fuente: datos experimentales, LIEXVE, USAC.

Tabla XCV. **Densidad a 25°C del aceite esencial de limón criollo (*Citrus aurantifolia* Swingle) a escala laboratorio según la procedencia y la parte de la planta**

Departamento	Parte de la planta	Densidad (g/mL)
Escuintla	Hoja	0,929 ± 0,0208
	Fruto	0,958 ± 0,0279
Suchitepéquez	Hoja	0,943 ± 0,0340
	Fruto	0,913 ± 0,0446
Santa Rosa	Hoja	0,948 ± 0,0449
	Fruto	0,892 ± 0,0142

Fuente: datos experimentales, LIEXVE, USAC.

Tabla XCVI. **Densidad a 25°C del aceite esencial de limón criollo (*Citrus aurantifolia* Swingle) a escala planta piloto según la procedencia y la parte de la planta**

Departamento	Parte de la planta	Densidad (g/mL)
Escuintla	Hoja	0,912 ± 0,0701
	Fruto	0,960 ± 0,0408
Suchitepéquez	Hoja	0,874 ± 0,0100
	Fruto	0,939 ± 0,0212
Santa Rosa	Hoja	0,920 ± 0,0544
	Fruto	0,884 ± 0,0225

Fuente: datos experimentales, LIEXVE, USAC.

Tabla XCVII. **Índice de refracción a 20°C del aceite esencial de limón criollo (*Citrus aurantifolia* Swingle) a escala laboratorio según la procedencia y la parte de la planta**

Departamento	Parte de la planta	Índice de refracción (Adimensional)
Escuintla	Hoja	1,49822 ± 0,0005905
	Fruto	1,49189 ± 0,0045244
Suchitepéquez	Hoja	1,49584 ± 0,0033195
	Fruto	1,48883 ± 0,0057966
Santa Rosa	Hoja	1,49833 ± 0,0020913
	Fruto	1,49829 ± 0,0005790

Fuente: datos experimentales, LIEXVE, USAC.

Tabla XCVIII. **Índice de refracción a 20°C del aceite esencial de limón criollo (*Citrus aurantifolia* Swingle) a escala planta piloto según la procedencia y la parte de la planta**

Departamento	Parte de la planta	Índice de refracción (Adimensional)
Escuintla	Hoja	1,48750 ± 0,0038076
	Fruto	1,49577 ± 0,0051524
Suchitepéquez	Hoja	1,48635 ± 0,0010053
	Fruto	1,48854 ± 0,0015310
Santa Rosa	Hoja	1,49209 ± 0,0061674
	Fruto	1,49468 ± 0,0041256

Fuente: datos experimentales, LIEXVE, USAC.

Tabla XCIX. **pH a 25°C de aceite esencial de limón criollo (*Citrus aurantifolia* Swingle) según la escala y la parte de la planta**

Departamento	Escala	Parte de la planta	pH
Suchitepéquez	Laboratorio	Hoja	4
		Fruto	3
	Piloto	Hoja	4
		Fruto	5
Santa Rosa	Laboratorio	Hoja	4
		Fruto	3
	Planta piloto	Hoja	4
		Fruto	3
Escuintla	Laboratorio	Hoja	3
		Fruto	5
	Planta piloto	Hoja	4
		Fruto	4

Fuente: datos experimentales, LIEXVE, USAC.

Tabla C. **Solubilidad en etanol a 20°C del aceite esencial de limón criollo (*Citrus aurantifolia* Swingle) a escala planta piloto según la parte de la planta**

Procedencia	Parte de planta	Solubilidad (mL/mL de solvente)
Santa Rosa	Hoja	0,0317
	Fruto	0,0535
Suchitepéquez	Hoja	0,0331
	Fruto	0,0549
Escuintla	Hoja	0,0571
	Fruto	0,0358

Fuente: datos experimentales, LIEXVE, USAC.

Tabla CI. **Compuestos mayoritarios del aceite esencial de hoja de limón criollo (*Citrus aurantifolia* Swingle) a escala laboratorio de la región de Suchitepéquez**

Número	Tiempo de retención (min)	Porcentaje de área (%)	Nombre	Número CAS
1	16,311	35,680	d-limoneno	005989-27-5
2	12,944	15,598	Beta-pineno	000127-91-3
3	17,970	9,331	Gamma-terpineno	000099-85-4
4	37,511	7,934	Acetato de geranilo	000105-87-3
5	35,639	5,232	Z-Citral	000106-26-3

Fuente: datos experimentales, Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, UV.

Tabla CII. **Compuestos mayoritarios del aceite esencial de fruto de limón criollo (*Citrus aurantifolia* Swingle) a escala laboratorio de la región de Suchitepéquez**

Número	Tiempo de retención (min)	Porcentaje de área (%)	Nombre	Número CAS
1	37,737	18,107	Geranial	005392-40-5
2	35,805	14,446	Z-Citral	000106-26-3
3	16,183	11,323	D-limoneno	005989-27-5
4	42,118	5,487	Geraniol	000106-24-1
5	38,320	4,662	Acetato de geranilo	000105-87-3

Fuente: datos experimentales, Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, UV.

Tabla CIII. **Compuestos mayoritarios del aceite esencial de hoja de limón criollo (*Citrus aurantifolia* Swingle) a escala laboratorio de la región de Santa Rosa**

Número	Tiempo de retención (min)	Porcentaje de área (%)	Nombre	Número CAS
1	16,270	36,156	d-limoneno	005989-27-5
2	12,928	16,265	Beta-pineno	000127-91-3
3	37,502	8,733	Geranial	005392-40-5
4	18,875	6,579	o-cimeno	000527-84-4
5	35,628	4,973	Z-Citral	000106-26-3

Fuente: datos experimentales, Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, UV.

Tabla CIV. **Compuestos mayoritarios del aceite esencial de fruto de limón criollo (*Citrus aurantifolia* Swingle) a escala laboratorio de la región de Santa Rosa**

Número	Tiempo de retención (min)	Porcentaje de área (%)	Nombre	Número CAS
1	35,765	9,403	Z-Citral	000106-26-3
2	37,626	8,563	Geranial	005392-40-5
3	42,032	8,063	Geraniol	000624-15-7
4	40,427	5,530	Trifluoracetil-lavandol	028673-24-7
5	38,357	5,452	Acetato de geranilo	000105-87-3

Fuente: datos experimentales, Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, UV.

Tabla CV. **Compuestos mayoritarios del aceite esencial de hoja de limón criollo (*Citrus aurantifolia* Swingle) a escala laboratorio de la región de Escuintla**

Número	Tiempo de retención (min)	Porcentaje de área (%)	Nombre	Número CAS
1	16,336	27,040	d-limoneno	005989-27-5
2	12,968	13,260	Beta-pineno	000127-91-3
3	37,548	9,581	Geranial	005392-40-5
4	18,913	6,492	o-cimeno	000527-84-4
5	35,663	5,076	Z-Citral	000106-26-3

Fuente: datos experimentales, Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, UV.

Tabla CVI. **Compuestos mayoritarios del aceite esencial de fruto de limón criollo (*Citrus aurantifolia* Swingle) a escala laboratorio de la región de Escuintla**

Número	Tiempo de retención (min)	Porcentaje de área (%)	Nombre	Número CAS
1	35,756	8,873	Z-Citral	000106-26-3
2	37,627	8,416	Geranial	005392-40-5
3	38,363	6,072	Acetato de geranilo	000105-87-3
4	47,168	5,591	Oxido de cariofileno	001139-30-6
5	37,713	5,465	E-Citral	000141-27-5

Fuente: datos experimentales, Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, UV.

Tabla CVII. **Compuestos mayoritarios del aceite esencial de hoja de limón criollo (*Citrus aurantifolia* Swingle) a escala planta piloto de la región de Suchitepéquez**

Número	Tiempo de retención (min)	Porcentaje de área (%)	Nombre	Número CAS
1	66,687	9,781	Fitol	000150-86-7
2	37,516	8,042	Geranial	005392-40-5
3	32,964	7,601	Cariofileno	000087-44-5
4	16,088	7,263	d-limoneno	005989-27-5
5	27,465	5,730	(R)-(+)-Citronelal	002385-77-5

Fuente: datos experimentales, Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, UV.

Tabla CVIII. **Compuestos mayoritarios del aceite esencial de fruto de limón criollo (*Citrus aurantifolia* Swingle) a escala planta piloto de la región de Suchitepéquez**

Número	Tiempo de retención (min)	Porcentaje de área (%)	Nombre	Número CAS
1	16,168	16,709	d-limoneno	005989-27-5
2	37,538	12,369	Beta-bisaboleno	000495-61-4
3	32,978	6,813	Cariofileno	000087-44-5
4	35,642	4,881	Z-Citral	000106-26-3
5	66,679	4,208	Fitol	000150-86-7

Fuente: datos experimentales, Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, UV.

Tabla CIX. **Componentes mayoritarios del aceite esencial de hoja de limón criollo (*Citrus aurantifolia* Swingle) a escala planta piloto de la región de Santa Rosa**

Número	Tiempo de retención (min)	Porcentaje de área (%)	Nombre	Número CAS
1	37,597	16,015	Geranial	005392-40-5
2	16,125	11,847	d-limoneno	005989-27-5
3	35,692	11,764	Z-Citral	000106-26-3
4	38,311	9,693	Acetato de geranilo	000105-87-3
5	66,668	6,306	Fitol	000150-86-7

Fuente: datos experimentales, Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, UV.

Tabla CX. **Componentes mayoritarios del aceite esencial de fruto de limón criollo (*Citrus aurantifolia* Swingle) a escala planta piloto de la región de Santa Rosa**

Número	Tiempo de retención (min)	Porcentaje de área (%)	Nombre	Número CAS
1	16,167	15,407	d-limoneno	005989-27-5
2	37,550	12,444	Beta-bisaboleno	000495-61-4
3	38,317	7,942	Acetato de geranilo	000105-87-3
4	32,980	6,393	Cariofileno	000087-44-5
5	35,647	5,230	Z-Citral	000106-26-3

Fuente: datos experimentales, Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, UV.

Tabla CXI. **Compuestos mayoritarios del aceite esencial de hoja de limón criollo (*Citrus aurantifolia* Swingle) a escala planta piloto de la región de Escuintla**

Número	Tiempo de retención (min)	Porcentaje de área (%)	Nombre	Número CAS
1	37,220	12,386	3,7-dimetil-acetato-Z-2,6-octadien-1-ol	000141-12-8
2	16,120	11,592	d-limoneno	005989-27-5
3	37,551	10,533	Geranial	005392-40-5
4	38,294	7,088	Acetato de geranilo	000105-87-3
5	35,649	6,446	Z-Citral	000106-26-3

Fuente: datos experimentales, Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, UV.

Tabla CXII. **Componentes mayoritarios del aceite esencial de fruto de limón criollo (*Citrus aurantifolia* Swingle) a escala planta piloto de la región de Escuintla**

Número	Tiempo de retención (min)	Porcentaje de área (%)	Nombre	Número CAS
1	33,259	6,948	Cariofileno	000087-44-5
2	32,476	4,616	Alfa-bergamoteno	017699-05-7
3	16,187	4,697	d-limoneno	005989-27-5
4	37,827	3,658	Beta-bisaboleno	000495-61-4
5	52,051	3,426	Chavibetol	00501-19-9

Fuente: datos experimentales, Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, UV.

Tabla CXIII. **Propiedades organolépticas del gel antibacterial formulado con aceite esencial de limón criollo (*Citrus aurantifolia* Swingle)**

Muestra	Color	Olor
1	Amarillo pálido	Etanol y limón
2	Amarillo pálido	Etanol y limón
3	Amarillo pálido	Etanol y limón

Fuente: elaboración propia.

Tabla CXIV. **Ph de gel antibacterial formulado con aceite esencial de limón criollo (*Citrus aurantifolia* Swingle)**

Muestra	pH
1	6
2	6
3	6

Fuente: elaboración propia.

Tabla CXV. **Viscosidad de gel antibacterial formulado con aceite esencial de limón criollo (*Citrus aurantifolia* Swingle)**

Muestra	Viscosidad (cP)
1	1172
2	1202
3	1202

Fuente: elaboración propia.

Tabla CXVI. Poder bactericida del gel antibacterial formulado con aceite esencial de limón criollo (*Citrus aurantifolia* Swingle)

Muestra	Microorganismo	Resultado
1	Escherichia coli	No hubo crecimiento bacteriano
	Staphylococcus aureus	No hubo crecimiento bacteriano
	Pseudomonas aeruginosa	Hubo crecimiento bacteriano
	Salmonella spp	No hubo crecimiento bacteriano
2	Escherichia coli	No hubo crecimiento bacteriano
	Staphylococcus aureus	No hubo crecimiento bacteriano
	Pseudomonas aeruginosa	Hubo crecimiento bacteriano
	Salmonella spp	No hubo crecimiento bacteriano
3	Escherichia coli	No hubo crecimiento bacteriano
	Staphylococcus aureus	No hubo crecimiento bacteriano
	Pseudomonas aeruginosa	Hubo crecimiento bacteriano
	Salmonella spp	No hubo crecimiento bacteriano

Fuente: Laboratorio de análisis fisicoquímicos y microbiológicos (LAFYM).

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Los resultados de la tabla XLVI muestra que existe diferencia significativa en el rendimiento del aceite esencial de hoja a escala laboratorio en función de la región de procedencia, por el contrario los resultados de la tabla XLVIII muestran que no existe diferencia significativa en el rendimiento del aceite esencial de fruto a escala laboratorio en función de la región de procedencia. Los resultados de las tablas L y LII revelan que a escala planta piloto no existe diferencia significativa en el rendimiento del aceite esencial de hoja y fruto respectivamente. A pesar de que no existe diferencia significativa en los rendimientos, los datos de las tablas CVII, CVIX y CXI muestran que el aceite esencial de hoja extraído a escala planta piloto proveniente de Santa Rosa, tiene el mejor aroma debido a su mayor concentración de d-limoneno, compuesto responsable del olor característico del limón, este resultado es refutado por las extracciones a nivel laboratorio (tablas CI, CIII y CV) que muestran que Santa Rosa contiene la mayor concentración de d-limoneno.

Las extracciones a escala planta piloto muestran que el aceite esencial de fruto proveniente de Suchitepéquez tiene la mejor calidad debido a su mayor concentración de d-limoneno como se puede observar en los resultados de las tablas CVIII, CX y CXII. Las extracciones a escala laboratorio muestran que el aceite esencial de limón criollo proveniente de Suchitepéquez tiene un mejor sabor debido a su mayor concentración de geranial.

Los resultados de Tabla LIV muestran que no existe diferencia significativa en el rendimiento del aceite esencial a escala laboratorio en función de la parte

de la planta, por el contrario los resultados de la tabla LVI muestran que sí existe

diferencia significativa en el rendimiento del aceite esencial a escala planta piloto en función de la parte de la planta. Los rendimientos del aceite esencial de la hoja fueron mayores en comparación con el aceite esencial del fruto. A escala laboratorio se encontró que las hojas de limón criollo contenían una mayor concentración de d-limoneno que los frutos, por lo que el aroma a limón está más concentrado en las hojas, mientras que a escala planta piloto la tendencia fue que los frutos contenían una mayor concentración de d-limoneno con excepción de la región de Escuintla, la cual presentó una mayor concentración de Cariofileno.

Los resultados de las tablas LVIII y LX muestran que existe diferencia significativa en el rendimiento del aceite esencial de hoja y de fruto en función de la escala en la cual se realizó la extracción. Se obtuvo mayores rendimientos a escala laboratorio, este era el comportamiento esperado debido a que en la escala planta piloto hay una mayor cantidad de variables de operación que afectan el rendimiento de la extracción. La cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas permite confirmar que se obtuvo mayores concentraciones de d-limoneno con la técnica de arrastre con vapor directo en los aceites esenciales de fruto, por el contrario, se obtuvo mayores concentraciones de d-limoneno con la técnica de hidrodestilación en los aceites esenciales de hoja de limón criollo.

Los resultados de las tablas LXII y LXIV muestran que no existe diferencia significativa en la densidad del aceite esencial de hoja a escala laboratorio en función de la región de procedencia, siendo este el mismo comportamiento para el aceite esencial proveniente del fruto. Los resultados de la tabla LXVI permiten

confirmar que no existe diferencia significativa en la densidad del aceite esencial de hoja a escala planta piloto en función de la región de procedencia, por el contrario, los resultados de la tabla LXVIII muestran que la densidad del aceite esencial de fruto a escala planta piloto sí difiere significativamente en función de la región de procedencia.

Los resultados de la tabla LXX y LXXII muestran que no existe diferencia significativa en la densidad del aceite esencial en función de la parte de la planta a escala laboratorio y escala planta piloto. Los resultados de las tablas LXXIV y LXXVI muestran que no existe diferencia significativa en la densidad del aceite esencial de hoja y de fruto en función de la escala en la que se realizó la extracción. Esto nos indica que la técnica de extracción no afecta esta propiedad fisicoquímica.

Los resultados de la tabla LXXVIII muestran que no existe diferencia significativa en el índice de refracción del aceite esencial de hoja a escala laboratorio en función de la región de procedencia, este comportamiento es igual para el índice de refracción del aceite esencial de fruto como muestran los resultados de la tabla LXXX. Los resultados de las tablas LXXXII y LXXXIV muestran que no existe diferencia significativa en el índice de refracción del aceite esencial de hoja y de fruto a escala planta piloto, en función de la región de procedencia. Esto indica que los aceites esenciales de las regiones reducen la velocidad de la luz de la misma forma por lo que esta prueba de calidad no se puede utilizar para conocer la procedencia de los aceites.

Los resultados de las tablas LXXXVI y LXXXVIII muestran que sí existe diferencia significativa en el índice de refracción del aceite esencial a escala laboratorio y planta piloto en función de la parte de la planta, por lo que sí se puede utilizar este método para diferenciar entre los aceites esenciales

provenientes de estas partes de la planta. Los resultados de la tabla XC muestran que sí existe diferencia significativa en el índice de refracción del aceite esencial de hojas en función de la escala siendo el caso contrario para el aceite esencial de fruto como muestran los resultados de la tabla XCII.

Los resultados de la tabla XCIX muestran que el mayor pH se obtuvo con el aceite esencial de fruto de la región de Suchitepéquez a escala planta piloto, esta es una propiedad muy importante debido a que en el caso del jabón en gel disminuye la viscosidad del mismo, por lo que se debió incrementar la cantidad de carbopol que originalmente se agregó en el producto cosmético.

Los resultados de la tabla C muestran que el aceite esencial proveniente de las hojas tiene una mayor solubilidad en etanol que el proveniente de los frutos, esto disminuye la probabilidad que se formen dos fases si se utiliza aceite esencial de hojas. El aceite esencial de limón criollo de la región de Escuintla obtuvo la mayor solubilidad en etanol por lo que en el caso de la formulación de un producto como jabón en gel sería el candidato ideal para utilizarlo como ingrediente.

Los resultados de la tabla CXIII muestran que el aceite esencial de limón no enmascara totalmente el olor a etanol del jabón en gel, esto era de esperarse debido a que el etanol es el compuesto mayoritario del producto. Los resultados de la tabla CXIV muestran que el pH del jabón en gel está cercano al pH de la piel por lo que no debe causar resequedad en la misma. Los resultados de la tabla CXVI muestran que el jabón en gel fue efectivo inhibiendo el crecimiento de los microorganismos *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* y *Salmonella* spp, pero no fue efectivo contra la *Pseudomonas aeruginosa* a esto se debe a los mecanismos de defensa de esta bacteria entre los que están el cambiar la

permeabilidad de la membrana y expulsar sustancias nocivas que se encuentren dentro de la bacteria.

CONCLUSIONES

1. Existe diferencia significativa en el rendimiento del aceite esencial de hoja a escala laboratorio en función de la región de procedencia, siendo el caso contrario para el aceite esencial de fruto, no existe diferencia significativa en el rendimiento del aceite esencial de hoja y fruto a escala planta piloto en función de la región de procedencia.
2. Existe diferencia significativa en el rendimiento del aceite esencial a escala planta piloto en función de la parte de la planta, siendo el resultado contrario para la escala laboratorio.
3. Existe diferencia significativa en el rendimiento del aceite esencial de hoja y fruto de limón criollo en función de la escala.
4. No existe diferencia significativa en la densidad del aceite esencial de hojas y fruto a escala laboratorio y planta piloto en función de la región de procedencia.
5. No existe diferencia significativa en la densidad del aceite esencial a escala laboratorio y planta piloto en función de la parte de la planta.
6. No existe diferencia significativa en la densidad del aceite esencial de hojas y fruto en función de la escala.

7. No existe diferencia significativa en el índice de refracción del aceite esencial de hojas y fruto a escala laboratorio y planta piloto en función de la región de estudio de procedencia.
8. Existe diferencia significativa en el índice de refracción del aceite esencial a escala laboratorio y planta piloto en función de la parte de la planta.
9. Existe diferencia significativa en el índice de refracción del aceite esencial de hoja en función de la escala siendo el caso contrario para el aceite esencial de fruto.
10. Se determinó mediante el análisis cromatográfico que existe diferencia en la composición química del aceite esencial de las regiones del estudio (Escuintla, Santa Rosa y Suchitepéquez).
11. Se determinó mediante el análisis cromatográfico que existe diferencia en la composición química del aceite esencial en función de la parte de la planta (frutos y hojas).
12. Se determinó mediante el análisis cromatográfico que existe diferencia en la composición química del aceite esencial en función de la escala.
13. Se determinó que el gel antibacterial inhibe el crecimiento de *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* y *Salmonella* spp, siendo las *Pseudomonas aeruginosa* el único microorganismo que crece a pesar de la aplicación del gel antibacterial.

RECOMENDACIONES

1. Realizar un estudio sobre la factibilidad económica de la extracción del aceite esencial (*Citrus sinensis* Swingle) a escala industrial.
2. Realizar el estudio sobre el aceite esencial del limón criollo (*Citrus sinensis* Swingle) de los departamentos productores que no se mencionan en el presente estudio.
3. Determinar el rendimiento del aceite esencial mediante otros métodos de extracción para encontrar el adecuado a nivel industrial.
4. Formular productos cosméticos utilizando el aceite esencial de limón criollo (*Citrus sinensis* Swingle) como sustituto de las sustancias sintéticas.

BIBLIOGRAFÍA

1. AUGUSTYN, Adam. *Refractive Index*. [En línea] 20 de julio de 1998 [Citado el: 18 de abril de 2016.] <http://www.britannica.com/science/refractive-index>
2. CENGEL, Yunus. *Transferencia de calor y masa*. 4ta ed. México, 2011.
3. CHRISTIAN, Gary. *Química analítica*. 6ta ed. México, 2009
4. Citrus rucus. *Anatomía de la naranja*. [En línea] [Citado el: 20 de mayo de 2016.] <http://www.citrusricus.com/blog/anatomia-de-la-naranja/>
5. COLBERT, Mitchell. *Terpene Profile: Pinene*. [En línea] 7 de octubre de 2014 [Citado el: 17 de abril de 2016.] <http://theleafonline.com/c/science/2014/10/terpene-profile-pinene/>
6. Ecured. *Aceites esenciales*. [En línea] [Citado el: 16 de abril de 2016.] http://www.ecured.cu/Aceites_esenciales
7. ESTRADA, Joana. *Extracción del aceite esencial del flavedo de la naranja dulce (Citrus sinensis L.) variedad valencia, proveniente de desechos agroindustriales, utilizando el método de destilación por arrastre con vapor a escala planta piloto, para su aplicación en la formulación de cosméticos*. Trabajo de graduación de Ing.

Química. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2015.

8. ESPINA, Stephanny. *Evaluación del rendimiento extractivo y caracterización fisicoquímica del aceite esencial de cardamomo (Elettaria cardamomum L. Matton) de primera, segunda y tercera calidad mediante el método de hidrodestilación a escala laboratorio*. Trabajo de graduación de Ingeniería Química. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2014
9. GOLDWEBER, Philips. *El limón criollo en Florida*. [En línea] Octubre de 1990 [Citado el 16 de abril de 2016.] <http://edis.ifas.ufl.edu/hs271>
10. GONZÁLEZ, Ana. *Anatomía del fruto*. [En línea] [Citado el: 20 de mayo de 2016.] <http://www.biologia.edu.ar/botanica/tema24/24-6fruto.htm>
11. HERNÁNDEZ, Fernando. *El cultivo del limón*. [En línea] [Citado el: 16 de abril de 2016.] http://www.agro-tecnologia-tropical.com/cultivo_limon.php
12. MOTT, Robert. *Mecánica de fluidos*. 7ª ed. México, 2015
13. National Center for Biotechnology information. *Alpha-Pinene*. [En línea] [Citado el: 16 de abril de 2016.] <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/alpha-pinene>

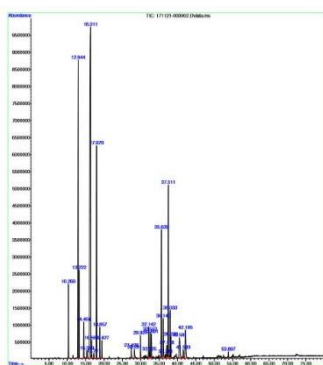
14. National Center for Biotechnology Information. *Linalool*. [En línea] [Citado el: 16 de abril de 2016.]
<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Linalool>
15. PAZ, Maria. *Definición de Limón*. [En línea] 17 de septiembre de 2015 [Citado el: 16 de abril de 2016.]
<http://www.definicionabc.com/general/limon.php>
16. Quiminet. *Aceites esenciales: obtención y aplicaciones* [En línea] 6 de febrero de 2012 [Citado el: 18 de abril de 2016.]
<http://www.quiminet.com/articulos/aceites-esenciales-obtencion-y-aplicaciones-2676632.htm>
17. Quiminet. *¿Qué es limoneno?* [En línea] 27 de noviembre de 2006 [Citado el: 16 de abril de 2016.]
<http://www.quiminet.com/articulos/que-es-el-limoneno-16661.htm>
18. Sallamander Concepts. *Lemon essential oil information*. [En línea] [Citado el: 16 de abril de 2016.]
<http://www.essentialoils.co.za/essential-oils/lemon.htm>
19. Sallamander Concepts. *The chemistry of essential oils, and their chemical components*. [En línea] [Citado el: 16 de abril de 2016.]
<http://www.essentialoils.co.za/components.htm>.
20. SARAVIA, Edwin. *Evaluación del rendimiento extractivo, contenido de α -pineno y tiempo óptimo de extracción del aceite esencial de*

ciprés (Cupressus lusitánica Mil.) obtenido de hojas, ramillas y frutos mediante el método de hidrodestilación a nivel laboratorio. Trabajo de graduación de Ingeniería Química. Facultad de Ingeniería., Universidad de San Carlos de Guatemala, 2013

21. SHUKLA, Gaurav. *Rutaceae*. [En línea] 20 de julio de 1998 20/07/1998 [Citado el: 20 de abril de 2016.] <http://www.britannica.com/plant/Rutaceae>
22. SHUTES, Jade. *How are essential oils extracted?* [En línea] [Citado el: 19 de abril de 2016.] <https://www.naha.org/explore-aromatherapy/about-aromatherapy/how-are-essential-oils-extracted/>
23. TIMMERHAUS, Klaus, *Plant design and economics for chemical engineers*. 5ta ed. India, 2011.
24. WADE, Leroy. *Phenol*. [En línea] 20 de junio de 1998 [Citado el: 16 de abril de 2016.] <http://www.britannica.com/science/phenol>
25. WONG, Cathy. *What are Essential oils*. [En línea] 6 de Octubre de 2017 [Citado el: 16 de abril de 2016.] <https://www.verywell.com/what-are-essential-oils-88807>.
26. YOUNG, Grace. *Isoprene*. [En línea] 24 de mayo de 2013 [Citado el: 16 de abril de 2016.] <http://www.britannica.com/science/isoprene>

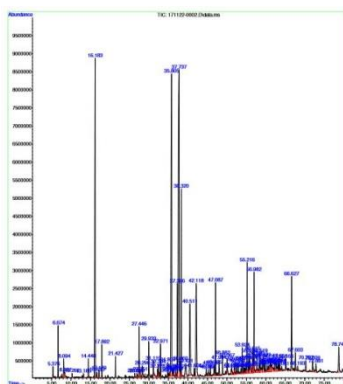
ANEXOS

Figura 16. **Cromatograma de aceite esencial de limón criollo (*Citrus aurantifolia* Swingle) de hoja proveniente de Suchitepéquez a escala laboratorio**



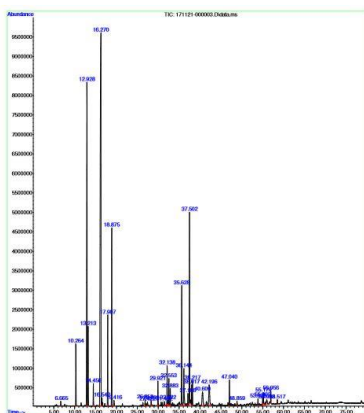
Fuente: datos experimentales, Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, UV.

Figura 17. **Cromatograma de aceite esencial de limón criollo (*Citrus aurantifolia* Swingle) de hoja proveniente de Suchitepéquez a escala laboratorio**



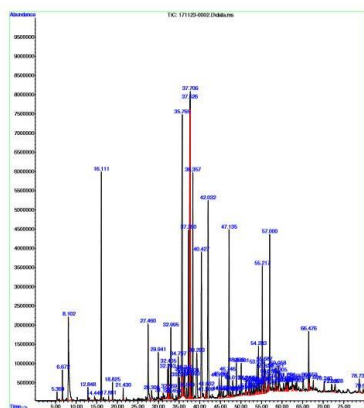
Fuente: datos experimentales, Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, UV.

Figura 18. **Cromatograma de aceite esencial de limón criollo (*Citrus aurantifolia* Swingle) de fruto proveniente de Santa Rosa escala laboratorio**



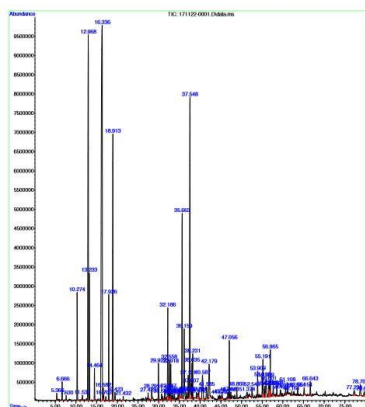
Fuente: datos experimentales, Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, UV.

Figura 19. **Cromatograma de aceite esencial de limón criollo (*Citrus aurantifolia* Swingle) de fruto proveniente de Santa Rosa a escala laboratorio**



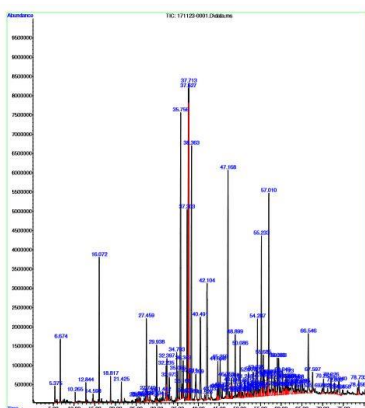
Fuente: datos experimentales, Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, UV.

Figura 20. **Cromatograma de aceite esencial de limón criollo (*Citrus aurantifolia* Swingle) de hoja proveniente de Escuintla a escala laboratorio**



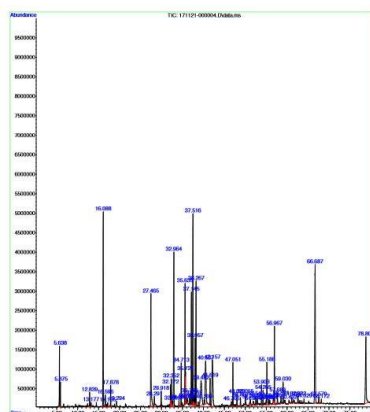
Fuente: datos experimentales, Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, UV.

Figura 21. **Cromatograma de aceite esencial de limón criollo (*Citrus aurantifolia* Swingle) de fruto proveniente de Escuintla a escala laboratorio**



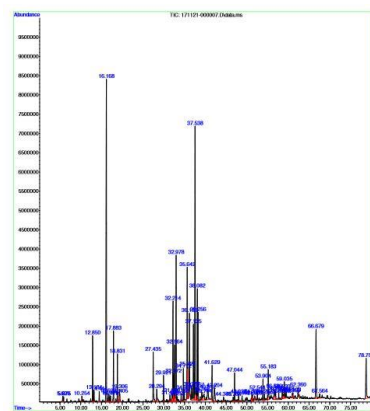
Fuente: datos experimentales, Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, UV.

Figura 22. **Cromatograma de aceite esencial de limón criollo (*Citrus aurantifolia* Swingle) de hoja de Suchitepéquez a escala planta piloto**



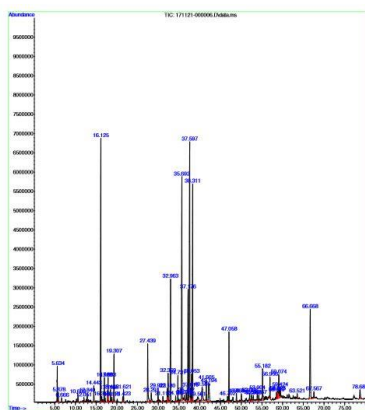
Fuente: datos experimentales, Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, UV.

Figura 23. **Cromatograma de aceite esencial de limón criollo (*Citrus aurantifolia* Swingle) de fruto proveniente de Suchitepéquez a escala planta piloto**



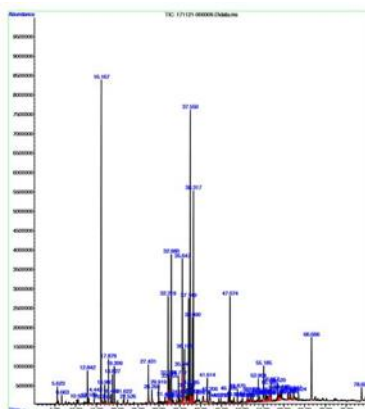
Fuente: datos experimentales, Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, UV.

Figura 24. **Cromatograma de aceite esencial de limón criollo (*Citrus aurantifolia* Swingle) de hoja proveniente de Santa Rosa a escala planta piloto**



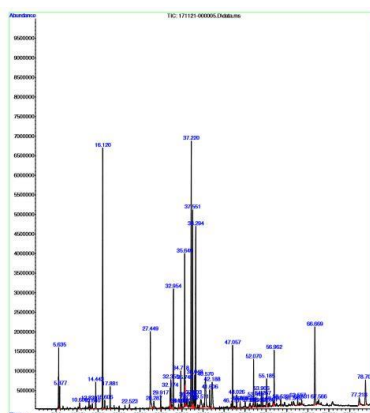
Fuente: datos experimentales, Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, UV.

Figura 25. **Cromatograma de aceite esencial de limón criollo (*Citrus aurantifolia* Swingle) de fruto proveniente de Santa Rosa a escala planta piloto**



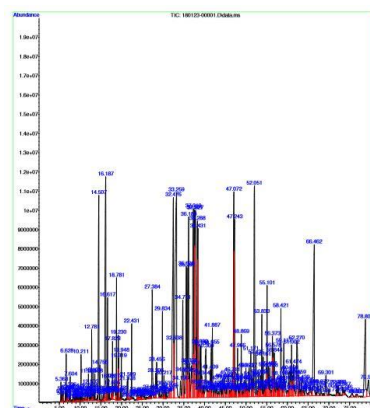
Fuente: datos experimentales, Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, UV.

Figura 26. **Cromatograma de aceite esencial de limón criollo (*Citrus aurantifolia* Swingle) de hojas proveniente de Escuintla a escala planta piloto**



Fuente: datos experimentales, Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, UV.

Figura 27. **Cromatograma de aceite esencial de limón criollo (*Citrus aurantifolia* Swingle) de fruto proveniente de Escuintla a escala planta piloto**



Fuente: datos experimentales, Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, UV.

Figura 28. **Recolección de materia prima de hojas de limón criollo (*Citrus aurantifolia* Swingle)**



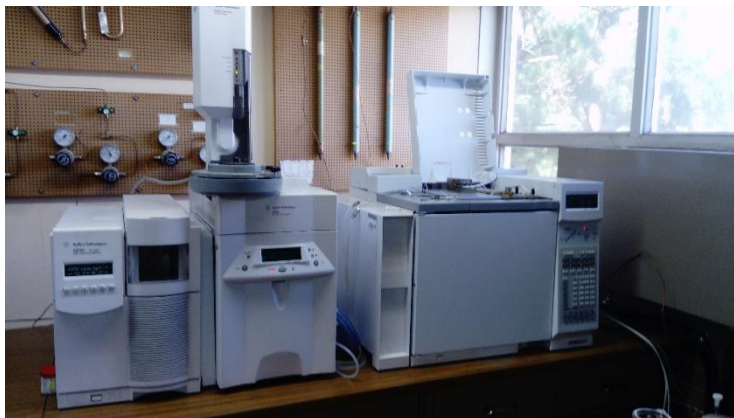
Fuente: elaboración propia.

Figura 29. **Hojas de limón criollo (*Citrus aurantifolia* Swingle)**



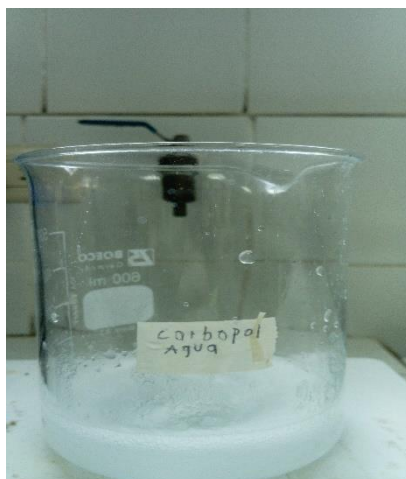
Fuente: elaboración propia.

Figura 30. **Cromatógrafo de gases acoplado a espectrómetro de masas**



Fuente: elaboración propia.

Figura 31. **Mezcla de carbopol y agua**



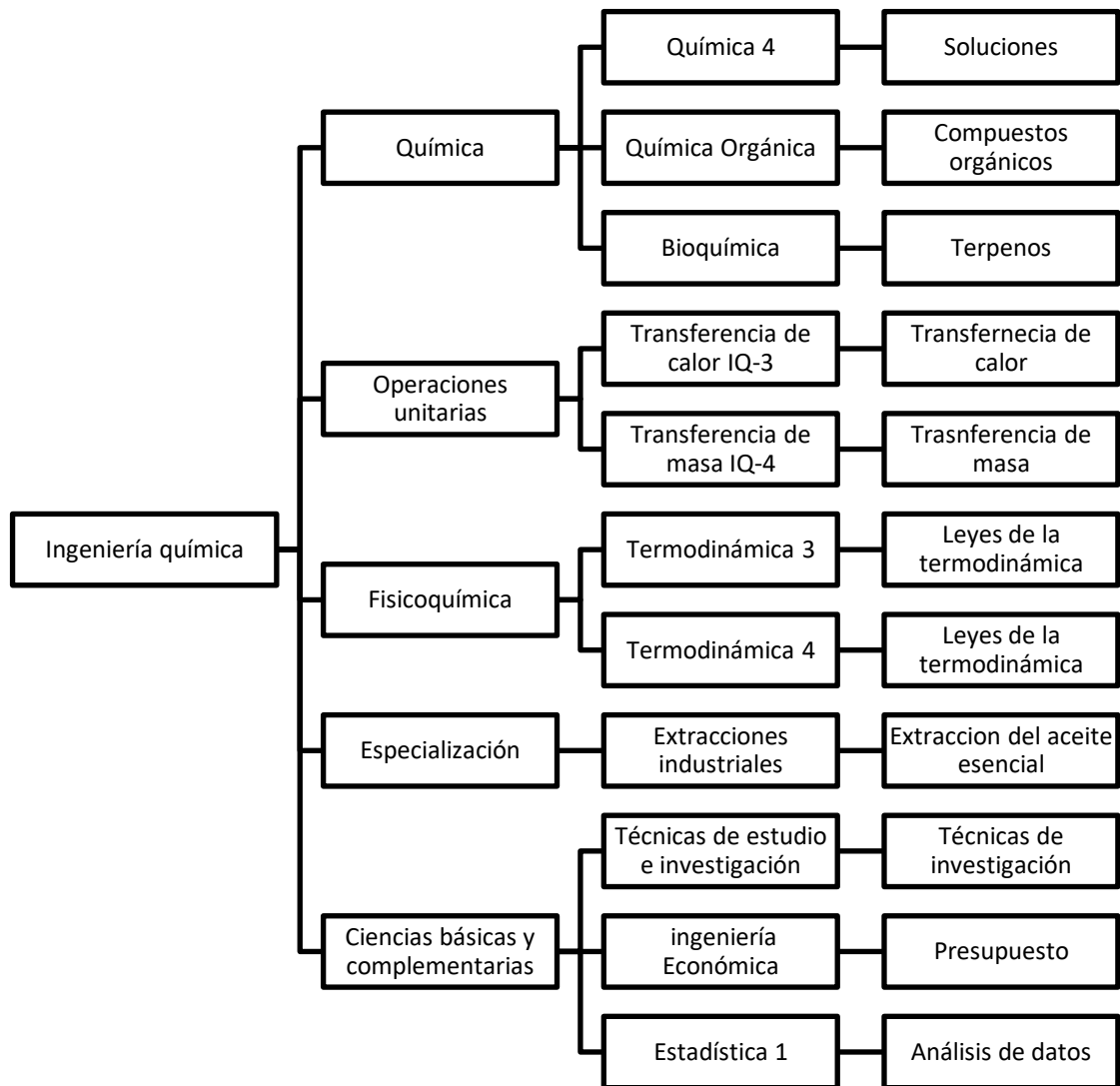
Fuente: elaboración propia.

Figura 32. **Jabón antibacterial formulado con aceite esencial de limón criollo**



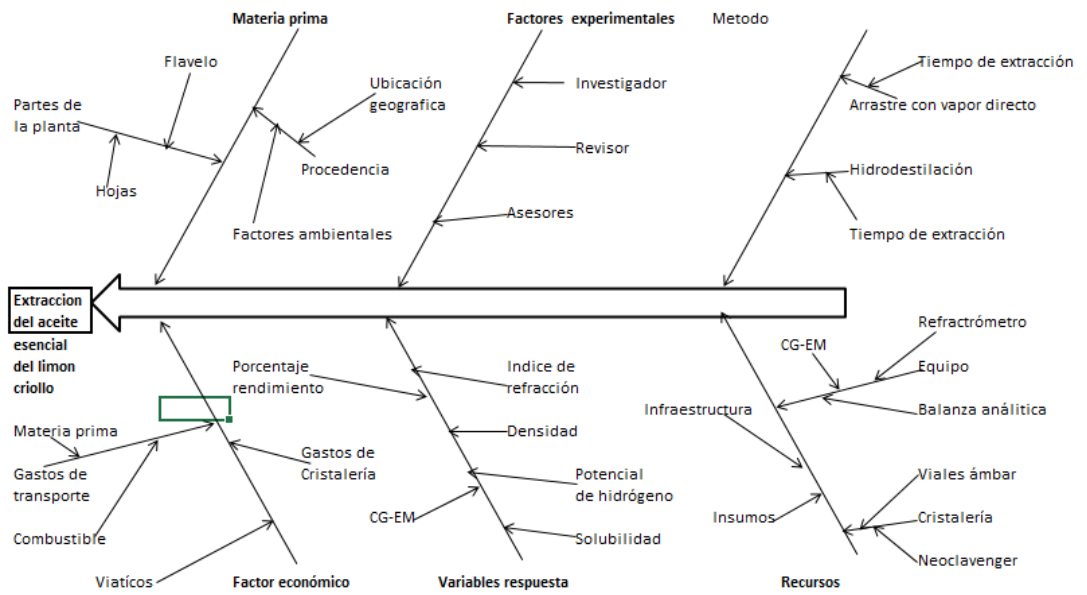
Fuente: elaboración propia.

Figura 33. Diagrama de requisitos académicos



Fuente: elaboración propia.

Figura 34. Diagrama de Ishikawa



Fuente: elaboración propia.

