



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

**EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE EXTRACCIÓN DEL ACEITE ESENCIAL DE LA  
CÁSCARA DE NARANJA WASHINGTON NAVEL (*Citrus sinensis* var. Washington Navel),  
PROCEDENTE DEL MUNICIPIO DE ALOTENANGO, SACATEPÉQUEZ, A ESCALA  
LABORATORIO Y ESCALA PLANTA PILOTO**

**Henio Amilcar López Pineda**

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

Guatemala, febrero de 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE EXTRACCIÓN DEL ACEITE ESENCIAL DE LA  
CÁSCARA DE NARANJA WASHINGTON NAVEL (*Citrus sinensis* var. Washington Navel),  
PROCEDENTE DEL MUNICIPIO DE ALOTENANGO, SACATEPÉQUEZ, A ESCALA  
LABORATORIO Y ESCALA PLANTA PILOTO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**HENIO AMILCAR LÓPEZ PINEDA**

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

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO QUÍMICO**

GUATEMALA, FEBRERO DE 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Luis Diego Aguilar Ralón
VOCAL V	Br. Christian Daniel Estrada Santizo
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADORA	Inga. Mercedes Esther Roquel Chávez
EXAMINADOR	Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez
EXAMINADOR	Ing. César Ariel Villela Rodas
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

**EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE EXTRACCIÓN DEL ACEITE ESENCIAL DE LA CÁSCARA DE NARANJA WASHINGTON NAVEL (*Citrus sinensis* var. Washington Navel), PROCEDENTE DEL MUNICIPIO DE ALOTENANGO, SACATEPÉQUEZ, A ESCALA LABORATORIO Y ESCALA PLANTA PILOTO**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 31 de julio de 2017.



**Henio Amilcar López Pineda**



Guatemala, 23 de agosto de 2018

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

Ingeniero Wong:

Por medio de la presente HACEMOS CONSTAR que hemos revisado y dado nuestra aprobación al informe final del trabajo de graduación titulado "EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE EXTRACCIÓN DEL ACEITE ESENCIAL DE LA CÁSCARA DE NARANJA WASHINGTON NAVEL (*Citrus sinensis* var. Washington Navel), PROCEDENTE DEL MUNICIPIO DE ALOTENANGO, SACATEPÉQUEZ, A ESCALA LABORATORIO Y ESCALA PLANTA PILOTO", del estudiante de Ingeniería Química Henio Amilcar López Pineda quien se identifica con el carné número 201212829 y código único de identificación (CUI) 2116271190101.

Sin otro particular nos suscribimos de usted.

Atentamente,

Ing. Qco. Mario José Mérida Meré  
Asesor  
JEFE



Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales –LIEXVE-  
Sección Química Industrial  
Centro de Investigaciones de Ingeniería/USAC

INGENIERO QUÍMICO  
Mario José Mérida Meré  
Colegiado 1411

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



INGENIERA QUÍMICA  
Telma Maricela Cano M.  
Colegiada 433



Guatemala, 18 de octubre de 2018.  
Ref. EIQ.TG-IF.053.2018.

Ingeniero  
Carlos Salvador Wong Davi  
DIRECTOR  
Escuela de Ingeniería Química  
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Wong:

Como consta en el registro de evaluación del informe final EIQ-PRO-REG-007 correlativo **029-2017** le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

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

Solicitado por el estudiante universitario: **Henio Amilcar López Pineda**.  
Identificado con el CUI: **2116 27119 0101**.  
Identificado con registro académico: **2012-12829**.  
Previo a optar al título de **INGENIERO QUÍMICO**.

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

**EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE EXTRACCIÓN DEL ACEITE ESENCIAL DE LA  
CÁSCARA DE NARANJA WASHINGTON NAVEL (*Citrus sinensis* var. Washington Navel),  
PROCEDENTE DEL MUNICIPIO DE ALOTENANGO, SACATEPÉQUEZ, A ESCALA  
LABORATORIO Y ESCALA PLANTA PILOTO**

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

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

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”



Inga. Cinthya Patricia Ortiz Quiroa  
COORDINADORA DE TERNA  
Tribunal de Revisión  
Trabajo de Graduación



C.c.: archivo



Agencia Centroamericana de Acreditación de  
Empresas de Arquitectura e Ingeniería





Ref.EIQ.TG.011.2019

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Trabajo de Graduación del estudiante, **HENIO AMILCAR LÓPEZ PINEDA** titulado: **"EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE EXTRACCIÓN DEL ACEITE ESENCIAL DE LA CÁSCARA DE NARANJA WASHINGTON NAVEL (*Citrus sinensis* var. Washington Navel), PROCEDENTE DEL MUNICIPIO DE ALOTENANGO, SACATEPÉQUEZ, A ESCALA LABORATORIO Y ESCALA PLANTA PILOTO"**. Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.

*"Id y Enseñad a Todos"*

Ing. Carlos Salvador Wong Davi  
Director  
Escuela de Ingeniería Química

Guatemala, enero 2019 **FACULTAD DE INGENIERIA USAC**  
**ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA**  
**DIRECTOR**

Cc: Archivo  
CSWD/ale

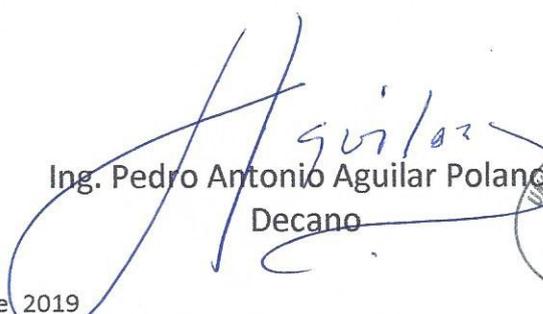




DTG. 065.2019

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al Trabajo de Graduación titulado: **EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE EXTRACCIÓN DEL ACEITE ESENCIAL DE LA CÁSCARA DE NARANJA WASHINGTON NAVEL (*Citrus sinensis* var. *Washington Navel*), PROCEDENTE DEL MUNICIPIO DE ALOTENANGO, SACATEPÉQUEZ, A ESCALA LABORATORIO Y ESCALA PLANTA PILOTO**, presentado el estudiante universitario: **Henio Amilcar López Pineda**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

  
Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Decano



Guatemala, febrero de 2019

/gdech

## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Por brindarme la fortaleza, apoyo y estar conmigo en todo momento de mi vida.
- Mis padres** Henio Alberto López Martínez y Myrna Judith Pineda Bolaños, por su apoyo y amor incondicional que me han demostrado durante toda la vida, sin ellos no habría podido lograr todas mis metas.
- Mis abuelas** Aura Estela Bolaños y Hermelinda Martínez de López, a Dios las tenga en su gloria.
- Mi familia** Tías, primos y abuelos, por su cariño y palabras de ánimo.
- Mi amiga** Frida Navichoque, por el apoyo y compañía en todos los momentos que compartimos durante los cursos de la carrera de Ingeniería Química
- Mis amigos** Por el apoyo y compañía que me brindaron en el transcurso de la carrera.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por ser mi casa de estudio y brindarme la oportunidad para formarme como profesional.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por brindarme todos los conocimientos necesarios para desarrollarme como ingeniero químico.
<b>Mi padre</b>	Henio Alberto López Martínez, por su apoyo y darme los ánimos necesarios para poder seguir adelante para lograr finalizar mi carrera.
<b>Mi madre</b>	Myrna Judith Pineda Bolaños, por apoyo y compañía en los momentos difíciles y felices durante la carrera.
<b>Mi familia</b>	Por las palabras de ánimo y apoyo que me brindaron durante mi carrera universitaria.
<b>Mis amigos</b>	Luis Caninza, Frida Navichoque, Elder Villatoro, Luis Cruz, Migdalia Carranza, Rodrigo Arévalo y amigos de la promoción 2012.

**Mis asesores**

Ing. Mario Mérida e Inga. Telma Cano, por el apoyo y brindarme la oportunidad de poder elaborar el presente estudio compartiendo sus conocimientos y experiencia.

**Laboratorio de  
Investigación de  
Extractos Vegetales  
(LIEXVE)**

Por permitirme utilizar las instalaciones y equipos necesarios para poder realizar el estudio de investigación.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS .....	XV
GLOSARIO .....	XVII
RESUMEN.....	XXI
OBJETIVOS.....	XXIII
HIPÓTESIS.....	XXV
INTRODUCCIÓN .....	XXIX
1. ANTECEDENTES .....	1
2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Aceites Esenciales .....	5
2.1.1. Composición química .....	6
2.1.2. Propiedades fisicoquímicas .....	8
2.1.2.1. Densidad .....	8
2.1.2.2. Índice de refracción .....	8
2.1.2.3. pH.....	9
2.1.2.4. Resistividad eléctrica .....	9
2.1.3. Factores de las características olfativas del aceite esencial.....	9
2.1.3.1. Factores metabólicos.....	10
2.1.3.2. Volatilidad .....	10
2.1.3.3. Solubilidad .....	10
2.1.3.4. Partes de la planta en donde se ubican el tejido vegetal .....	11

2.2.	Usos de los aceites esenciales .....	11
2.2.1.	Aromaterapia.....	11
2.2.2.	Perfumería.....	11
2.2.3.	Confección de insecticidas .....	11
2.2.4.	Conservación de alimentos .....	12
2.2.5.	Remedio caseros .....	12
2.2.6.	Productos industriales .....	12
2.3.	Beneficios de los aceites esenciales .....	12
2.4.	Almacenamiento de los aceites esenciales.....	13
2.5.	Calidad de los aceites esenciales .....	14
2.5.1.	Criterios de calidad.....	14
2.5.2.	Control de calidad .....	15
2.5.3.	Análisis de calidad.....	15
2.5.3.1.	Características organolépticas .....	15
2.5.3.2.	Determinaciones físicas .....	16
2.5.3.3.	Índices químicos.....	16
2.5.3.4.	Cromatografía de gases acoplado a espectrometría de masas (GC-MS).....	17
2.6.	Rendimiento extractivo de los aceites esenciales .....	18
2.6.1.	Factores que afectan el rendimiento extractivo .....	19
2.6.1.1.	Tiempo de secado.....	19
2.6.1.2.	Tipo de materia prima .....	19
2.6.1.3.	Tamaño de partícula .....	19
2.6.1.4.	Tiempo de extracción .....	19
2.6.1.5.	Método de extracción .....	20
2.6.1.6.	Características del equipo de extracción .....	20
2.6.1.7.	Características de los flujos.....	20
2.7.	Métodos de extracción de los aceites esenciales .....	20

2.7.1.	Hidrodestilación .....	20
2.7.2.	Enflorado .....	22
2.7.3.	Maceración .....	23
2.7.4.	Extracción por solventes volátiles.....	23
2.7.5.	Fluidos supercríticos.....	23
2.7.6.	Destilación por arrastre de vapor directo .....	24
2.8.	Aceite esencial de naranja.....	26
2.8.1.	Composición del aceite esencial de naranja.....	26
2.8.1.1.	D-limoneno .....	26
2.8.1.2.	$\alpha$ -pineno.....	27
2.8.1.3.	Linalool .....	28
2.8.1.4.	Mirceno .....	29
2.8.1.5.	Octanal .....	30
2.8.2.	Beneficios del aceite esencial.....	31
2.8.3.	Usos del aceite esencial de la naranja .....	31
2.9.	Naranja Washington Navel.....	32
2.9.1.	Procedencia de las naranjas Washington Navel.....	32
2.9.2.	Árbol de la naranja Washington Navel.....	33
2.10.	Producción de la naranja en Guatemala.....	33
2.11.	Departamento de Sacatepéquez .....	34
2.11.1.	Municipio de Alotenango .....	35
3.	DISEÑO METODOLÓGICO .....	37
3.1.	Localización.....	37
3.2.	Variables.....	37
3.3.	Delimitación del campo de estudio .....	38
3.4.	Recursos humanos disponibles.....	39
3.5.	Recursos materiales disponibles.....	39
3.5.1.	Equipo de protección personal .....	39

3.5.2.	Equipo .....	39
3.5.3.	Cristalería .....	40
3.5.4.	Materia prima .....	40
3.6.	Técnica cualitativa o cuantitativa.....	41
3.6.1.	Extracción de aceite esencial de naranja Washington Navel ( <i>Citrus sinensis var. Washington Navel</i> ), utilizando el método de hidrodestilación a escala laboratorio .....	41
3.6.2.	Extracción de aceite esencial de naranja Washington Navel ( <i>Citrus sinensis var. Washington Navel</i> ), utilizando el método de arrastre con vapor directo, a escala planta piloto ....	42
3.6.3.	Cálculo de la densidad del aceite esencial de naranja Washington Navel ( <i>Citrus sinensis var. Washington Navel</i> ) .....	43
3.6.4.	Medición del índice de refracción del aceite esencial de naranja Washington Navel ( <i>Citrus sinensis var. Washington Navel</i> ) .....	43
3.6.5.	Determinación del rendimiento extractivo del aceite esencial de naranja Washington Navel ( <i>Citrus sinensis var. Washington Navel</i> ).....	44
3.6.6.	Detección de componentes químicos a través de una cromatografía de gases con acoplamiento de espectrometría de masas para el aceite esencial de naranja Washington Navel ( <i>Citrus sinensis var. Washington Navel</i> ) .....	44
3.7.	Recolección y ordenamiento de la información.....	44
3.8.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.....	56

3.9.	Análisis estadístico .....	61
4.	RESULTADOS .....	69
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	83
	CONCLUSIONES .....	89
	RECOMENDACIONES.....	91
	BIBLIOGRAFÍA.....	93
	APÉNDICES .....	95
	ANEXOS.....	99



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Isopropeno .....	7
2.	Molécula de Isopropeno .....	7
3.	Cromatógrafo de gases acoplado a un espectrómetro de masas (GC-MS).....	18
4.	Esquema del equipo Neoclevenger .....	22
5.	Planta piloto de extracción mediante destilación por arrastre con vapor.....	25
6.	Molécula de d-limoneno .....	27
7.	Molécula $\alpha$ -pineno.....	28
8.	Molécula de linalool.....	29
9.	Molécula de mirceno .....	30
10.	Molécula Octanal .....	30
11.	Municipio de Alotenango, Sacatepéquez, Guatemala.....	35
12.	Rendimiento de la extracción del aceite esencial de la cáscara de naranja Washington Navel ( <i>Citrus sinensis</i> var. Washington Navel) en función al tiempo de extracción, a escala laboratorio.....	70
13.	Rendimiento de la extracción del aceite esencial de la cáscara de naranja Washington Navel ( <i>Citrus sinensis</i> var. Washington Navel) en función al tiempo de extracción, a escala planta piloto. ....	71

## TABLAS

I.	Factores constantes.....	37
II.	Variables independientes.....	38
III.	Variables dependientes .....	38
IV.	Ordenamiento de muestras obtenidas .....	45
V.	Porcentaje de rendimiento de extracción del aceite esencial de naranja Washington Navel ( <i>Citrus sinensis</i> var. Washington Navel) a escala laboratorio.....	46
VI.	Porcentaje de rendimiento de extracción del aceite esencial de naranja Washington Navel ( <i>Citrus sinensis</i> var. Washington Navel) a escala planta piloto .....	46
VII.	Densidad del aceite esencial de naranja Washington Navel ( <i>Citrus sinensis</i> var. Washington Navel) a escala laboratorio.....	47
VIII.	Densidad del aceite esencial de naranja Washington Navel ( <i>Citrus sinensis</i> var. Washington Navel) a escala planta piloto .....	48
IX.	Índice de refracción del aceite esencial de naranja Washington Navel ( <i>Citrus sinensis</i> var. Washington Navel) a escala laboratorio .....	49
X.	Índice de refracción del aceite esencial de naranja Washington Navel ( <i>Citrus sinensis</i> var. Washington Navel) a escala planta piloto...	49
XI.	Composición química del aceite esencial de naranja Washington Navel ( <i>Citrus sinensis</i> var. Washington Navel), utilizando un tiempo de extracción de 60 min., a escala laboratorio.....	50
XII.	Composición química del aceite esencial de naranja Washington Navel ( <i>Citrus sinensis</i> var. Washington Navel), utilizando un tiempo de extracción de 120 min., a escala laboratorio.....	51

XIII.	Composición química del aceite esencial de naranja Washington Navel ( <i>Citrus sinensis</i> var. Washington Navel), utilizando un tiempo de extracción de 180 min., a escala laboratorio .....	52
XIV.	Composición química del aceite esencial de naranja Washington Navel ( <i>Citrus sinensis</i> var. Washington Navel), utilizando un tiempo de extracción de 240 min., a escala laboratorio .....	53
XV.	Composición química del aceite esencial de naranja Washington Navel ( <i>Citrus sinensis</i> var. Washington Navel), utilizando un tiempo de extracción de 60 min., a escala planta piloto.....	53
XVI.	Composición química del aceite esencial de naranja Washington Navel ( <i>Citrus sinensis</i> var. Washington Navel), utilizando un tiempo de extracción de 120 min., a escala planta piloto.....	54
XVII.	Composición química del aceite esencial de naranja Washington Navel ( <i>Citrus sinensis</i> var. Washington Navel), utilizando un tiempo de extracción de 180 min., a escala planta piloto.....	55
XVIII.	Composición química del aceite esencial de naranja Washington Navel ( <i>Citrus sinensis</i> var. Washington Navel), utilizando un tiempo de extracción de 240 min., a escala planta piloto.....	56
XIX.	Porcentaje de rendimiento de extracción del aceite esencial de naranja Washington Navel ( <i>Citrus sinensis</i> var. Washington Navel) a escala laboratorio .....	57
XX.	Porcentaje de rendimiento de extracción del aceite esencial de naranja Washington Navel ( <i>Citrus sinensis</i> var. Washington Navel) a escala planta piloto.....	57
XXI.	Densidad del aceite esencial de naranja Washington Navel ( <i>Citrus sinensis</i> var. Washington Navel) a escala laboratorio .....	58
XXII.	Densidad del aceite esencial de naranja Washington Navel ( <i>Citrus sinensis</i> var. Washington Navel) a escala planta piloto.....	59

XXIII.	Índice de refracción del aceite esencial de naranja Washington Navel ( <i>Citrus sinensis</i> var. Washington Navel) a escala laboratorio .....	60
XXIV.	Índice de refracción del aceite esencial de naranja Washington Navel ( <i>Citrus sinensis</i> var. Washington Navel) a escala planta piloto...	60
XXV.	Experimento de un factor, para el rendimiento extractivo del aceite esencial de naranja Washington Navel ( <i>Citrus sinensis</i> var. Washington Navel) a escala laboratorio .....	62
XXVI.	Análisis de varianza de un factor, para el rendimiento extractivo del aceite esencial de naranja Washington Navel ( <i>Citrus sinensis</i> var. Washington Navel) a escala laboratorio .....	62
XXVII.	Experimento de un factor, para el rendimiento extractivo del aceite esencial de naranja Washington Navel ( <i>Citrus sinensis</i> var. Washington Navel) a escala planta piloto .....	63
XXVIII.	Análisis de varianza de un factor, para el rendimiento extractivo del aceite esencial de naranja Washington Navel ( <i>Citrus sinensis</i> var. Washington Navel) a escala planta piloto .....	63
XXIX.	Experimento de un factor, para la densidad del aceite esencial de naranja Washington Navel ( <i>Citrus sinensis</i> var. Washington Navel) a escala laboratorio.....	64
XXX.	Análisis de varianza de un factor, para la densidad del aceite esencial de naranja Washington Navel ( <i>Citrus sinensis</i> var. Washington Navel) a escala laboratorio .....	64
XXXI.	Experimento de un factor, para la densidad del aceite esencial de naranja Washington Navel ( <i>Citrus sinensis</i> var. Washington Navel) a escala planta piloto .....	65
XXXII.	Análisis de varianza de un factor, para la densidad del aceite esencial de naranja Washington Navel ( <i>Citrus sinensis</i> var. Washington Navel) a escala planta piloto .....	65

XXXIII.	Experimento de un factor, para el índice de refracción del aceite esencial de naranja Washington Navel ( <i>Citrus sinensis var. Washington Navel</i> ) a escala laboratorio.....	66
XXXIV.	Análisis de varianza de un factor, para el índice de refracción del aceite esencial de naranja Washington Navel ( <i>Citrus sinensis var. Washington Navel</i> ) a escala laboratorio.....	66
XXXV.	Experimento de un factor, para el índice de refracción del aceite esencial de naranja Washington Navel ( <i>Citrus sinensis var. Washington Navel</i> ) a escala planta piloto .....	67
XXXVI.	Análisis de varianza de un factor, para el índice de refracción del aceite esencial de naranja Washington Navel ( <i>Citrus sinensis var. Washington Navel</i> ) a escala planta piloto .....	67
XXXVII.	Rendimiento de la extracción del aceite esencial de la cáscara de naranja Washington Navel ( <i>Citrus sinensis var. Washington Navel</i> ) a escala laboratorio.....	69
XXXVIII.	Rendimiento de la extracción del aceite esencial de la cáscara de naranja Washington Navel ( <i>Citrus sinensis var. Washington Navel</i> ) a escala planta piloto.....	70
XXXIX.	Densidad en función del tiempo de extracción del aceite esencial de la cáscara de naranja Washington Navel ( <i>Citrus sinensis var. Washington Navel</i> ), a escala laboratorio.....	71
XL.	Densidad en función del tiempo de extracción del aceite esencial de la cáscara de naranja Washington Navel ( <i>Citrus sinensis var. Washington Navel</i> ), a escala planta piloto. ....	72
XLI.	Índice de refracción en función del tiempo de extracción del aceite esencial de la cáscara de naranja Washington Navel ( <i>Citrus sinensis var. Washington Navel</i> ), a escala laboratorio.....	72

XLII.	Índice de refracción en función del tiempo de extracción del aceite esencial de la cáscara de naranja Washington Navel ( <i>Citrus sinensis</i> var. Washington Navel), a escala planta piloto. ....	73
XLIII.	Composición química del aceite esencial de la cáscara de naranja Washington Navel ( <i>Citrus sinensis</i> var. Washington Navel), utilizando un tiempo de extracción de 60 min., a escala laboratorio. ....	73
XLIV.	Composición química del aceite esencial de la cáscara de naranja Washington Navel ( <i>Citrus sinensis</i> var. Washington Navel), utilizando un tiempo de extracción de 120 min., a escala laboratorio. ....	74
XLV.	Composición química del aceite esencial de la cáscara de naranja Washington Navel ( <i>Citrus sinensis</i> var. Washington Navel), utilizando un tiempo de extracción de 180 min., a escala laboratorio. ....	76
XLVI.	Composición química del aceite esencial de la cáscara de naranja Washington Navel ( <i>Citrus sinensis</i> var. Washington Navel), utilizando un tiempo de extracción de 240 min., a escala laboratorio. ....	77
XLVII.	Composición química del aceite esencial de la cáscara de naranja Washington Navel ( <i>Citrus sinensis</i> var. Washington Navel), utilizando un tiempo de extracción de 60 min., a escala planta piloto. ....	78
XLVIII.	Composición química del aceite esencial de la cáscara de naranja Washington Navel ( <i>Citrus sinensis</i> var. Washington Navel), utilizando un tiempo de extracción de 120 min., a escala planta piloto. ....	79
XLIX.	Composición química del aceite esencial de la cáscara de naranja Washington Navel ( <i>Citrus sinensis</i> var. Washington Navel),	

	utilizando un tiempo de extracción de 180 min., a escala planta piloto.....	81
L.	Composición química del aceite esencial de la cáscara de naranja Washington Navel ( <i>Citrus sinensis</i> var. Washington Navel), utilizando un tiempo de extracción de 240 min., a escala planta piloto.....	82



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>C.V.</b>	Coefficiente de variación de Pearson
<b>GC-MS.</b>	Cromatografía de gases con acoplamiento a espectrometría de masas
$\sigma$	Desviación estándar
<b>F</b>	Factor de Fisher
<b>°C</b>	Grado centígrado
<b>g</b>	Gramo
<b>h</b>	Hora
<b>I.R.</b>	Índice de refracción
$\bar{X}$	Media aritmética
<b>mL</b>	Mililitro
<b>min.</b>	Minutos
<b>No.</b>	Número
<b>%</b>	Porcentaje
<b>R.E.</b>	Rendimiento extractivo
$\Sigma$	Sumatoria
<b>T</b>	Temperatura
<b>t</b>	Tiempo



## GLOSARIO

<b>Aceite esencial</b>	Compuesto de sustancias líquidas volátiles concentradas, que posee un aroma característico, se obtiene de las diferentes partes de una planta.
<b>Alcano</b>	Son hidrocarburos, compuestos formados por átomos de carbono e hidrógeno. Su fórmula general es $C_nH_{2n+2}$ .
<b>Anfifílica</b>	Molécula compuesta por un extremo hidrófilo y otro extremo hidrófobo.
<b>Cromatografía</b>	Método de separación de especies químicas de una mezcla de gases, empleado para la caracterización de mezclas compuestas.
<b>Cromatograma</b>	Gráfica que consiste en conjunto de picos y líneas base, en función del tiempo, obteniendo como resultado todos los componentes detectados en la mezcla.
<b>Densidad</b>	Propiedad física de una sustancia, que indica la relación de la cantidad de masa en un volumen determinado.

<b>Flavelo</b>	Parte externa coloreada de la cáscara, típico de los frutos cítricos.
<b>Hidrófilo</b>	Parte de la molécula que es soluble en agua.
<b>Hidrófobo</b>	Parte de la molécula que es insoluble en agua.
<b>Hidrolato</b>	Subproducto obtenido del proceso de destilación, que consiste en la mezcla de agua y aceite.
<b>Índice de refracción</b>	Cociente entre la velocidad de la luz en el vacío y la velocidad de la luz en el medio, determinando la reducción de la luz al propagarse por un medio.
<b>Isopreno</b>	Compuesto orgánico con fórmula $\text{CH}_2=\text{C}(\text{CH}_3)-\text{CH}=\text{CH}_2$ , es un hidrocarburo que puede dar lugar a polímeros llamados terpenos.
<b>Miscible</b>	Propiedad de los líquidos para mezclarse en cualquier proporción formando una disolución.
<b>Monoterpeno</b>	Terpenos de diez átomos de carbono (dos unidades de isopreno).
<b>Neoclevenger</b>	Equipo utilizado para la extracción de aceite esencial de materias vegetales a escala laboratorio.
<b>Peso de tara</b>	Peso del recipiente donde se coloca la muestra del aceite esencial.

**Rendimiento**

Relación entre el peso de la materia vegetal y el peso del aceite esencial obtenido, expresándolo en porcentaje.

**Terpeno**

Hidrocarburos complejos de forma general  $C_nH_{2n-4}$ , de la serie del isopreno, presentes en los aceites esenciales obtenidos de la plantas.



## RESUMEN

En el presente estudio a nivel de tesis se evaluó el rendimiento de la extracción del aceite esencial de la cáscara de la naranja Washington Navel (*Citrus sinensis* var. Washington Navel), la procedencia de la materia prima fue del municipio de Alotenango, del departamento de Sacatepéquez, Guatemala. Fueron utilizados los métodos para extraer el aceite esencial de la cáscara de naranja Washington Navel: hidroddestilación a escala laboratorio y destilación por arrastre con vapor a escala planta piloto.

El mayor rendimiento extractivo a escala laboratorio fue de  $0,83 \% \pm 6,74E-4 \%$  que corresponde al tiempo extractivo óptimo de 240 minutos y el mayor rendimiento extractivo a escala planta piloto fue de  $0,102 \% \pm 4,00E-3 \%$  que corresponde al tiempo extractivo óptimo de 240 minutos, según el análisis estadístico por medio de la ANOVA, se concluyó que existe diferencia significativa en el rendimiento extractivo, en función del tiempo de extracción del aceite esencial de naranja Washington Navel.

En la determinación de las propiedades fisicoquímicas, no existe diferencia significativa en la densidad e índice de refracción en función del tiempo de extracción del aceite esencial de naranja Washington Navel.

Analizando por medio del GC-MS las muestras de aceite esencial, se determinó que el contenido mayoritario en los diferentes tiempos de extracción y a diferentes escalas es el de limoneno, que proporciona el olor característico al aceite esencial de naranja Washington Navel, también se presentó contenido de linalool, mirceno y undecano en menores cantidades.



## OBJETIVOS

### General

Evaluar el rendimiento de la extracción del aceite esencial de la cáscara de naranja Washington Navel (*Citrus sinensis* var. Washington Navel), procedente del municipio Alotenango, Sacatepéquez, utilizando el método de extracción por hidrodestilación a escala laboratorio y el método de destilación por arrastre con vapor a escala planta piloto.

### Específicos

1. Comparar el rendimiento extractivo del aceite esencial de la cáscara de naranja Washington Navel en función del tiempo de extracción a través del método de hidrodestilación a escala laboratorio.
2. Comparar el rendimiento extractivo del aceite esencial de la cáscara de naranja Washington Navel en función del tiempo de extracción a través del método de destilación por arrastre con vapor a escala planta piloto.
3. Determinar las propiedades fisicoquímicas, densidad e índice de refracción, del aceite esencial de la cáscara de naranja Washington Navel, en función del tiempo de extracción a escala laboratorio.
4. Determinar las propiedades fisicoquímicas, densidad e índice de refracción, del aceite esencial de la cáscara de naranja Washington Navel, en función del tiempo de extracción a escala planta piloto.

5. Realizar la composición química del aceite esencial de la cáscara de naranja Washington Navel, por medio de cromatografía gaseosa con acoplamiento de espectrometría de masas (GC-MS), en función del tiempo de extracción a escala laboratorio.
  
6. Realizar la composición química del aceite esencial de la cáscara de naranja Washington Navel, por medio de cromatografía gaseosa con acoplamiento de espectrometría de masas (GC-MS), en función del tiempo de extracción a escala planta piloto.

## **Hipótesis**

### **Hipótesis de investigación**

Es factible la evaluación del rendimiento de extracción del aceite esencial de la cáscara de naranja Washington Navel (*Citrus sinensis* var. Washington Navel), procedente del municipio Alotenango, Sacatepéquez, utilizando el método de hidrodestilación a escala laboratorio y el método de destilación por arrastre con vapor a escala planta piloto, en función de los diferentes tiempos de extracción.

### **Hipótesis nula:**

Ho,1: No existe una variación significativa en el rendimiento extractivo en función del tiempo de extracción del aceite esencial de naranja Washington Navel utilizando el método de hidrodestilación a escala laboratorio.

Ho,2: No existe una variación significativa en el rendimiento extractivo en función del tiempo de extracción del aceite esencial de naranja Washington Navel utilizando el método de destilación por arrastre con vapor a escala planta piloto.

Ho,3: No existe una variación significativa en las propiedades fisicoquímicas, densidad e índice de refracción, del aceite esencial de la cáscara de naranja Washington Navel, en función del tiempo de extracción a escala laboratorio.

Ho,4: No existe una variación significativa en las propiedades fisicoquímicas, densidad e índice de refracción, del aceite esencial de la

cáscara de naranja Washington Navel, en función del tiempo de extracción a escala planta piloto.

Ho,5: No existe un variación significativa en la composición química del aceite esencial de la cáscara de naranja Washington Navel, por medio de cromatografía gaseosa en acoplamiento de espectrometría de masas (GC-MS), en función del tiempo de extracción a escala laboratorio.

Ho,6: No existe un variación significativa en la composición química del aceite esencial de la cáscara de naranja Washington Navel, por medio de cromatografía gaseosa en acoplamiento de espectrometría de masas (GC-MS), en función del tiempo de extracción a escala planta piloto.

### **Hipótesis alternativa:**

Hi,1: Existe una variación significativa en el rendimiento extractivo en función al tiempo de extracción del aceite esencial de la cáscara de naranja Washington Navel utilizando el método de hidrodestilación a escala laboratorio.

Hi,2: Existe una variación significativa en el rendimiento extractivo en función al tiempo de extracción del aceite esencial de la cáscara de naranja Washington Navel utilizando el método de destilación por arrastre con vapor a escala planta piloto.

Hi,3: Existe un variación significativa en las propiedades fisicoquímicas, densidad e índice de refracción, del aceite esencial de la cáscara de naranja Washington Navel, en función del tiempo de extracción a escala laboratorio.

Hi,4: Existe un variación significativa en las propiedades fisicoquímicas, densidad e índice de refracción, del aceite esencial de la cáscara de naranja Washington Navel, en función del tiempo de extracción a escala planta piloto.

Hi,5: Existe un variación significativa en la composición química del aceite esencial de la cáscara de naranja Washington Navel, por medio de cromatografía gaseosa en acoplamiento de espectrometría de masas (GC-MS), en función del tiempo de extracción a escala laboratorio.

Hi,6: Existe un variación significativa en la composición química del aceite esencial de la cáscara de naranja Washington Navel, por medio de cromatografía gaseosa en acoplamiento de espectrometría de masas (GC-MS), en función del tiempo de extracción a escala planta piloto.



## INTRODUCCIÓN

Los aceites esenciales son mezclas químicas que son biosintetizadas por las plantas, proporcionando un aroma característico de algunas flores árboles, fruto, hierbas y semillas. El aceite esencial de naranja se ha utilizado en una amplia variedad de usos domésticos como: aerosoles, desodorantes, entre otros; industriales como: jabones, perfumes y cremas; medicinales como: antiinflamatorio, antidepresivo, antiséptico, diurético, tónico y sedante; en alimentos como: bebidas, postres y dulces.<sup>1</sup>

El aceite esencial se obtiene de las cáscaras de naranja Washington Navel, su nombre científico es *Citrus sínensis var. Washington Navel*. El cultivo de la naranja presenta un ombligo característico y es una especie subtropical por lo que no tolera las bajas temperaturas.

La producción mundial de naranja Washington Navel es cultivada en más de 100 países, cada una presenta características diferentes debido a los métodos de siembra, recolección e influyendo también el clima de cada región. Afectando en la extracción del aceite esencial sus propiedades fisicoquímicas como la densidad, índice de refracción, color, olor, etc., presentando variabilidad en las mismas en cada lugar de cultivo.<sup>2</sup>

En el municipio de Alotenango, del departamento de Sacatepéquez, en Guatemala, se produce la naranja Washington Navel. La agricultura es la principal fuente de ingresos de la localidad debido a que su clima es cálido y

---

<sup>1</sup> BRUNETON, JEAN. *Farmacognosia*. Pág. 478.

<sup>2</sup> ANACAFÉ. <http://anacafe.org/glifos/index.php?title=Cultivodenaranja>. Consulta: mayo de 2017.

sus tierras son fértiles, por lo que el cultivo de la naranja Washington Navel, es una actividad agrícola tradicional del área, aprovechando este recurso geográfico para obtener la materia prima orgánica, se utilizó la cáscara de la naranja en la extracción de su aceite esencial y su posterior evaluación del rendimiento a diferentes tiempos de extracción utilizando diferentes métodos extractivos, evaluando a las muestras del aceite esencial de naranja sus propiedades fisicoquímicas y composición química.

Para la extracción del aceite esencial de naranja Washington Navel se utilizó el método de hidrodestilación a escala laboratorio, y también se realizó utilizando el método de destilación por arrastre con vapor a escala planta piloto, evaluando los rendimientos extractivos de ambos métodos utilizando 4 tiempos diferentes de extracción, determinando el rendimiento extractivo óptimo de cada método de extracción, que es la cantidad máxima de aceite esencial que se extraerá de las cáscaras de naranja.

Las propiedades fisicoquímicas de los aceites esenciales presentan las siguientes características: son líquidos a temperatura ambiente, son altamente volátiles, presentan un color amarillento o incoloro, la densidad es inferior a la del agua, poseen un índice de refracción elevado, contienen una baja solubilidad en agua, y una alta solubilidad en alcohol, aceites fijos y grasas.

## 1. ANTECEDENTES

Estrada Jirón, Joana Betzabé, realizó en la Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala, el estudio de tesis denominado como: *Extracción del aceite esencial del flavelo 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*. El presente estudio pretende extraer y caracterizar el aceite esencial del flavelo de la naranja dulce (*Citrus sinensis L.*), formulando y evaluando 4 productos.

Lossi Nisthal, Estefani Anna Marcela, realizó en la Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala, el estudio de tesis denominado como: *Obtención de aceite esencial del flavelo del fruto del naranjo dulce (Citrus sinensis L.) tipo blanca, variedad valencia, empleando el método de destilación por arrastre de vapor a nivel laboratorio, en función de diferentes tipos de corte y contenido de humedad*. El presente estudio de tesis pretende identificar la forma de procesado del flavelo para un rendimiento óptimo en la extracción del aceite esencial.

Hernández, Herrera, López, Martínez, Madinaveitia y Valenzuela, realizó en la Universidad Autónoma de Chipingo, México, el artículo de la producción y extracción de aceite de orégano (*Lippia graveolens Kunth*), bajo cultivo en la Comarca Lagunera. El artículo evalúa la producción y extracción de aceite por los métodos de cocción y arrastre con vapor. Siendo el método de arrastre con vapor un valor en su rendimiento significativamente superior al método por cocción.

Lopez, Moreno y Siche; G., J. y R., realizó en la Facultad de CC. Agropecuarias., Universidad Nacional de Trujillo, Perú, el artículo de la modelación y optimización del proceso de extracción de aceite esencial de eucalipto (*Eucalyptus Globulus*). El trabajo presenta el estudio del efecto de la humedad de la hoja de eucalipto y el tiempo de extracción sobre el rendimiento de aceite esencial y el costo de producción.

Durango, García, Gil, Navarrete, realizó en la Universidad Nacional de Colombia, en la escuela de Ingeniería Química, Medellín, Colombia, el artículo de la extracción y caracterización del aceite esencial de mandarina obtenido de residuos agroindustriales. Describe la extracción y caracterización del aceite esencial de mandarina obtenido mediante arrastre con vapor, utilizando desechos agroindustriales. El artículo especifica la evaluación del efecto de la presión de vapor, el espesor y el número de capas del material vegetal sobre el rendimiento y calidad del aceite esencial.

López, Palou y Peredo, H., E. y A., realizó en el departamento de Ingeniería Química y Alimentos, Universidad de las Américas Puebla San Andrés Choluca, Pue., México, el artículo sobre; Aceites esenciales: métodos de Extracción. El artículo analiza los diferentes métodos de extracción de aceites esenciales, extraídos provenientes de especies y condimentos, utilizados en la industria de los alimentos y farmacéutica. Los métodos utilizados son la destilación por arrastre de vapor, la extracción con disolventes, la extracción por fluidos supercríticos, y el uso de ultrasonido como pretratamiento para la extracción de aceites esenciales.

Mancilla, Parada y Rueda; L., D. y Y., realizó en el Departamento de Biología y Química, en la Universidad de Pamplona, Colombia, la investigación de tesis sobre: *Utilización como materia prima de la cáscara de naranja dulce*

(*Citrus sinensis L.*). El estudio abarca sobre los aceites esenciales, que pretende añadir un valor agregado al fruto, por la aplicación potencial que se puede dar a la cáscara, a partir de la extracción y comercialización de su aceite esencial.

Cerutti y Neumayer, Mariano y Fernando, realizó en la escuela de Ingeniería en Tecnología de los Alimentos de la Facultad de Química de la Universidad Central Educativo Latinoamericano, Santa Fe, Argentina, el trabajo de seminario sobre: Introducción a la obtención de aceite esencial de limón. Menciona y describe los principales métodos de obtención de aceite esencial de limón y sus fundamentos. La investigación abarca los métodos extractivos: destilación por arrastre de vapor, destilación con agua, hidrofusión, prensado en frío y lavado con aceites.

González Villa, Ángela, realizó en la Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales, Departamento de Ingeniería Química, el trabajo de tesis: *Obtención de aceites esenciales y extractos etanólicos de plantas de las amazonas*. El trabajo de investigación presenta los resultados experimentales de aceites esenciales de plantas amazónicas, estableciendo las condiciones adecuadas para trabajar a nivel de planta piloto para la operación obteniendo el rendimiento volumétrico del aceite esencial.

Albarracín Montoya, realizó en la Universidad Nacional de Colombia en la Sede Manizales, departamento de Ingeniería Química, Colombia, el trabajo de tesis sobre: *Comparación de dos métodos de extracción de aceite esencial utilizando Piper Aduncum (Cordoncillo) procedente de la zona cafetera*. La investigación sobre la determinación de la composición química del aceite utilizando cromatografía de gases acoplado a espectrometría de masas,

realizando pruebas fisicoquímicas de las esencias y se estudió el tiempo de extracción como variable de influencia sobre su rendimiento y composición.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Aceites esenciales

Los aceites esenciales son una mezcla de sustancias químicas que poseen una composición compleja que son biosintetizados por las plantas, son altamente volátiles y proporcionan un aroma característico de algunas fragancias naturales como flores, frutas, hojas, raíces, semillas, especias, etc.

Los aceites esenciales poseen una identidad, un aroma y unas características propias. El 1% de las plantas existentes contienen aceite esencial y algunas de ellas las presentan en una concentración tan baja que prácticamente es imposible su obtención.

De las millones de plantas se extraen aproximadamente 4 000 aceites esenciales distintos. La misma especie botánica posee, generalmente, los mismos componentes, aunque las condiciones climáticas, la manera en que se cultiva y se recolecta, en las diferentes partes del mundo, afectan a las plantas, modificando el aceite esencial cuantitativamente y cualitativamente.

Los aceites esenciales son conocidos en distintas composiciones, y se extraen de diversas partes de la estructura vegetal:

- Flores (lavanda, jazmín)
- Hojas (albahaca, ciprés, eucalipto)
- Frutos (anís, ciprés) Madera (cedro, cidro)
- Raíz (jengibre)

- Cáscara de los frutos (limón, naranja)

En las diferentes partes del vegetal, en donde se extrae el aceite esencial proporciona una composición y propiedades distintas. Las composiciones y características fisicoquímicas de los aceites esenciales dependen de una especie vegetal a otra, inclusive, dentro de la misma especie varía, dependiendo del lugar de cultivo, clima, temperatura, forma en que se cultiva y se recolecta la planta.

### **2.1.1. Composición química**

Los aceites esenciales son lípidos no relacionados con ácidos grasos. Son compuestos terpenoides derivados por condensación del isopreno, lípidos isoprenoides. La mayoría de los aceites esenciales son hidrocarburos y poseen funciones oxidadas.

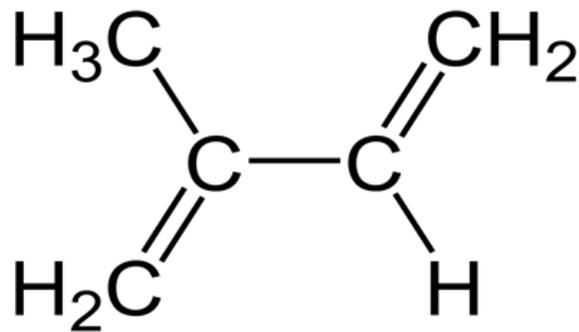
Son mezclas de sustancias complejas y variables, pertenecen a dos grupos biogénicos, que son el grupo de los terpenoides y el grupo de los compuestos aromáticos derivados del fenilpropano.

Los aceites esenciales generalmente están compuestos de hidrocarburos terpénicos, los terpenos son inodoros. Principalmente están compuestos de los grupos funcionales de aldehídos, cetonas, alcoholes, fenoles, ésteres, cetonas, entre otros; que son los responsables del aroma global de los aceites.

Los aceites esenciales tienen estructura molecular del isopreno (2-metil-1,3-butadieno), a unidad química de los terpenoides, compuesto principal de los aceites esenciales.

Están formados principalmente por terpenoides volátiles, formados por unidades de isopreno unidas en estructuras de 10 carbonos (monoterpenoides) y 15 carbonos (sesquiterpenoides).

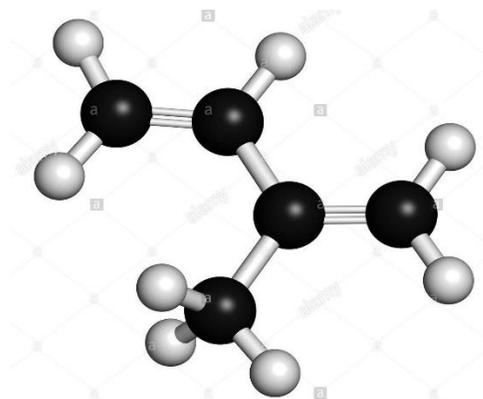
Figura 1. **Isopropeno**



Fuente: *EducarChile*. <http://www.educarchile.cl/ech/pro/app/detalle?id=133195>.

Consulta: 7 de mayo de 2017.

Figura 2. **Molécula de Isopropeno**



Fuente: *Alamy*. <https://www.alamy.es/foto-isopreno-molecula-de-goma-79457431.html>.

Consulta: 7 de mayo de 2017.

### **2.1.2. Propiedades fisicoquímicas**

Los aceites esenciales son altamente volátiles y líquidos a temperatura ambiente. Son incoloros o ligeramente amarillos cuando son recientemente destilados. Generalmente, la densidad es inferior a la del agua (a excepción del clavo de olor). Poseen un índice de refracción elevado. Son poco solubles en agua y poseen una elevada solubilidad en alcoholes, éteres y en disolventes orgánicos habituales ya que son liposolubles.

Se conocen más de 200 aceites esenciales en los cuales se han identificado como 400 componentes químicos. Los terpenoides son aceites contienen únicamente los terpenos más volátiles: monoterpenos, con cadenas C10-C15; y sesquiterpenos, con cadenas C15-C20. Dentro de estas dos clasificaciones, es posible encontrar alcoholes, aldehídos, cetonas, ésteres, éteres, peróxidos y fenoles. Luego, se encuentran los compuestos aromáticos, los cuales son derivados del fenilpropano (C6-C3) son menos frecuentes que los terpenoides.

#### **2.1.2.1. Densidad**

Es una propiedad fisicoquímica que refiere a la cantidad de masa que existe en un determinado volumen de una sustancia. La densidad de los aceites esenciales por lo general es inferior a la densidad del agua. La densidad varía en un rango de 0,84 y 1,18, dependiendo del tipo y el origen del aceite esencial.

#### **2.1.2.2. Índice de refracción**

Es el cociente entre la velocidad de la luz en el vacío y la velocidad de la luz en un medio material transparente. Es una propiedad fisicoquímica utilizada

para controlar la pureza y calidad de los aceites esenciales. Los aceites esenciales poseen un elevado índice de refracción, en general están en un promedio de 1.5.

### **2.1.2.3. pH**

El pH mide la acidez o la alcalinidad, también indica la concentración de iones hidrógeno  $[H]^+$  presentes en los aceites esenciales. Los aceites esenciales que presenta un alto índice de pureza poseen un pH aproximado de 5, indicando que son soluciones acidas que explican las propiedades bactericidas, fungicidas y viricidas.

### **2.1.2.4. Resistividad eléctrica**

La resistividad eléctrica cuantifica la cantidad de fuerza que se opone el aceite esencial al flujo de corriente eléctrica. Los aceites esenciales poseen una alta resistividad eléctrica aproximada de 1 000 ohms, que indican la calidad y el tipo de aceite. La resistividad que presentan los aceites esenciales aumenta la eficiencia en que se opone en contra los agentes infecciosos y las toxinas.

### **2.1.3. Factores de las características olfativas del aceite esencial**

El aroma característico que genera una materia vegetal no produce el mismo olor que su aceite esencial, debido a los factores que afectan las características olfativas del aceite. Estos factores influyen, en gran parte, en el aroma característico que posee un aceite esencial.

### **2.1.3.1. Factores metabólicos**

La materia prima vegetal en el momento de ser recolectada para extraer su aceite esencial, el metabolismo no permanece inalterado o estático, sino que continúa evolucionando en la medida que no se le elimine la mayor cantidad de agua, lo que finalmente inhibe los procesos enzimáticos. El aroma característico de una flor, no es igual en un pie vivo de una planta, que al de una flor ya cortada.

Extraída la esencia, se congela el metabolismo, provocando una estabilidad en la calidad olfativa del aceite. Pero, se produce una permanente transformación con respecto a su composición, afectando al producto.

### **2.1.3.2. Volatilidad**

Algunos productos extraídos poseen una alta volatilidad, los cuales suelen perderse durante el proceso de extracción, a medida que se van volatizando las fracciones más livianas, se van detectando los componentes más pesados del aceite, por lo que estos componentes representan, en mayor parte, el aroma característico del aceite esencial.

### **2.1.3.3. Solubilidad**

Al extraer un aceite esencial por arrastre de vapor u otra técnica que involucre agua, algunos compuestos quedan parcialmente retenidos en la fase acuosa, provocando que algunos componentes químicos olfativos no se puedan extraer en su totalidad, afectando el aroma del aceite esencial.

#### **2.1.3.4. Partes de la planta en donde se ubican el tejido vegetal**

El aceite esencial se puede extraer en las diferentes partes de una planta, pero varía su calidad olfativa, debido a que algunas partes externas e internas poseen propiedades químicas diferentes y al extraer el aceite se mezclan, produciendo un aroma diferente.

### **2.2. Usos de los aceites esenciales**

Los aceites esenciales poseen una alta energía vegetal por lo que tienen varias utilidades en la industria.

#### **2.2.1. Aromaterapia**

Se utilizan para conseguir el bienestar y enriquecimiento del cuerpo y mente, produciendo aromas que se usan como método curativo.

#### **2.2.2. Perfumería**

Los aceites esenciales tienen la capacidad de combinarse con los aceites que produce la piel humana para producir un aroma particular y diferente en cada persona.

#### **2.2.3. Confección de insecticidas**

Se utilizan como sustitutos de otros productos químicos más agresivos, para mezclar los aceites esenciales con los pesticidas naturales para producir un aroma desagradable sin afectar al ser humano.

#### **2.2.4. Conservación de alimentos**

Los aceites esenciales poseen propiedades antisépticas que se utilizan para evitar la degradación microbiana de los alimentos, y aportar otras propiedades digestivas y estimulantes. También se utiliza principalmente como especies aromáticas.

#### **2.2.5. Remedio caseros**

Los aceites esenciales pueden utilizarse en el tratamiento de algunas enfermedades y afecciones de salud.

#### **2.2.6. Productos industriales**

Por sus propiedades aromáticas se utilizan en algunos productos como: aerosoles, desodorantes, desinfectantes, jabones, lociones y cremas.

### **2.3. Beneficios de los aceites esenciales**

Los aceites esenciales tienen la capacidad de hidratar y nutrir las superficies, poseen propiedades relajantes, tonificantes o descongestivas, que se perciben por el olfato y forman parte de la ciencia curativa de la aromaterapia.

Los aceites esenciales tienen las propiedades medicinales de las plantas como:

- Ayuda a resolver problemas del insomnio.
- Disminuye el estrés.

- Reduce la ansiedad.
- Minimiza los dolores.
- Erradica la depresión.
- Aumenta el sistema inmunológico.
- Resuelve problemas crónicos del sistema digestivo.
- Se utiliza para esterilizar habitación, ropa y artículos personales de una persona enferma.
- Disminuye el contagio de enfermedades bacterianas o virales.
- Desobstruye las vías respiratorias.
- Fluidifica las secreciones.
- Disminuye la tos.
- Minimiza los el dolor de garganta.
- Repelen insectos.
- Limpiador multiuso.
- Controlan plagas.
- Purifican el aire.

#### **2.4. Almacenamiento de los aceites esenciales**

Los aceites esenciales son sensibles al calor, la luz, la humedad, entre otros; por lo que es muy importante que sean debidamente almacenados en frascos de cristal oscuro y con cierre hermético, debido a su alta volatilidad se tienen que cerrar rápidamente cuando no se utilicen, no se tienen que guardar en frascos plásticos.

Los frascos de aceites esenciales deben estar almacenados a temperatura ambiente, algunos tipos como los cítricos en la nevera, no se deben de calentar.

Los aceites esenciales de alto porcentaje de pureza se pueden conservarse durante años, los cítricos a un aproximado de 2 años y los de madera prácticamente siempre, los de flores y hierbas se conservan aproximado de 3 a 4 años, es aconsejable que los aceites esenciales que se mezclen solo al momento de utilizarlos.

## **2.5. Calidad de los aceites esenciales**

La calidad es el grado de satisfacción del cliente en adquirir el aceite esencial que se basa en la aptitud para el uso y el costo. Implica la valoración de las necesidades del cliente desde el estudio del mercado y su diseño. El aceite esencial tiene que satisfacer las necesidades en base a su funcionalidad, precio, vida útil y servicio.

### **2.5.1. Criterios de calidad**

Modo de recolección: Principalmente se basa en la hora, la madurez, la estación en que se recolecta la materia prima para hacer el aceite esencial.

Las partes de las plantas usadas: Se puede utilizar diferentes partes de las plantas como la flor, raíz, hojas, frutas, etc.

El modo de extracción: Al realizar la extracción los factores que afectan al producto son la temperatura, tiempo de destilación, equipo usado, método de extracción, etc.

El quimiotipo: determinado por la cromatografía en fase gaseosa.

## **2.5.2. Control de calidad**

Un buen control de calidad de los aceites esenciales abarca un proceso similar al que se usa para caracterizar un producto con altos niveles de exigencia en el mercado.

Los controles de calidad sobre los aceites esenciales son de dos niveles:

- **Controles Físicos:** Comprende de las características organolépticas como el olor, el sabor, el color, etc. Las constantes físicas como la temperatura de evaporación, densidad, viscosidad, índice de refracción y el rendimiento extractivo.
- **Controles Químicos:** Se realiza un estudio cromatografico de diferentes tipos para controlar su calidad.

## **2.5.3. Análisis de calidad**

Los diferentes aceites esenciales tienen parámetros de valor específico y difieren de otros aceites, los parámetros son influenciados por el origen geográfico y el método extractivo; su determinación es de gran importancia para establecer la calidad de un aceite esencial.

### **2.5.3.1. Características organolépticas**

Se trata sobre las características únicas que poseen cada aceite esencial como:

- El olor.

- La apariencia.
- El color.
- El sabor.

### **2.5.3.2. Determinaciones físicas**

Se realiza evaluaciones para determinar las propiedades físicas de cada tipo de aceite esencial como:

- Densidad.
- Viscosidad.
- Poder rotatorio.
- Índice de refracción.
- Miscibilidad en etanol.
- Punto de congelación.
- Punto de inflamación.
- Rango de destilación.

### **2.5.3.3. Índices químicos**

La evaluación de los índices químicos que contienen los aceites esenciales se logra determinar la calidad de los aceites. Los índices químicos son:

- Índice de acidez.
- Índice de ester.
- Índice de saponificación.
- Índice de acetilo.
- Índice de fenoles.

#### **2.5.3.4. Cromatografía de gases acoplado a espectrometría de masas (GC-MS)**

Los aceites esenciales contienen una considerable gama de compuestos, es importante determinar la composición de los mismos y la proporción en que estos compuestos se encuentran en los aceites. Es necesario aislar y purificar los compuestos a través de la cromatografía.

El análisis cromatográfico consiste en separar las moléculas de un soluto de una fase móvil, debido a la afinidad que presentan con una fase estacionaria, a mayor afinidad en la fase estacionaria aumenta el tiempo en que la molécula será retenida, en la cromatografía la fase móvil es un gas.

La cromatografía de gases se emplea cuando los componentes de una mezcla son volátiles y estables a temperaturas de 350°C-400°C. La técnica consiste en separar mezclas complejas. A través de una muestra de la mezcla se separa, detecta y cuantifica todos los componentes en que está conformado, el tiempo de retención es necesario para la identificación de cada uno de los componentes con los correspondientes picos cromatográfico. Pero no es suficiente para una identificación inequívoca, debido a que se analizan muestras con un elevado número de componentes, como es frecuentes al realizar un análisis cromatográfico de gases.

La espectrometría de masas identifica de manera eficiente y casi inequívoca cualquier muestra de una sustancia pura, pero no identifica los componentes de una mezcla sin separar antes los componentes individuales, porque cada componente posee una extrema complejidad en su espectro.

Al utilizar las dos técnicas, la cromatografía de gases (GC) y la espectrometría de masas (MS), se combinan GC-MS para la separación e identificación de mezclas complejas.

Figura 3. **Cromatógrafo de gases acoplado a un espectrómetro de masas (GC-MS)**



Fuente: *ICTAN*. <http://www.ictan.csic.es/servicios/servicios-analiticos/espectrometria-de-masas/>  
Consulta: 7 de mayo de 2017.

## 2.6. Rendimiento extractivo de los aceites esenciales

El rendimiento extractivo determina la eficiencia de extracción del aceite esencial a través de la cantidad de masa, peso, que se extrae de cierta materia prima al realizar el proceso de extracción.

## **2.6.1. Factores que afectan el rendimiento extractivo**

Los diferentes factores que afectan el rendimiento extractivo de los aceites esenciales se pueden mencionar los siguientes:

### **2.6.1.1. Tiempo de secado**

Depende únicamente del porcentaje de humedad que la planta contiene dentro del tejido vegetal.

### **2.6.1.2. Tipo de materia prima**

Los aceites esenciales difieren entre sí, dependiendo de la especie y dentro de la familia de cada vegetal. La materia prima es afectada por el origen de la planta, el lugar y época de producción, como también la madurez y cuidados que ha tenido.

### **2.6.1.3. Tamaño de partícula**

El rendimiento extractivo aumenta cuando se disminuye el tamaño de la partícula debido a que mejora la transferencia de calor entre el solvente, el agua, y la materia prima.

### **2.6.1.4. Tiempo de extracción**

Es el tiempo de duración del proceso de extracción, en el cual el aceite que contiene la planta se extrae por diferentes métodos.

#### **2.6.1.5. Método de extracción**

Según el tipo de método que se utilizado dependerá el rendimiento extractivo, algunos métodos de extracción obtendrán mayor rendimiento que los demás.

#### **2.6.1.6. Características del equipo de extracción**

El material y el tamaño del equipo de extracción afecta considerablemente el rendimiento extractivo de los aceites esenciales.

#### **2.6.1.7. Características de los flujos**

Comprende a la cantidad de materia prima, el volumen, la pureza del solvente, la cantidad de agua o vapor, la temperatura y presión de los flujos empleados.

### **2.7. Métodos de extracción de los aceites esenciales**

La extracción para obtener los aceites esenciales de las partes vegetales de las plantas se utiliza diversos métodos, los cuales el aceite se extrae de las células grasas, que se localizan en las hojas, semillas, tallos, flores, frutas, etc. Los métodos que mayormente se utiliza son:

#### **2.7.1. Hidrodestilación**

También conocido como extracción por arrastre de vapor, hidrodifusión o hidroextracción. Es uno de los métodos más antiguos y utilizados para obtener los aceites esenciales. El método consiste en utilizar vapor saturado, la materia

prima está en contacto directo con el agua, el flujo constante de vapor extrae el aceite esencial a presión atmosférica.

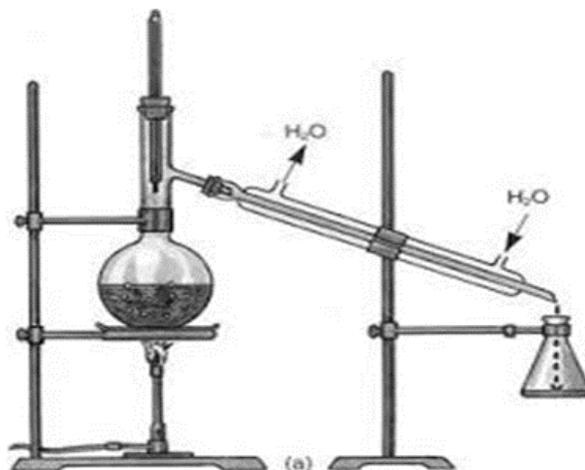
El proceso consiste en la destilación de la materia prima vegetal con vapor de agua, el vapor arrastra el aceite esencial que contiene el material vegetal. Al pasar por el condensador, los vapores enfrían y se condensan, transformándose en un líquido de dos fases inmiscibles. La primera fase es formada por materia orgánica, en donde se ubica el aceite esencial, la segunda fase acuosa contiene cierta cantidad del aceite, también se llama hidrolato.

La extracción por arrastre de vapor es comúnmente utilizado, debido a que el equipo es de fácil manejo y ampliamente versátil con respecto a las materias primas vegetales.

El equipo para realizar la hidrodestilación debe constar de una fuente de calor, un matraz en donde se coloca la materia prima vegetal a extraer utilizando agua, un colector de aceite esencial y un refrigerante para la condensación de los vapores.

Frecuentemente para extraer el aceite esencial a escala laboratorio se utiliza el Neoclevenger, es considerado que por sus características extractivas el más apropiado para la determinación del contenido total del aceite esencial. Está formado de un balón, donde se almacena la materia vegetal y una determinada cantidad de agua desmineralizada, y el sistema de refrigeración en donde se condensa para obtener el aceite esencial. Las ventajas de utilizar este equipo es que es fácil de instalar, seguro de operar y el consumo energético es bajo.

Figura 4. **Esquema del equipo Neoclevenger**



Fuente: *Wordpress*. <https://salamabermejobenedettirm.wordpress.com/2012/05/06/destilacion-simple-fraccionada-y-por-arrastre-de-vapor/>. Consulta: 7 de mayo de 2017.

### **2.7.2. Enflorado**

También conocido como enfloración o enfleurage, el método consiste en que la materia prima se encuentra en contacto directo con el aceite vegetal. El aceite esencial se solubiliza en el aceite del vegetal que trabaja como un medio extractivo.

Es un método antiguo que es basado en la propiedad de las grasas que absorben los olores característicos de las materias primas vegetales. Las grasas se disuelven en alcohol en donde los componentes aromáticos se transfieren. El alcohol cuando es evaporado queda un residuo llamado absoluto. Se utiliza para extraer las esencias de flores frágiles como: jazmín, mimosa, junquillos, tuberosas, rosas, etc.

El enflorado también puede efectuarse al utilizar paños de tela hechos de algodón que absorben el aceite, luego se exprimen los paños y da como resultado el aceite esencial, previamente la grasa debe ser purificada y desodorizada.

### **2.7.3. Maceración**

El método de maceración consiste en dejar sumergido por varios días el material vegetal en líquido, como el aceite, grasa fundida y alcohol etílico, obteniendo como resultado los productos solubles.

### **2.7.4. Extracción por solventes volátiles**

El método coloca la materia prima vegetal en una corriente de solvente, permitiendo que el solvente absorba toda la esencia de la materia y posteriormente se realiza una separación por destilación, los solventes utilizados tienen que ser altamente volátiles, los que obtienen un mayor rendimiento extractivo son el éter de petróleo y el benceno.

### **2.7.5. Fluidos supercríticos**

Consiste en que la materia prima vegetal es cortada en pequeños trozos o también puede ser molida, se envuelve en una cámara de acero inoxidable y se disuelve con un líquido supercrítico, que solubiliza y arrastra el aceite esencial de la materia, actuando como un solvente extractivo, se elimina por medio de la descompresión progresiva alcanzando la presión y temperatura ambiente, finalizando se obtiene el aceite esencial.

Existen dos tipos de extracción con fluidos supercríticos que son la presión controlada y la temperatura controlada. Ambos tipos se realizan en dos etapas que son: la extracción selectiva, en donde se utiliza la capacidad de solvatación del fluido supercrítico manipulando la temperatura y presión o modificando la naturaleza química del solvente al agregarle otro solvente; la separación selectiva, se efectúa la despresurización, calentamiento o enfriamiento gradual del sustrato, logrando un fraccionamiento controlado de los productos por extraer.

#### **2.7.6. Destilación por arrastre de vapor directo**

El método consiste en que la materia prima vegetal entra en contacto directo con vapor seco sobrecalentado y posteriormente se condensa. El vapor es generado comúnmente por la caldera o calderín, a una presión mayor que a la atmosférica favoreciendo la extracción, debido a que rompe con mayor facilidad las micelas donde se encuentra el aceite esencial.

La extracción consta de: una fuente de calor que genera vapor, un recipiente donde se ubica la materia vegetal, un recolector del aceite esencial separado y un refrigerante para los vapores.

La destilación se realiza en una mezcla de dos líquidos inmiscibles, que se evapora a temperaturas menores a las de ebullición de cada componente volátil. El flujo de vapor rompe las células o canales oleíferos en el material vegetal y arrastra la mezcla volátil a un condensador, los vapores se enfrían y regresan a su fase líquida; los productos obtenidos que son el hidrolato y el aceite esencial, se separan por el método de la diferencia de densidad por medio de un decantador.

Al realizar este método de extracción se verifica que el tamaño de partícula de la materia prima vegetal no sea muy pequeña, porque puede ser arrastrado por el vapor contaminando el producto condensado. La técnica es aplicada usualmente en la industria por su alto rendimiento extractivo, alta pureza del aceite esencial obtenido y su baja exigencia tecnológica.

Figura 5. **Planta piloto de extracción mediante destilación por arrastre con vapor**



Fuente: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

## **2.8. Aceite esencial de naranja**

La naranja (*Citrus sinensis*) pertenece a la familia de Rutaceae. La fruta es obtenida de un pequeño árbol de corteza gris-marrón, similar a un arbusto. Las ramas crecen en forma de un follaje redondo y ovalado en retoños de por lo menos tres o cuatro pulgadas. Las flores poseen una característica aromática, el fruto es circular es más duro y as oscuro en comparación con otras variedades cítricas.

El aceite de naranja ha sido utiliza ampliamente en la aromaterapia debido a que ayuda aliviar los músculos tensos, así como también la depresión. Es útil para mantener una apariencia juvenil al aplicarlo externamente.

### **2.8.1. Composición del aceite esencial de naranja**

El aceite esencial de la naranja está compuesta de varias propiedades químicas como: pineno alfa, citronelal, geranial, sabineno, mirceno, limoneno, linalol y neral.

La propiedad más importante y en mayor cantidad del aceite es el limoneno o D-limoneno, se utiliza comúnmente para alejar a los insectos. Se aplica en la superficie o se rocía en diferentes áreas en que no se desea que invadan los insectos.

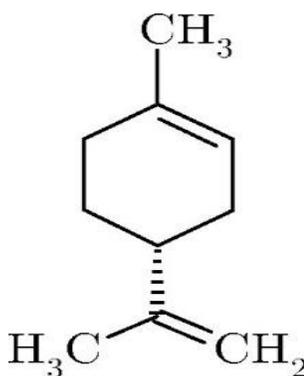
#### **2.8.1.1. Limoneno**

El limoneno es extraído de la casaca de la naranja y se utiliza también como un agente de limpieza, es usada como remplazo de la acetona, tolueno, éteres de glicol, fluorados y agentes organoclorados.

El limoneno es una sustancia natural que se extrae de los cítricos. Es la sustancia que proporciona un olor característico a las naranjas y los limones.

Pertenece al grupo de los terpenos. Es un derivado de los cítricos, se considera un agente de transferencia de calor limpio y ambientalmente inocuo es utilizado en los procesos farmacéuticos y de alimentos.

Figura 6. **Molécula de limoneno**



Fuente: *Quimicos.blogspot*. <http://al-quimicos.blogspot.com/2010/08/es-limon-o-es-naranja.html>.

Consulta: 7 de mayo de 2017.

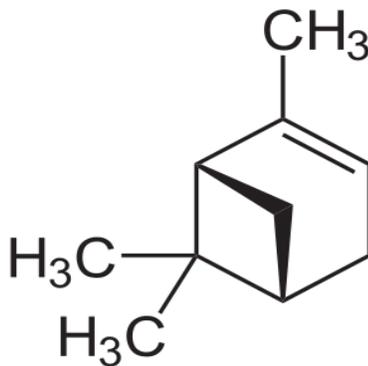
### 2.8.1.2. **$\alpha$ -pineno**

Es un compuesto orgánico, se trata de un alqueno y contiene un anillo reactivo de cuatro miembros. Es mezcla racémica que está presente en algunos aceites como el aceite de eucalipto y aceite de cáscara de naranja.

Es un compuesto que se encuentra en la resina, tallos y hojas de varias plantas, que pertenece a la familia de los monoterpenoides bicíclicos.

Es utilizado como broncodilatador en los seres humanos, y es altamente biodisponible con un 60% de absorción pulmonar humano con un metabolismo rápido o de redistribución. También es utilizado como un anti-inflamatorio y como un inhibidor de la colinesterasa, para ayudar en la memoria.

Figura 7. **Molécula  $\alpha$ -pineno**



Fuente: Sweetseeds. <https://sweetseeds.es/es/pineno-terpeno-que-mejora-la-memoria/#>.

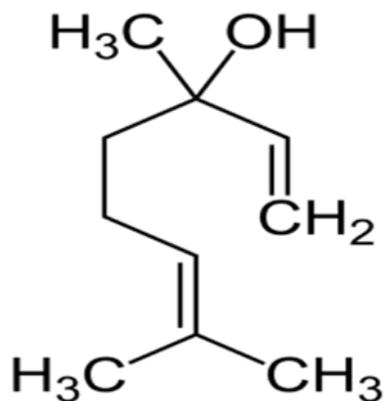
Consulta: 7 de mayo de 2017.

### 2.8.1.3. **Linalool**

Es un terpeno con un grupo de alcohol, se encuentra en forma natural en flores, plantas y frutas. Posee un olor característico floral con un toque mentolado por el cual se utilizado comúnmente en productos aromáticos.

Es utilizado como esencia aromática en utensilios domésticos como jabones, detergentes, champús y lociones, también es usado como reactivo químico intermediario para producir otras sustancias como la vitamina E. Presenta propiedades anticonvulsivas.

Figura 8. **Molécula de linalool**



Fuente: *ChemSpider*. <http://www.chemspider.com/Chemical-Structure.13849981.html>.

Consulta: 7 de mayo de 2017.

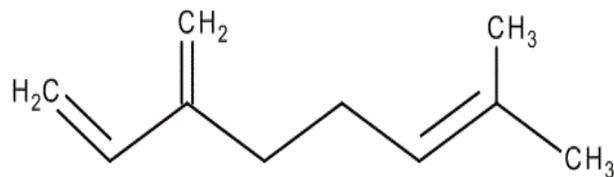
#### 2.8.1.4. **Mirceno**

Es un compuesto orgánico, se clasifica como hidrocarburo, monoterpeneo, es un componente del aceite esencial de varias plantas, frutas, etc. Es utilizado en la producción de varias fragancias.

Uno de sus mayores usos en la industria es en la perfumería, debido a que posee un olor agradable. Sirve para la preparación de productos químicos de sabores y fragancias como mentol, citral, etc.

El mirceno tiene un efecto analgésico, sedante y antiinflamatorios, por lo que presenta beneficios a la salud aliviando dolores crónicos, inflamaciones, ayuda a dormir y miorelajante.

Figura 9. **Molécula de mirceno**



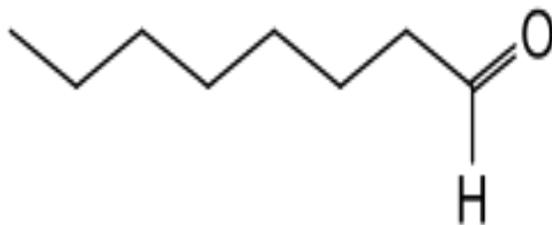
Fuente: *Lamariaclub*. <https://lamariaclub.wordpress.com/tag/mirceno/>.

Consulta: 7 de mayo de 2017.

#### 2.8.1.5. **Octanal**

Es un líquido incoloro o amarillo con un olor a frutas. Es utilizado como un componente en perfumes y en la producción de sabor en la industria alimentaria.

Figura 10. **Molécula Octanal**



Fuente: *Pubchem*. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/1-octanol#section=Top>.

Consulta: 7 de mayo de 2017

### **2.8.2. Beneficios del aceite esencial**

El aceite esencial de naranja ayuda en la mejora de la digestión y alivia problema de estreñimiento. Previene las mutaciones celulares y combate el crecimiento de tumores canceroso. Unos de los beneficios más utilizados del aceite son para nutrir la piel irritada y problemas de acné. Es eficaz para tratar callos en los pies y apoyar la formación de colágeno en la piel.

Es utilizado en la aromaterapia que promueve en los pacientes una sensación de felicidad y calidez. Elimina las toxinas en el cuerpo y resuelve problemas en la digestión. Estimula la acción linfática para promover el equilibrio en los procesos del agua, desintoxicando el cuerpo.

Otros de los beneficios que proporciona el aceite esencial de la naranja son: Antiinflamatorio, antidepresivo, antiespasmódico, afrodisiaco, antiséptico, carminativo, diurético, tónico, sedantes, colagogo, desintoxicante.

### **2.8.3. Usos del aceite esencial de la naranja**

El aceite de naranja se utiliza como saborizante para bebidas, endulzar las carnes, chocolates, galletas, confitería y productos horneados. En la industria, se usa como un concentrado para ambientadores, desodorantes, jabones, lociones corporales y cremas.

Es utilizado para brindar beneficios en la salud, debido a que posee propiedades antiinflamatorias, antisépticas, antidepresivas, antiespasmódicas. Resuelve problemas eréctiles, impotencia y disminución de la libido.

Otros usos en que se utiliza el aceite esencial de naranja es en úlceras de la boca, reduce la celulitis, psoriasis y eczema síntomas, retención de líquidos, entre otros.

## **2.9. Naranja Washington Navel**

Las Naranjas Washington Navel nombre científico *Citrus sinensis var. Washington Navel*, cuyo nombre significa “ombbligo” debido a su formación inferior que asemeja a un ombbligo, sus características principales están: sabor muy dulce, además de ser jugosas, no tienen semillas, y muy fáciles de pelar.

Los aceites extraídos de sus cáscaras se utilizan para sazonar comidas y bebidas, así como para fragancias de perfumes y aromaterapia. En jardinería se suelen utilizar las cáscaras de naranja como repelente de babosas. Las flores se pueden secar y ser usadas para hacer un delicioso y aromático té.

### **2.9.1. Procedencia de las naranjas Washington Navel**

Es una variedad originada a partir de una mutación espontánea de Washington en la zona de Lemon Cove, California, donde fue descubierta en 1935 y comenzó a plantarse con fines comerciales inmediatamente. Se introdujo a Chile en 1968 y, posiblemente, fue reintroducida a principios de los 90, por lo que era una variedad conocida en el país antes del inicio de las exportaciones de naranjas.

La naranja Washington Navel es la reina de las naranjas, también tiene su origen asociado a China e Indonesia.

### **2.9.2.     Árbol de la naranja Washington Navel**

El árbol de las naranjas Washington Navel es compacto, vigoroso y de buen desarrollo. Posee una copa esférica con un hábito de crecimiento abierto y ligeramente caído con ramas que alcanzan el suelo.

Al efectuar las evaluaciones realizadas en California, tuvo menor rendimiento que otras variedades, la Naranja Washington Navel es considerada una variedad de producción media dentro del grupo Navel.

Las hojas del árbol son de color oscuro. El árbol de estas naranjas tiene tendencia a florecer, lo que dificulta el cuajado.

### **2.10.     Producción de la naranja en Guatemala**

Es una especie de producción subtropical. No tolera las heladas, ya que sufre tanto las flores, frutos como la vegetación, que pueden desaparecer totalmente. Es una fruta crítica que ha alcanzado mayor popularidad, tanto para el consumo fresco como para la industrialización de su jugo.

El cultivo de la naranja en Guatemala es una actividad agrícola tradicional para algunas zonas del país, sin embargo, se ha presentado un aumento en su área de producción de modo tal que ha ocupado un importante lugar en la generación de divisas de origen agropecuario.

En Guatemala, se cultivan aproximadamente 4 600 a 5 500 hectáreas de naranja, de las cuales se obtienen 121 762 a 145 585 TM, las cuales son comercializadas en su mayoría internamente para el mercado de jugos y en

fresco. Se reportan exportaciones a El Salvador y Nicaragua en el orden de 45 TM y a Honduras en un rango de 11 000 a 13 000 TM.

El semillero debe ser localizado en un lugar fresco, con buen suelo buen drenaje para reducir el problema de enfermedades. Es conveniente usar tierras nuevas, es decir no hacer semilleros respectivamente en el mismo lugar y adicionarles una pequeña cantidad de fertilizante orgánico, rico en nitrógeno, varias semanas antes de la siembra de semilla. Las semillas se pueden sembrar sobre eras en líneas a una distancia aproximada de 5cm y luego se cubren con una capa de 2 a 3cm de tierra.

La naranja es una especie subtropical que no presenta resistencia al frío, ya que tanto las flores como los frutos no toleran dichas condiciones. Necesita temperaturas cálidas durante el verano para la correcta maduración de los frutos.

## **2.11. Departamento de Sacatepéquez**

El departamento de Sacatepéquez está situado en la región Central de Guatemala. Limita al Norte, con el departamento de Chimaltenango; al Sur, con el departamento de Escuintla; al Este, con el departamento de Guatemala; y al Oeste, con el departamento de Chimaltenango. La cabecera departamental se encuentra a 54 kilómetros de la ciudad capital de Guatemala. Su extensión territorial es de 465 kilómetros cuadrados.

Su principal fuente de ingreso, aparte del turismo, es la agricultura. Posee tierras fértiles, por lo que su producción agrícola es grande y variada, entre las cuales se encuentra el cultivo de café, durazno, pera, manzana, aguacate y naranja Washington. Sobresale también la crianza de ganado vacuno y caballar.

### 2.11.1. Municipio de Alotenango

Es un municipio del departamento de Sacatepéquez, fundado el día 9 de enero de 1565. Su origen se remonta a la época pre-Hispánica de Guatemala. Los primeros habitantes del municipio fueron miembros de la etnia Maya Kaqchikel. En el *Popol Vuh*, el poblado es mencionado como Vucuc caquix o siete guacamayos. Esta comunidad ya existía a la llegada de los españoles y se encontraba asentada en el lugar que actualmente ocupa la finca Candelaria, unos 3 o 4 kilómetros al sur de su actual ubicación.

Figura 11. Municipio de Alotenango, Sacatepéquez, Guatemala



Fuente: Google Maps. <https://www.google.com.gt/maps/place/Alotenango/@14.4885306,-90.8064034,15.79z/data=!4m5!3m4!1s0x858910914095ca71:0xf6c82a194b25b710!8m2!3d14.4855247!4d-90.8032181>. Consulta: 8 de mayo de 2017.



### 3. DISEÑO METODOLÓGICO

#### 3.1. Localización

Las instalaciones en las cuales se ejecutó la fase experimental del estudio de investigación, incluyendo la extracción del aceite esencial y la caracterización fisicoquímica de este, se realizaron en:

- Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales (LIEEXVE), Sección de Química Industrial, Centro de Investigaciones de Ingeniería (CII), Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, Instituto de Investigaciones, Universidad del Valle de Guatemala.

#### 3.2. Variables

A continuación se describen las variables del estudio de investigación.

Tabla I. Factores constantes

No.	Factor	Descripción
1	Parte de la planta	Cáscara
2	Tipo de escala	Laboratorio y planta piloto
3	Procedencia	Alotenango, Sacatepéquez

Fuente: elaboración propia.

Tabla II. **Variables independientes**

No.	Variable	Unidad
1	Tiempo de extracción	min.

Fuente: elaboración propia.

Tabla III. **Variables dependientes**

No.	Variable	Unidad
1	Porcentaje de rendimiento	%
2	Densidad	g/mL
3	Índice de refracción	Adimensional
4	Composición química	%

Fuente: elaboración propia.

### 3.3. Delimitación del campo de estudio

La delimitación del campo de estudio de la investigación comprende en el área de Ingeniería Química, enfocada en la operación unitaria de separación, extracción del aceite esencial de naranja Washington Navel (*Citrus sinensis var. Washington Navel*), la materia prima utilizada es la cáscara de la naranja, que se recolectó en el municipio de Alotenango del departamento de Sacatepéquez.

El campo de estudio abarcó la evaluación del rendimiento de la extracción del aceite esencial de la cáscara de naranja Washington Navel, utilizando el método extractivo por hidrodestilación a escala laboratorio y el método de destilación por arrastre con vapor a escala planta piloto. El procedimiento de extracción y de análisis de las propiedades fisicoquímicas del aceite esencial, densidad e índice de refracción, se ejecutó en el Laboratorio de Extractos

Vegetales, en la sección de Química Industrial de la Universidad de San Carlos de Guatemala, ubicada en la ciudad universitaria de la zona 12. Y la identificación de componentes químicos de las muestras de aceites esenciales en el Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, Instituto de Investigaciones, Universidad del Valle de Guatemala.

#### **3.4. Recursos humanos disponibles**

- Investigador: Henio Amilcar López Pineda
- Asesor: Ing. Qco. Mario José Merida Meré
- Asesor: Inga. Qca. Telma Maricela Cano Morales

#### **3.5. Recursos materiales disponibles**

Los recursos materiales necesarios fueron:

##### **3.5.1. Equipo de protección personal**

- Bata
- Botas Industriales
- Guantes de Latex
- Guantes térmicos
- Lentes

##### **3.5.2. Equipo**

- Plancha de Calentamiento marca VWR de 60 Hertz
- Refractómetro “Fisher Scientific” de 60 Hertz
- Balanza Analítica marca VWR

- Campana de Extracción de Gases
- Refrigeradora
- Homogenizador
- Caldera generadora de vapor
- Marmita de platos perforados, planta piloto de extracción-destilación
- Cromatógrafo de gases acoplado a un espectrómetro de masa (GC-MS)

### **3.5.3. Cristalería**

- Neoclevenger
- Recirculador
- Ampolla de Decantación
- Balón de 1000 mL
- Beacker de 800 mL
- Condensador
- Beacker de 250 mL
- Manta de Calentamiento
- Reloj
- Picnómetro

### **3.5.4. Materia prima**

- Cáscara de Naranja Washington Navel
- Agua desmineralizada
- Hexano
- Etanol al 95 %

### **3.6. Técnica cualitativa o cuantitativa**

En el presente estudio de investigación se realizó una técnica cuantitativa, sobre la determinación de la densidad, índice de refracción y el porcentaje de rendimiento extractivo del aceite esencial de naranja Washington Navel.

#### **3.6.1. Extracción de aceite esencial de naranja Washington Navel (*Citrus sinensis* var. Washington Navel), utilizando el método de hidrodestilación a escala laboratorio**

- Se lavó las secciones del Neoclevenger con etanol y agua.
- Se colocó la materia prima vegetal a extraer en un balón de 1000mL
- En cada extracción se agregó 500mL de agua destilada humedeciendo todo el material vegetal, hasta cubrirlo.
- Se acopló el balón que contiene el material vegetal con el Neoclevenger.
- Se recirculó el agua del condensador del Neoclevenger, manteniendo el agua de recirculación a una temperatura de 10°C.
- Se transfirió el calor al balón de 1000mL con la plancha de calentamiento, hasta que dé inicio la ebullición.
- Al iniciar la ebullición, se tomó el tiempo de destilación en 4 tiempos diferentes (60, 120, 180 y 240 minutos).
- Se completó el tiempo de destilación, suspender el calentamiento hasta que termine de producirse el condensado.
- Se estableció la masa de un gotero color ámbar.
- Se transfirió el aceite al gotero, teniendo cuidado de separar la fase oleosa del agua.

- Nuevamente se estableció la masa del gotero, pero ahora conteniendo el aceite recuperado, y finalmente por diferencia se determinó la masa del aceite obtenido en la destilación.

**3.6.2. Extracción de aceite esencial de naranja Washington Navel (*Citrus sinensis* var. Washington Navel), utilizando el método de arrastre con vapor directo, a escala planta piloto**

- Se encendió la caldera y esperando a que la presión de la caldera sea mayor o igual a 80 psi.
- Se verificó que las tuberías, marmita y vaso florentino se encuentren limpios, de lo contrario utilizar vapor para limpiarlos.
- Se pesó la cantidad a utilizar de materia prima vegetal, y colocarla dentro de la marmita, siendo esta intercalada entre los platos.
- Se abrió la válvula de vapor y se encendió el sistema de enfriamiento con sistema de recirculación.
- Se esperó la primera gota de condensado y se inició a tomar en 4 tiempos de extracción diferentes (60, 120, 180 y 240 minutos).
- Se cerró todas las válvulas.
- Se descargó el aceite esencial junto con el hidrolato del vaso florentino.
- Se apagó caldera.
- Se colocó el aceite esencial e hidrolato en una ampolla de decantación y dejando reposar por 24 h.
- Se separó el hidrolato del aceite esencial por decantación.
- Se pesó el frasco de color ámbar con el aceite esencial y determinando por diferencia de masas el rendimiento extractivo, obtenido de la masa recuperada del aceite esencial.
- Se almacenó en frío el aceite esencial, para evitar que se volatilice.

### **3.6.3. Cálculo de la densidad del aceite esencial de naranja Washington Navel (*Citrus sinensis* var. Washington Navel)**

- Se limpió con etanol el picnómetro.
- Se midió la tara del picnómetro.
- Se utilizó una pipeta para verter la muestra del aceite esencial en el picnómetro.
- Se pesó el picnómetro con la muestra.
- Se calculó la densidad, a partir de la relación entre la masa del aceite esencial contenido en el picnómetro y el volumen del mismo.

### **3.6.4. Medición del índice de refracción del aceite esencial de naranja Washington Navel (*Citrus sinensis* var. Washington Navel)**

- Se limpió el lente del prisma con agua desionizada.
- Se agregó dos o tres gotas de aceite esencial al prisma.
- Se encendió la lámpara, utilizando el interruptor en el lado izquierdo y ajustar, para asegurar el brillo adecuado en la medición.
- Se giró la perilla de compensación de color, hasta que aparezca una línea clara y definida en el campo de visión.
- Se giró la perilla de medición, alineando la línea delimitadora con las líneas de intersección.
- Se movió hacia abajo la palanca de la parte inferior izquierda.
- Se leyó en la escala superior el índice de refracción.

### **3.6.5. Determinación del rendimiento extractivo del aceite esencial de naranja Washington Navel (*Citrus sinensis* var. Washington Navel)**

- Se anotó el peso inicial de la materia prima.
- Se midió la tara del recipiente color ámbar a utilizar.
- Se pesó el recipiente con el aceite esencial en la balanza analítica.
- El rendimiento se determinó dividiendo la masa del aceite con la masa de la materia prima inicial.

### **3.6.6. Detección de componentes químicos a través de una cromatografía de gases con acoplamiento de espectrometría de masas para el aceite esencial de naranja Washington Navel (*Citrus sinensis* var. Washington Navel)**

- Se inyectó dentro del espectrómetro 0.2 uL de aceite esencial diluido en 1 mL de metanol.
- Se comparó el peso molecular de las especies.
- Se asignó un área porcentual a cada pico del cromatograma.
- Se identificó y nombró cada componente del aceite según la librería del programa que contiene el cromatógrafo.

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

La materia prima vegetal se extrajo a través de la naranja Washington Navel utilizando su cáscara para realizar la extracción de su aceite esencial, la recolección de la naranja se obtuvo en la localidad del municipio de Alotenango, del departamento de Sacatepéquez. La extracción se efectuó en 8 tiempos

diferentes, realizando 3 repeticiones para cada tiempo, evaluando el porcentaje de rendimiento, determinado las propiedades fisicoquímicas, densidad e índice de refracción, e identificando los componentes químicos de las muestras de aceite de naranja Washington Navel.

Tabla IV. **Ordenamiento de muestras obtenidas**

<b>Escala</b>	<b>Tiempo de Extracción (min.)</b>	<b>Repetición</b>
Laboratorio	60	1
		2
		3
Laboratorio	120	1
		2
		3
Laboratorio	180	1
		2
		3
Laboratorio	240	1
		2
		3
Planta Piloto	60	1
		2
		3
Planta Piloto	120	1
		2
		3
Planta Piloto	180	1
		2
		3
Planta Piloto	240	1
		2
		3

Fuente: elaboración propia.

Tabla V. **Porcentaje de rendimiento de extracción del aceite esencial de naranja Washington Navel (*Citrus sinensis* var. Washington Navel) a escala laboratorio**

Tiempo de extracción (min.)	Corrida	Peso de la materia prima (g)	Tara del frasco (g)	Peso total (g)	Peso del aceite (g)	Rendimiento (%)
60	1	200	5,65	7,27	1,63	0,81
60	2	200	5,68	7,36	1,67	0,83
60	3	200	5,74	7,41	1,66	0,83
120	1	200	5,72	7,48	1,76	0,88
120	2	200	5,69	7,45	1,76	0,88
120	3	200	5,73	7,68	1,95	0,96
180	1	200	5,71	7,93	2,22	1,11
180	2	200	5,65	7,98	2,33	1,17
180	3	200	5,73	8,11	2,38	1,19
240	1	200	5,66	8,36	2,70	1,35
240	2	200	5,63	8,08	2,45	1,22
240	3	200	5,66	8,31	2,65	1,33

Fuente: datos experimentales, LIEXVE, CII/USAC.

Tabla VI. **Porcentaje de rendimiento de extracción del aceite esencial de naranja Washington Navel (*Citrus sinensis* var. Washington Navel) a escala planta piloto**

Tiempo de extracción (min.)	Corrida	Peso de la Materia Prima (g)	Tara del Frasco (g)	Peso total (g)	Peso del aceite (g)	Rendimiento (%)
60	1	8 500	5,67	7,61	1,94	0,0228
60	2	8 500	5,97	7,99	2,03	0,0239

Continuación de la tabla VI.

60	3	8 500	5,95	7,77	1,82	0,0215
120	1	8 500	5,60	9,92	4,32	0,0508
120	2	8 500	5,93	9,97	4,04	0,0476
120	3	8 500	5,95	10,47	4,52	0,0532
180	1	8 500	5,84	11,95	6,11	0,0719
180	2	8 500	5,92	11,79	5,87	0,0791
180	3	8 500	5,43	12,00	6,57	0,0773
240	1	8 500	5,73	14,06	8,33	0,098
240	2	8 500	6,01	14,70	8,69	0,102
240	3	8 500	5,85	14,90	9,04	0,106

Fuente: datos experimentales, LIEXVE, CII/USAC.

Tabla VII. **Densidad del aceite esencial de naranja Washington Navel (*Citrus sinensis* var. Washington Navel) a escala laboratorio**

Tiempo de extracción (min.)	Corrida	Volumen del picnómetro (mL)	Tara del picnómetro (g)	Peso total (g)	Densidad (g/mL)
60	1	1,030	3,29	4,18	0,874
60	2	1,030	3,29	4,18	0,874
60	3	1,030	3,29	4,18	0,874
120	1	1,030	3,29	4,18	0,874
120	2	1,030	3,29	4,18	0,873
120	3	1,030	3,29	4,19	0,873
180	1	1,030	3,29	4,18	0,873
180	2	1,030	3,29	4,18	0,874

Continuación de la tabla VII.

180	3	1,030	3,29	4,18	0,874
240	1	1,030	3,29	4,18	0,872
240	2	1,030	3,29	4,18	0,871
240	3	1,030	3,29	4,18	0,871

Fuente: datos experimentales, LIEXVE, CII/USAC.

Tabla VIII. **Densidad del aceite esencial de naranja Washington Navel (*Citrus sinensis* var. Washington Navel) a escala planta piloto**

Tiempo de extracción (min.)	Corrida	Volumen del picnómetro (mL)	Tara del picnómetro (g)	Peso total (g)	Densidad (g/mL)
60	1	1,030	3,29	4,15	0,838
60	2	1,030	3,29	4,15	0,833
60	3	1,030	3,29	4,15	0,831
120	1	1,030	3,29	4,15	0,820
120	2	1,030	3,29	4,15	0,830
120	3	1,030	3,29	4,15	0,849
180	1	1,030	3,29	4,15	0,898
180	2	1,030	3,29	4,15	0,815
180	3	1,030	3,29	4,15	0,828
240	1	1,030	3,29	4,15	0,831
240	2	1,030	3,29	4,15	0,838
240	3	1,030	3,29	4,15	0,830

Fuente: datos experimentales, LIEXVE, CII/USAC.

Tabla IX. **Índice de refracción del aceite esencial de naranja Washington Navel (*Citrus sinensis* var. Washington Navel) a escala laboratorio**

<b>Tiempo de extracción (min.)</b>	<b>Corrida</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Índice de refracción (adimensional)</b>
60	1	25	1,4793
60	2	25	1,4793
60	3	25	1,4793
120	1	25	1,4792
120	2	25	1,4792
120	3	25	1,4793
180	1	25	1,4793
180	2	25	1,4793
180	3	25	1,4793
240	1	25	1,4791
240	2	25	1,4791
240	3	25	1,4791

Fuente: datos experimentales, LIEXVE, CII/USAC.

Tabla X. **Índice de refracción del aceite esencial de naranja Washington Navel (*Citrus sinensis* var. Washington Navel) a escala planta piloto**

<b>Tiempo de extracción (min.)</b>	<b>Corrida</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Índice de refracción (adimensional)</b>
60	1	25	1,4788
60	2	25	1,4789
60	3	25	1,4789

Continuación de la tabla X.

120	1	25	1,4788
120	2	25	1,4788
120	3	25	1,4789
180	1	25	1,4789
180	2	25	1,4790
180	3	25	1,4790
240	1	25	1,4791
240	2	25	1,4784
240	3	25	1,4789

Fuente: datos experimentales, LIEXVE, CII/USAC.

Tabla XI. **Composición química del aceite esencial de naranja Washington Navel (*Citrus sinensis* var. Washington Navel), utilizando un tiempo de extracción de 60 min., a escala laboratorio**

No.	Tiempo de Retención (min.)	Área (%)	Componente químico	Número CAS
1	16,36	84,52	Limoneno	005989-27-5
2	29,95	3,43	Linalool	000078-70-6
3	14,48	2,96	Mirceno	000123-35-3
4	31,29	2,06	1 Octanol	000111-87-5
5	19,52	1,32	Octanal	000124-13-0
6	5,66	1,23	Hexano	000110-54-3
7	13,21	1,05	Felandreno	000555-10-2

Continuación de la tabla XI.

8	57,67	0,75	4,8-dimetilnona-3,7-dien-2-ol	067845-50-5
9	36,15	0,65	3-Cyclohexene-1-methanol, .alpha.,	000098-55-5
10	10,27	0,62	$\alpha$ -Pino	007785-26-4

Fuente: datos experimentales, Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, II/UVG.

Tabla XII. **Composición química del aceite esencial de naranja Washington Navel (*Citrus sinensis* var. Washington Navel), utilizando un tiempo de extracción de 120 min., a escala laboratorio**

No.	Tiempo de Retención (min.)	Área (%)	Componente químico	Número CAS
1	16,36	82,89	Limoneno	005989-27-5
2	29,94	3,63	Linalool	000078-70-6
3	14,47	2,24	Mirceno	000123-35-3
4	31,31	1,74	1 Octanol	000111-87-5
5	13,20	1,19	Felandreno	000555-10-2
6	19,51	0,94	Octanal	000124-13-0
7	5,65	0,86	Hexano	000110-54-3
8	26,36	0,86	Limonene oxide, cis-	004680-24-4
9	36,15	0,63	3-Cyclohexene-1-methanol, .alpha.	000098-55-5

Continuación de la tabla XII.

10	16,27	0,57	$\alpha$ -Pino	007785-26-4
----	-------	------	----------------	-------------

Fuente: datos experimentales, Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, II/UVG.

Tabla XIII. **Composición química del aceite esencial de naranja Washington Navel (*Citrus sinensis* var. Washington Navel), utilizando un tiempo de extracción de 180 min., a escala laboratorio**

No.	Tiempo de Retención (min.)	Área (%)	Componente químico	Número CAS
1	16,36	82,23	Limoneno	005989-27-5
2	16,35	3,60	Linalool	000078-70-6
3	29,76	2,79	Mirceno	000123-35-3
4	31,34	1,63	1 Octanol	000111-87-5
5	26,35	1,12	Limonene oxide, cis-	004680-24-4
6	13,20	1,07	Felandreno	000555-10-2
7	37,81	0,73	2-Cyclohexen-1-one, 2-methyl-5-(1-methylethenyl)-	000099-49-0
8	41,52	0,68	Hexano	000110-54-3
9	5,64	0,65	2-Cyclohexen-1-ol, 2-methyl-5-(1-methylethenyl)-, cis	001197-06-4
10	10,26	0,58	$\alpha$ -Pino	007785-26-4

Fuente: datos experimentales, Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, II/UVG.

Tabla XIV. **Composición química del aceite esencial de naranja Washington Navel (*Citrus sinensis* var. Washington Navel), utilizando un tiempo de extracción de 240 min., a escala laboratorio**

No.	Tiempo de Retención (min.)	Área (%)	Componente químico	Número CAS
1	16,35	84,31	Limoneno	005989-27-5
2	29,94	3,32	Linalool	000078-70-6
3	14,47	2,86	Mirceno	000123-35-3
4	14,47	2,92	Bicyclo[3.1.0]hex-2-ene, 4-methyl-	028634-89-1
5	31,35	1,50	1 Octanol	000111-87-5
6	19,52	1,32	Octanal	000124-13-0
7	13,20	1,12	Felandreno	000555-10-2
8	5,65	0,90	Hexano	000110-54-3
9	36,14	0,70	3-Cyclohexene-1-methanol, .alpha	000098-55-5
10	10,26	0,63	$\alpha$ -Pineno	007785-26-4

Fuente: datos experimentales, Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, II/UVG.

Tabla XV. **Composición química del aceite esencial de naranja Washington Navel (*Citrus sinensis* var. Washington Navel), utilizando un tiempo de extracción de 60 min., a escala planta piloto**

No.	Tiempo de Retención (min.)	Área (%)	Componente químico	Número CAS
1	16,37	59,6	Limoneno	005989-27-5
2	12,54	3,73	Undecano	001120-21-4

Continuación de la tabla XV.

3	28,27	3,43	Linalool	000078-70-6
4	55,17	2,36	Tricosano	000638-67-5
5	9,53	2,15	Decano	000124-18-5
6	56,57	2,15	Eicosano	000112-95-8
7	14,46	1,90	Mirceno	000123-35-3
8	37,46	1,78	2,6-Octadienal, 3,7-dimethyl-,	000141-27-5
9	60,93	1,35	Tetracosano	000646-31-1
10	62,32	1,19	Nonadecano	000629-92-5

Fuente: datos experimentales, Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, II/UVG.

Tabla XVI. **Composición química del aceite esencial de naranja Washington Navel (*Citrus sinensis* var. Washington Navel), utilizando un tiempo de extracción de 120 min., a escala planta piloto**

No.	Tiempo de Retención (min.)	Área (%)	Componente químico	Número CAS
1	16,37	76,01	Limoneno	005989-27-5
2	29,94	4,13	Linalool	000078-70-6
3	14,47	2,48	Mirceno	000123-35-3
4	19,52	1,77	Octanal	000124-13-0
5	31,38	1,46	1 Octanol	000111-87-5
6	37,45	1,40	2,6-Octadienal, 3,7-dimethyl-	005392-40-5
7	36,14	1,21	3Cyclohexene- 1methanol, .alpha	000098-55-5

Continuación de la tabla XVI.

8	55,15	1,12	Docosano	000629-97-0
9	5,65	1,09	Hexano	000110-54-3
10	56,55	1,05	Tricosano	000638-67-5

Fuente: datos experimentales, Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, II/UVG.

Tabla XVII. **Composición química del aceite esencial de naranja Washington Navel (*Citrus sinensis* var. Washington Navel), utilizando un tiempo de extracción de 180 min., a escala planta piloto**

No.	Tiempo de Retención (min.)	Área (%)	Componente químico	Número CAS
1	16,35	72,00	Limoneno	005989-27-5
2	29,93	3,27	Linalool	000078-70-6
3	14,47	2,30	Mirceno	000123-35-3
4	29,93	2,11	2,6-Octadienal, 3,7-dimethyl-,	000141-27-5
5	5,88	1,92	Undecano	001120-21-4
6	19,51	1,57	Octanal	000124-13-0
7	5,64	1,21	Hexano	000110-54-3
8	13,19	0,90	Felandreno	000555-10-2
9	55,13	0,76	Eicosano	000112-95-8
10	56,53	0,75	Tricosano	000638-67-5

Fuente: datos experimentales, Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, II/UVG.

Tabla XVIII. **Composición química del aceite esencial de naranja Washington Navel (Citrus sinensis var. Washington Navel), utilizando un tiempo de extracción de 240 min., a escala planta piloto**

No.	Tiempo de Retención (min.)	Área (%)	Componente químico	Número CAS
1	16,36	69,61	Limoneno	005989-27-5
2	29,93	3,56	Linalool	000078-70-6
3	14,46	2,41	Mirceno	000123-35-3
4	5,65	2,16	Hexano	000110-54-3
5	14,52	1,36	Octanal	000124-13-0
6	37,45	0,96	2,6-Octadienal, 3,7-dimethyl-	005392-40-5
7	31,41	0,94	1 Octanol	000111-87-5
8	13,19	0,90	Felandreno	000555-10-2
9	36,14	0,83	3Cyclohexene-1methanol, .alpha	000098-55-5
10	9,52	0,78	Decano	000124-18-5

Fuente: datos experimentales, Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, II/UVG.

### 3.8. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

En el estudio de investigación, se procedió a la tabulación, ordenamiento y procesamiento de los datos obtenidos en la evaluación del porcentaje de rendimiento de extracción, mediciones en las propiedades fisicoquímicas, densidad e índice de refracción, y en la identificación de los componentes químicos de las muestras de aceite esencial de naranja Washington Navel; elaborando con los datos obtenidos las siguientes tablas:

Tabla XIX. **Porcentaje de rendimiento de extracción del aceite esencial de naranja Washington Navel (*Citrus sinensis* var. Washington Navel) a escala laboratorio**

Tiempo de extracción (min.)	Corrida	Rendimiento (%)	$\bar{X}$	$\sigma$	C.V.
60	1	0,81	0,83	1,13E-4	1,37E-2
60	2	0,83			
60	3	0,83			
120	1	0,88	0,91	4,93	6,43E-2
120	2	0,88			
120	3	0,96			
180	1	1,11	1,16	4,05E-4	3,50E-2
180	2	1,17			
180	3	1,19			
240	1	1,35	1,30	6,74E-4	5,18E-2
240	2	1,22			
240	3	1,33			

Fuente: datos experimentales, LIEXVE, CII/USAC.

Tabla XX. **Porcentaje de rendimiento de extracción del aceite esencial de naranja Washington Navel (*Citrus sinensis* var. Washington Navel) a escala planta piloto**

Tiempo de extracción (min.)	Corrida	Rendimiento (%)	$\bar{X}$	$\sigma$	C.V.
60	1	0,0228	0,0227	1,20E-3	5,29E-2
60	2	0,0239			
60	3	0,0215			

Continuación de la tabla XX.

120	1	0,0508	0,0505	2,81E-3	5,56E-2
120	2	0,0476			
120	3	0,0532			
180	1	0,0719	0,0761	3,75E-3	4,91E-2
180	2	0,0791			
180	3	0,0773			
240	1	0,098	0,102	4,00E-3	3,92E-3
240	2	0,102			
240	3	0,106			

Fuente: datos experimentales, LIEXVE, CII/USAC.

Tabla XXI. **Densidad del aceite esencial de naranja Washington Navel (*Citrus sinensis* var. Washington Navel) a escala laboratorio**

Tiempo de extracción (min.)	Corrida	Densidad (g/mL)	$\bar{X}$	$\sigma$	C.V.
60	1	0,8704	0,8691	1,11E-3	1,28E-3
60	2	0,8687			
60	3	0,8683			
120	1	0,8715	0,8706	1,42E-3	1,63E-2
120	2	0,8690			
120	3	0,8714			
180	1	0,8729	0,8733	3,79E-4	4,33E-2
180	2	0,8736			
180	3	0,8735			

Continuación de la tabla XXI.

240	1	0,872	0,8715	5,03E-4	5,77E-4
240	2	0,871			
240	3	0,8714			

Fuente: datos experimentales, LIEXVE, CII/USAC.

Tabla XXII. **Densidad del aceite esencial de naranja Washington Navel (*Citrus sinensis* var. Washington Navel) a escala planta piloto**

Tiempo de extracción (min.)	Corrida	Densidad (g/mL)	$\bar{X}$	$\sigma$	C.V.
60	1	0,8386	0,8346	3,57E-3	4,28E-3
60	2	0,8331			
60	3	0,8319			
120	1	0,8204	0,8330	1,43E-2	1,72E-2
120	2	0,8302			
120	3	0,8486			
180	1	0,8482	0,8305	1,65E-2	1,99E-2
180	2	0,8154			
180	3	0,8280			
240	1	0,8316	0,8329	4,16E-3	4,99E-3
240	2	0,8376			
240	3	0,8296			

Fuente: datos experimentales, LIEXVE, CII/USAC.

Tabla XXIII. **Índice de refracción del aceite esencial de naranja Washington Navel (*Citrus sinensis* var. Washington Navel) a escala laboratorio**

Tiempo de extracción (min.)	Corrida	Índice de refracción	$\bar{X}$	$\sigma$	C.V.
60	1	1,4793	1,4793	0	0
60	2	1,4793			
60	3	1,4793			
120	1	1,4792	1,4792	5,77E-5	3,90E-5
120	2	1,4792			
120	3	1,4793			
180	1	1,4793	1,4793	0	0
180	2	1,4793			
180	3	1,4793			
240	1	1,4791	1,4791	0	0
240	2	1,4791			
240	3	1,4791			

Fuente: datos experimentales, LIEXVE, CII/USAC.

Tabla XXIV. **Índice de refracción del aceite esencial de naranja Washington Navel (*Citrus sinensis* var. Washington Navel) a escala planta piloto**

Tiempo de extracción (min.)	Corrida	Índice de refracción	$\bar{X}$	$\sigma$	C.V.
60	1	1,4788	1,4789	5,77E-5	3,90E-5
60	2	1,4789			
60	3	1,4789			

Continuación de la tabla XXIV.

120	1	1,4788	1,4789	1,16E-4	7,81E-5
120	2	1,4788			
120	3	1,4790			
180	1	1,4789	1,4790	5,77E-5	3,90E-5
180	2	1,4790			
180	3	1,4790			
240	1	1,4791	1,4788	3,61E-4	2,42E-4
240	2	1,4784			
240	3	1,4789			

Fuente: datos experimentales, LIEXVE, CII/USAC.

### 3.9. Análisis estadístico

La estadística inferencial es una herramienta que se utiliza en la investigación científica, para generar conclusiones con base en la información numérica obtenida. En el estudio de investigación se realizó el análisis estadístico para determinar la diferencia significativa entre un factor independiente y la variable respuesta, afectando los resultados finales obtenidos. Se evaluó mediante el análisis de varianza para un factor, conocido como ANOVA, el efecto que tiene el tiempo de extracción en el rendimiento extractivo, densidad e índice de refracción. El análisis de varianza permitió contrastar las hipótesis indicando si la diferencia entre las medias muestrales es significativa, si las medias muestrales son iguales se acepta la hipótesis nula y si las medias muestrales difieren se acepta la hipótesis alternativa.

Tabla XXV. **Experimento de un factor, para el rendimiento extractivo del aceite esencial de naranja Washington Navel (*Citrus sinensis* var. Washington Navel) a escala laboratorio**

Factor Tiempo de extracción (min.)	Corridas Rendimiento extractivo (%)	$\bar{X}$	C.V.
60	0,81	0,83	1,32E-2
	0,83		
	0,83		
120	0,88	0,91	6,43E-2
	0,88		
	0,96		
180	1,11	1,16	7,50E-2
	1,17		
	1,19		
240	1,35	1,30	5,18E-2
	1,22		
	1,33		

Fuente: datos experimentales, LIEXVE, CII/USAC.

Tabla XXVI. **Análisis de varianza de un factor, para el rendimiento extractivo del aceite esencial de naranja Washington Navel (*Citrus sinensis* var. Washington Navel) 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	0.4286	3	0.14287	61.434	7.247E-06	4.066
Dentro de los grupos	0.0186	8	0.00232			
Total	0.4472	11				

Fuente: datos experimentales, LIEXVE, CII/USAC.

Tabla XXVII. Experimento de un factor, para el rendimiento extractivo del aceite esencial de naranja Washington Navel (*Citrus sinensis* var. Washington Navel) a escala planta piloto

Factor Tiempo de extracción (min.)	Corridas Rendimiento extractivo (%)	$\bar{X}$	C.V.
60	0,0228	0,0227	5,29E-2
	0,0239		
	0,0215		
120	0,0508	0,0505	5,56E-2
	0,0476		
	0,0532		
180	0,0719	0,0761	4,91E-2
	0,0791		
	0,0773		
240	0,098	0,102	3,92E-3
	0,102		
	0,106		

Fuente: datos experimentales, LIEXVE, CII/USAC.

Tabla XXVIII. Análisis de varianza de un factor, para el rendimiento extractivo del aceite esencial de naranja Washington Navel (*Citrus sinensis* var. Washington Navel) 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	0.0104	3	0.00347	352.43	7.804E-09	4.066
Dentro de los grupos	7.87E-05	8	9.84E-06			
Total	0.0105	11				

Fuente: datos experimentales, LIEXVE, CII/USAC.

Tabla XXIX. Experimento de un factor, para la densidad del aceite esencial de naranja Washington Navel (*Citrus sinensis* var. Washington Navel) a escala laboratorio

Factor Tiempo de extracción (min.)	Corridas Densidad (g/mL)	$\bar{X}$	C.V.
60	0,8704	0,8691	1,28E-3
	0,8687		
	0,8683		
120	0,8715	0,8706	1,63E-2
	0,8690		
	0,8714		
180	0,8729	0,8733	4,33E-2
	0,8736		
	0,8735		
240	0,098	0,8715	5,77E-4
	0,102		
	0,106		

Fuente: datos experimentales, LIEXVE, CII/USAC.

Tabla XXX. Análisis de varianza de un factor, para la densidad del aceite esencial de naranja Washington Navel (*Citrus sinensis* var. Washington Navel) 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	2.760E-05	3	9.2E-06	1.010	0.00427	4.066
Dentro de los grupos	7.287E-06	8	9.1E-07			
Total	3.489E-05	11				

Fuente: datos experimentales, LIEXVE, CII/USAC.

Tabla XXXI. Experimento de un factor, para la densidad del aceite esencial de naranja Washington Navel (*Citrus sinensis* var. Washington Navel) a escala planta piloto

Factor Tiempo de extracción (min.)	Corridas Densidad (g/mL)	$\bar{X}$	C.V.
60	0,8386	0,8346	4,28E-3
	0,8331		
	0,8319		
120	0,8204	0,8330	1,72E-2
	0,8302		
	0,8486		
180	0,8482	0,8305	1,99E-2
	0,8154		
	0,8280		
240	0,8316	0,8329	4,99E-3
	0,8376		
	0,8296		

Fuente: datos experimentales, LIEXVE, CII/USAC.

Tabla XXXII. Análisis de varianza de un factor, para la densidad del aceite esencial de naranja Washington Navel (*Citrus sinensis* var. Washington Navel) 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	0.000024	3	8.23E-06	0.0647	0.9771	4.066
Dentro de los grupos	0.001018	8	0.000127			
Total	0.001042	11				

Fuente: datos experimentales, LIEXVE, CII/USAC.

Tabla XXXIII. Experimento de un factor, para el índice de refracción del aceite esencial de naranja Washington Navel (*Citrus sinensis* var. Washington Navel) a escala laboratorio

Factor Tiempo de extracción (min.)	Corridas Índice de refracción (Adimensional)	$\bar{X}$	C.V.
60	1,4793	1,4793	0
	1,4793		
	1,4793		
120	1,4792	1,4792	3,90E-5
	1,4792		
	1,4793		
180	1,4793	1,4793	0
	1,4793		
	1,4793		
240	1,4791	1,4792	0
	1,4791		
	1,4791		

Fuente: datos experimentales, LIEXVE, CII/USAC.

Tabla XXXIV. Análisis de varianza de un factor, para el índice de refracción del aceite esencial de naranja Washington Navel (*Citrus sinensis* var. Washington Navel) 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	8E-08	3	2.67E-08	3.20	8.35E-05	4.066
Dentro de los grupos	6.67E-09	8	8.33E-10			
Total	8.67E-08	11				

Fuente: datos experimentales, LIEXVE, CII/USAC.

Tabla XXXV. Experimento de un factor, para el índice de refracción del aceite esencial de naranja Washington Navel (*Citrus sinensis* var. Washington Navel) a escala planta piloto

Factor Tiempo de extracción (min.)	Corridas Índice de refracción (Adimensional)	$\bar{X}$	C.V.
60	1,4788	1,4789	7,81E-5
	1,4789		
	1,4789		
120	1,4788	1,4789	7,81E-5
	1,4788		
	1,4790		
180	1,4789	1,4790	3,90E-5
	1,4790		
	1,4790		
240	1,4791	1,4788	4,42E-4
	1,4784		
	1,4789		

Fuente: datos experimentales, LIEXVE, CII/USAC.

Tabla XXXVI. Análisis de varianza de un factor, para el índice de refracción del aceite esencial de naranja Washington Navel (*Citrus sinensis* var. Washington Navel) 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	4.25E-08	3	1.42E-08	0.3778	0.7717	4.066
Dentro de los grupos	3E-07	8	3.75E-08			
Total	3.43E-07	11				

Fuente: datos experimentales, LIEXVE, CII/USAC.

Por medio de los resultados del análisis de varianza (ANOVA), se evaluó la aceptación o rechazo de las diferentes hipótesis estadísticas planteadas, utilizando la distribución de Fisher con un nivel de confianza del 95% para encontrar la F crítica y compararla con la F encontrada, y proseguir con el siguiente criterio:

- Si la F calculada es mayor que la F crítica se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa.
- Si la F calculada es menor que la F crítica se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa.

## 4. RESULTADOS

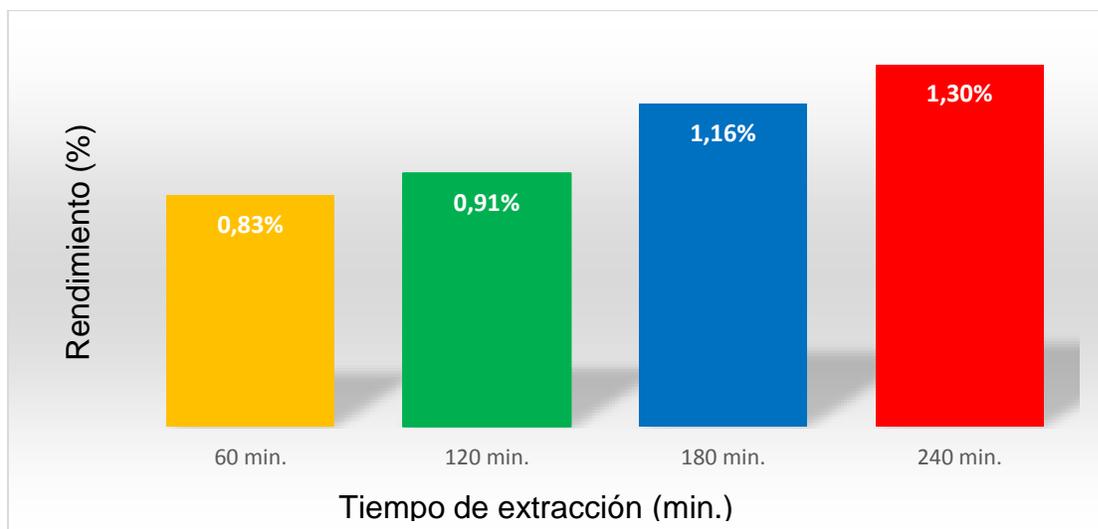
A continuación se presenta en tablas y gráficas los resultados del rendimiento extractivo, propiedades fisicoquímicas, densidad e índice de refracción, y composición química del aceite esencial de naranja Washington Navel a escala laboratorio y escala planta piloto.

Tabla XXXVII. **Rendimiento de la extracción del aceite esencial de la cáscara de naranja Washington Navel (*Citrus sinensis* var. Washington Navel) a escala laboratorio**

<b>Tiempo de extracción (min.)</b>	<b>Rendimiento de extracción (%)</b>
60	0,83 ± 1,13E-4
120	0,91 ± 4,93E-4
180	1,16 ± 4,05E-4
240	1,30 ± 6,74E-4

Fuente: datos experimentales, LIEXVE, CII/USAC.

Figura 12. Rendimiento de la extracción del aceite esencial de la cáscara de naranja Washington Navel (*Citrus sinensis* var. Washington Navel) en función al tiempo de extracción, a escala laboratorio



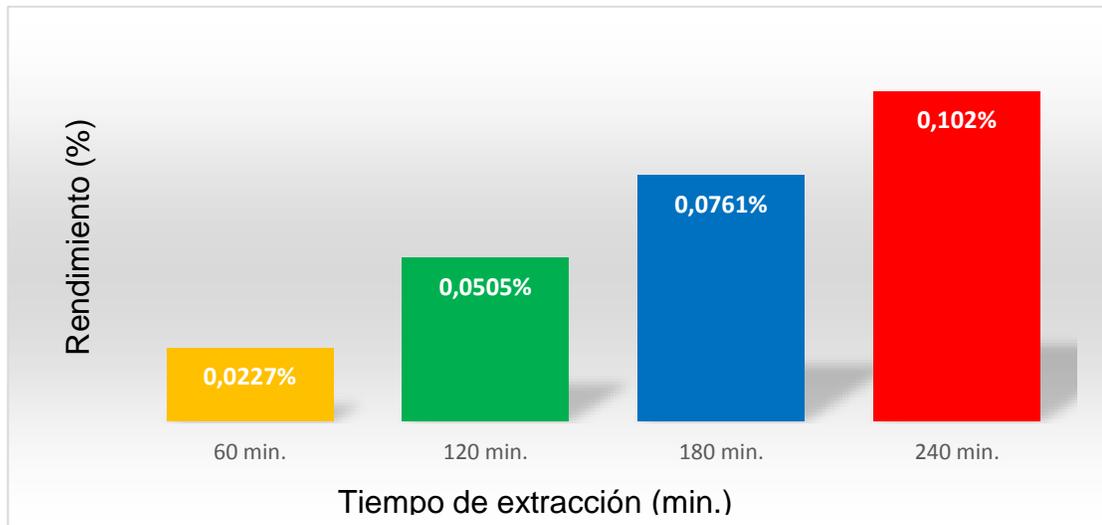
Fuente: datos experimentales, LIEXVE, CII/USAC.

Tabla XXXVIII. Rendimiento de la extracción del aceite esencial de la cáscara de naranja Washington Navel (*Citrus sinensis* var. Washington Navel) a escala planta piloto

Tiempo de extracción (min.)	Rendimiento de extracción (%)
60	0,0227 ± 1,20E-3
120	0,0505 ± 2,81E-3
180	0,0761 ± 3,75E-3
240	0,1020 ± 4,00E-3

Fuente: datos experimentales, LIEXVE, CII/USAC.

Figura 13. Rendimiento de la extracción del aceite esencial de la cáscara de naranja Washington Navel (*Citrus sinensis* var. Washington Navel) en función al tiempo de extracción, a escala planta piloto



Fuente: datos experimentales, LIEXVE, CII/USAC.

Tabla XXXIX. Densidad en función del tiempo de extracción del aceite esencial de la cáscara de naranja Washington Navel (*Citrus sinensis* var. Washington Navel), a escala laboratorio

Tiempo de extracción (min.)	Densidad (g/mL)
60	0,8691 ± 1,12E-3
120	0,8706 ± 1,42E-3
180	0,8733 ± 3,79E-4
240	0,8715 ± 5,03E-4

Fuente: datos experimentales, LIEXVE, CII/USAC.

Tabla XL. **Densidad en función del tiempo de extracción del aceite esencial de la cáscara de naranja Washington Navel (*Citrus sinensis* var. Washington Navel), a escala planta piloto**

Tiempo de extracción (min.)	Densidad (g/mL)
60	0,8346 ± 3,57E-3
120	0,8330 ± 1,43E-2
180	0,8305 ± 1,65E-2
240	0,8329 ± 4,16E-3

Fuente: datos experimentales, LIEXVE, CII/USAC.

Tabla XLI. **Índice de refracción en función del tiempo de extracción del aceite esencial de la cáscara de naranja Washington Navel (*Citrus sinensis* var. Washington Navel), a escala laboratorio**

Tiempo de extracción (min.)	Índice de refracción (Adimensional)
60	1,4793 ± 0
120	1,4792 ± 0
180	1,4793 ± 0,77E-5
240	1,4791 ± 0

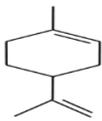
Fuente: datos experimentales, LIEXVE, CII/USAC.

Tabla XLII. Índice de refracción en función del tiempo de extracción del aceite esencial de la cáscara de naranja Washington Navel (*Citrus sinensis* var. Washington Navel), a escala planta piloto

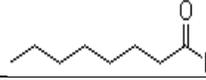
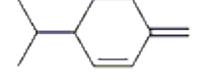
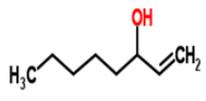
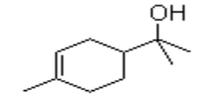
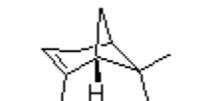
Tiempo de extracción (min.)	Índice de refracción (Adimensional)
60	1,4789 ± 5,77E-5
120	1,4789 ± 1,15E-4
180	1,4790 ± 5,77E-5
240	1,4788 ± 3,60E-4

Fuente: datos experimentales, LIEXVE, CII/USAC.

Tabla XLIII. Composición química del aceite esencial de la cáscara de naranja Washington Navel (*Citrus sinensis* var. Washington Navel), utilizando un tiempo de extracción de 60 min., a escala laboratorio

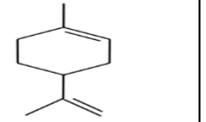
Tiempo de retención (min.)	Área (%)	Nombre IUPAC	Nombre común	Clasificación orgánica	Número CAS	Molécula
16,36	84,52	1-metil-4-(1-metileténil)-ciclohexano	Limoneno	monoterpeno	005989-27-5	
29,95	3,43	1,6-Octadien-3-ol, 3,7-dimetil	Linalool	monoterpeno	000078-70-6	
14,48	2,96	1,6-Octadieno, 7-metil-3-metileno	Mirceno	monoterpeno	000123-35-3	

Continuación de la tabla XLIII.

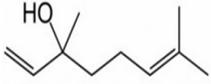
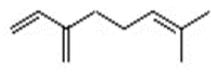
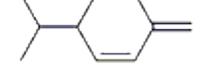
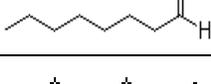
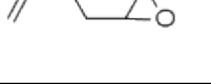
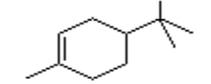
31,29	84,5 2	Octan-1-ol	1 Octanol	alcohol	000111- 87-5	
19,52	3,43	Octanal	Octanal	aldehído	000124- 13-0	
5,66	2,96	Hexano	Hexano	alcano	000110- 54-3	
13,21	1,05	3-Methylene-6-(1-methylethyl)cyclohexene	Felandreno	monoterpeno	00555- 10-2	
57,67	0,75	4,8-Dimetilnona-3,7-dien-2-ol	4,8-Dimetilnona-3,7-dien-2-ol	alcohol	067845- 50-5	
36,15	0,65	2-(4-Methyl-1-cyclohex-3-enyl)propan-2-ol	1-Hexadecanol	alcohol	000098- 55-5	
10,27	0,62	4,6,6-Trimetilbicyclo[3,1,1]hept-4-ene	$\alpha$ -Pinoeno	terpeno	007785- 26-4	

Fuente: datos experimentales, Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, II/UVG.

Tabla XLIV. **Composición química del aceite esencial de la cáscara de naranja Washington Navel (*Citrus sinensis* var. Washington Navel), utilizando un tiempo de extracción de 120 min., a escala laboratorio**

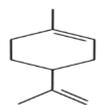
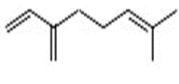
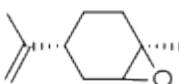
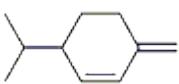
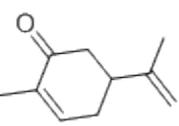
Tiempo de retención (min.)	Área (%)	Nombre IUPAC	Nombre común	Clasificación orgánica	Número CAS	Molécula
16,36	82,89	1-Metil-4-(1-metiletenil)-ciclohexano	Limoneno	monoterpeno	005989- 27-5	

Continuación de la tabla XLIV.

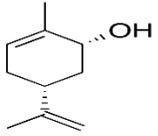
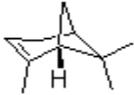
29,94	3,63	1,6-Octadien-3-ol, 3,7-dimetil	Linalool	monoterpeno	000078-70-6	
14,47	2,24	1,6-Octadieno, 7-metil-3-metileno	Mirceno	monoterpeno	000123-35-3	
31,31	1,74	Octan-1-ol	1 Octanol	alcohol	000111-87-5	
13,20	1,19	3-Methylene-6-(1-methylethyl)cyclohexene	Felandreno	monoterpeno	00555-10-2	
19,51	0,94	Octanal	Octanal	aldehído	000124-13-0	
5,65	0,86	Hexano	Hexano	alcano	000110-54-3	
26,36	0,86	6-metil-3-prop-1-en-2-il-7-oxabicyclo [4,1,0] heptano	Limonene oxide, cis-	epoxido	067845-50-5	
36,15	0,63	2-(4-Methyl-1-cyclohex-3-enyl)propan-2-ol	1-Hexadecanol	alcohol	000098-55-5	
16,27	0,57	4,6,6-Trimetilbicyclo[3,1,1]hept-4-ene	$\alpha$ -Pineno	terpeno	007785-26-4	

Fuente: datos experimentales, Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, II/UVG.

Tabla XLV. Composición química del aceite esencial de la cáscara de naranja Washington Navel (*Citrus sinensis* var. Washington Navel), utilizando un tiempo de extracción de 180 min., a escala laboratorio

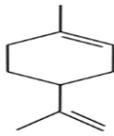
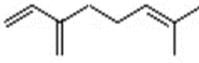
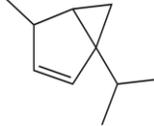
Tiempo de retención (min.)	Área (%)	Nombre IUPAC	Nombre común	Clasificación orgánica	Número CAS	Molécula
16,35	84,23	1-Metil-4-(1-metiletenil)-ciclohexano	Limoneno	monoterpeno	005989-27-5	
29,76	3,60	1,6-Octadien-3-ol, 3,7-dimetil	Linalool	monoterpeno	000078-70-6	
14,47	2,79	1,6-Octadieno, 7-metil-3-metileno	Mirceno	monoterpeno	000123-35-3	
31,34	1,63	Octan-1-ol	1 Octanol	alcohol	000111-87-5	
26,35	1,12	6-Metil-3-prop-1-en-2-il-7-oxabicyclo [4,1,0] heptano	Limonene oxide, cis-	epoxido	067845-50-5	
13,20	1,07	3-Methylene-6-(1-methylethyl)cyclohexene	Felandreno	monoterpeno	00555-10-2	
37,81	0,73	2-Metil-5-prop-1-en-2-ilciclohex-2-en-1-ona	2-Cyclohexen-1-one, 2-methyl-5-(1-methylethenyl)	terpeno	000099-49-0	
41,52	0,68	Hexano	Hexano	alcano	000110-54-3	

Continuacion de la tabla XLV.

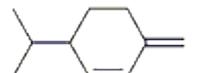
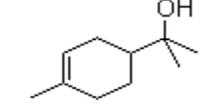
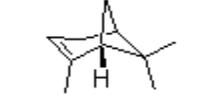
5,64	0,65	2-Metil-5-prop-1-en-2-ilciclohex-2-en-1-ol	2-Cyclohexen-1-ol, 2-methyl-5-(1-methylethenyl)-, cis	alcohol	000098-55-5	
10,26	0,58	4,6,6-Trimetilbicyclo[3,1,1]hept-4-ene	$\alpha$ -Pino	terpeno	007785-26-4	

Fuente: datos experimentales, Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, II/UVG.

Tabla XLVI. **Composición química del aceite esencial de la cáscara de naranja Washington Navel (*Citrus sinensis* var. Washington Navel), utilizando un tiempo de extracción de 240 min., a escala laboratorio**

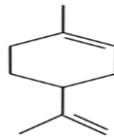
Tiempo de retención (min.)	Área (%)	Nombre IUPAC	Nombre común	Clasificación orgánica	Número CAS	Molécula
16,35	84,31	1-Metil-4-(1-metiletenil)-ciclohexano	Limoneno	monoterpeno	005989-27-5	
29,94	3,32	1,6-Octadien-3-ol, 3,7-dimetil	Linalool	monoterpeno	000078-70-6	
14,47	2,86	1,6-Octadieno, 7-metil-3-metileno	Mirceno	monoterpeno	000123-35-3	
14,47	2,92	4-Methyl-1-propan-2-ylbicyclo[3,1,0]hex-2-eno	Bicyclo[3,1,0]Hexa2ene,4-methyl	monoterpeno	028634-89-1	

Continuación de la tabla XLVI.

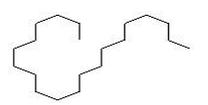
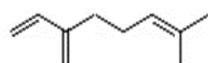
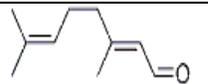
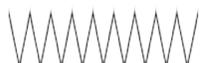
31,35	1,50	Octan-1-ol	1 Octanol	alcohol	000111-87-5	
19,52	1,32	Octanal	Octanal	aldehído	000124-13-0	
13,20	1,12	3-Methylene-6-(1-methylethyl)cyclohexene	Felandreno	monoterpeno	00555-10-2	
5,65	0,90	Hexano	Hexano	alcano	000110-54-3	
36,14	0,70	2-(4-Methyl-1-cyclohex-3-enyl)propan-2-ol	1-Hexadecanol	alcohol	000098-55-5	
10,26	0,63	4,6,6-Trimetilbiclíclo[3,1,1]hept-4-ene	$\alpha$ -Pino	terpeno	007785-26-4	

Fuente: datos experimentales, Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, II/UVG.

Tabla XLVII. **Composición química del aceite esencial de la cáscara de naranja Washington Navel (*Citrus sinensis* var. Washington Navel), utilizando un tiempo de extracción de 60 min., a escala planta piloto**

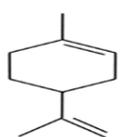
Tiempo de retención (min.)	Área (%)	Nombre IUPAC	Nombre común	Clasificación orgánica	Número CAS	Molécula
16,37	59,6	1-Metil-4-(1-metiletenil)ciclohexano	Limoneno	monoterpeno	005989-27-5	
12,54	3,73	Undecano	Undecano	alcano	001120-21-4	

Continuación de la tabla XLVII.

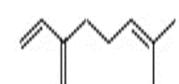
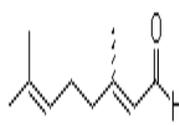
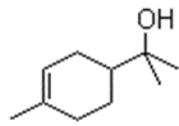
28,27	3,43	1,6-Octadien-3-ol, 3,7-dimetil	Linalool	monoterpeno	000078-70-6	
55,17	2,36	Tricosano	Tricosano	alcano	000638-67-5	
9,53	2,15	Decano	Decano	alcano	000124-18-5	
56,57	2,15	Eicosano	Eicosano	alcano	000112-95-8	
14,46	1,90	1,6-Octadieno, 7-metil-3-metileno	Mirceno	monoterpeno	000123-35-3	
37,46	1,78	3,7-Dimetilocta-2,6-dienal	Geranial	terpeno	000141-27-5	
60,93	1,35	Tetracosano	Tetracosano	alcano	000646-31-1	
62,32	1,19	Nonadecano	Nonadecano	alcano	000629-92-5	

Fuente: datos experimentales, Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, II/UVG.

Tabla XLVIII. **Composición química del aceite esencial de la cáscara de naranja Washington Navel (*Citrus sinensis* var. Washington Navel), utilizando un tiempo de extracción de 120 min., a escala planta piloto**

Tiempo de retención (min.)	Área (%)	Nombre IUPAC	Nombre común	Clasificación orgánica	Número CAS	Molécula
16,37	76,01	1-Metil-4-(1-metiletienil)-ciclohexano	Limoneno	monoterpeno	005989-27-5	

Continuación de la tabla XLVIII.

29,94	4,13	1,6-Octadien-3-ol, 3,7-dimetil	Linalool	monoterpeno	000078-70-6	
14,47	2,48	1,6-Octadieno, 7-metil-3-metileno	Mirceno	monoterpeno	000123-35-3	
19,52	1,77	Octanal	Octanal	aldehído	000124-13-0	
31,38	1,46	Octan-1-ol	1 Octanol	Alcohol	000111-87-5	
37,45	1,40	3,7-Dimethylocta-2,6-dienal	Geranial	terpeno	005392-40-5	
36,14	1,21	2-(4-Methyl-1-cyclohex-3-enyl)propan-2-ol	1-Hexadecanol	alcohol	000098-55-5	
55,15	1,12	Docosano	Docosano	alcano	000629-97-0	
5,65	1,09	Hexano	Hexano	alcano	000110-54-3	
56,55	1,05	Tricosano	Tricosano	alcano	000638-67-5	

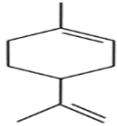
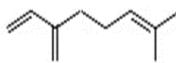
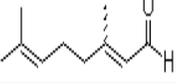
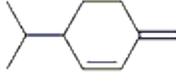
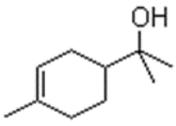
Fuente: datos experimentales, Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, II/UVG.

Tabla XLIX. Composición química del aceite esencial de la cáscara de naranja Washington Navel (*Citrus sinensis* var. Washington Navel), utilizando un tiempo de extracción de 180 min., a escala planta piloto

Tiempo de retención (min.)	Área (%)	Nombre IUPAC	Nombre común	Clasificación orgánica	Número CAS	Molécula
16,35	72,00	1-Metil-4 metil-etil-ciclohexano	Limoneno	monoterpeno	005989-27-5	
29,93	3,27	1,6-Octadien-3-ol, 3,7-dimetil	Linalool	monoterpeno	000078-70-6	
14,47	2,30	1,6-Octadieno, 7-metil-3-metileno	Mirceno	monoterpeno	000123-35-3	
29,93	2,11	3,7-Dimethyl-octa-2,6-dienal	Geranial	terpeno	000141-27-5	
5,88	1,92	Undecano	Undecano	alcano	001120-21-4	
19,51	1,57	Octanal	Octanal	aldehído	000124-13-0	
5,64	1,21	Hexano	Hexano	alcano	000110-54-3	
13,19	0,90	3-metil-6-(1-metiletil)ciclohexeno	Felandreno	monoterpeno	00555-10-2	
55,13	0,76	Eicosano	Eicosano	Alcano	000112-95-8	
56,53	0,75	Tricosano	Tricosano	alcano	000638-67-5	

Fuente: datos experimentales, Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, II/UVG.

Tabla L. **Composición química del aceite esencial de la cáscara de naranja Washington Navel (*Citrus sinensis* var. Washington Navel), utilizando un tiempo de extracción de 240 min., a escala planta piloto**

Tiempo de retención (min.)	Área (%)	Nombre IUPAC	Nombre común	Clasificación orgánica	Número CAS	Molécula
16,36	69,61	1-metil-4-(1-metiletenil)ciclohexano	Limoneno	monoterpeno	005989-27-5	
29,93	3,56	1,6-Octadien-3-ol, 3,7-dimetil	Linalool	monoterpeno	000078-70-6	
14,46	2,41	1,6-Octadieno, 7-metil-3-metileno	Mirceno	monoterpeno	000123-35-3	
5,65	2,16	Hexano	Hexano	alcano	000110-54-3	
14,52	1,36	Octanal	Octanal	aldehído	000124-13-0	
37,45	0,96	3,7-Dimethylocta-2,6-dienal	Geranial	terpeno	005392-40-5	
31,41	0,94	Octan-1-ol	1 Octanol	alcohol	000111-87-5	
13,19	0,90	3-Methylene-6-(1-methylethyl)ciclohexene	Felandreno	monoterpeno	00555-10-2	
36,14	1,21	2-(4-Methyl-1-cyclohex-3-enil)propan-2-ol	1-Hexadecanol	alcohol	000098-55-5	
9,53	2,15	Decano	Decano	alcano	000124-18-5	

Fuente: datos experimentales, Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, II/UVG.

## 5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En el presente estudio a nivel de tesis, se evaluó el rendimiento de extracción del aceite esencial de la cáscara de naranja Washington Navel (*Citrus sinensis* var. Washington Navel), determinando las propiedades fisicoquímicas, densidad e índice de refracción, realizando la composición química en las muestras de aceite. La materia prima provino del municipio de Alotenango del departamento de Sacatepéquez, la extracción se realizó mediante el método de hidrodestilación a escala laboratorio y el método de destilación por arrastre con vapor a escala planta piloto.

Se preparó la materia prima que consistió en extraer la cáscara de la naranja Washington Navel y utilizar diferentes tiempos de extracción que fueron de 60, 120, 180 y 270 minutos para cada escala, dentro de las instalaciones del Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales (LIEXVE), Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC.

En la tabla XXXVII, se observa el rendimiento de la extracción del aceite esencial de la cáscara de naranja Washington Navel por el método de hidrodestilación a escala laboratorio, para 4 tiempos diferentes de extracción. Gráficamente se representa en la figura 12, observando los 4 rendimientos extractivos en función de los tiempos de extracción, indicando que el rendimiento de extracción del aceite esencial aumenta con respecto al incremento en los tiempos de extracción.

El mayor rendimiento extractivo a escala laboratorio fue de  $1,30 \pm 6,74E-4$  por ciento, que corresponde a un tiempo de extracción de 240 minutos, indicando que es el tiempo óptimo de extracción.

En la tabla XXXVIII, se observa el rendimiento de la extracción del aceite esencial de la cáscara de naranja Washington Navel por el método de destilación por arrastre con vapor a escala planta piloto, utilizando 4 tiempos diferentes de extracción. Gráficamente se representa en la figura 13, observando los 4 rendimientos extractivos en función de los tiempos de extracción, indicando que el rendimiento extractivo del aceite esencial aumenta con respecto al incremento en los tiempos de extracción.

El mayor rendimiento extractivo a escala planta piloto fue de  $0,102 \pm 4,00E-3$  por ciento, que corresponde a un tiempo de extracción de 240 minutos, indicando que es el tiempo óptimo de extracción.

Al comparar las tablas XXXVII y XXXVIII, se determinó que en las dos escalas los rendimientos extractivos aumentan al incrementar los tiempos de extracción, que ambos casos los máximos rendimientos fueron en un tiempo de 240 minutos, se puede observar que el rendimiento extractivo a escala laboratorio fue mayor que el rendimiento extractivo a escala planta piloto.

En las tablas XXVI y XXVIII, se registran los resultados del análisis estadístico para el rendimiento extractivo a escala laboratorio y escala planta piloto, evaluando si existe diferencia significativa entre el rendimiento extractivo en función del tiempo de extracción. Se comparó el valor de F experimental calculada con el valor de F crítica, con un nivel de confianza de 95% se determinó que existe diferencia significativa entre el rendimiento extractivo y el tiempo de extracción. Indicando que el rendimiento extractivo posee una

dependencia en relación al tiempo de extracción utilizado en el estudio de investigación.

En las tablas XXXIX y XL, muestran los valores de la densidad de las muestras de aceite esencial de la cáscara de naranja Washington Navel a escala laboratorio y escala planta piloto, se calculó utilizando un picnómetro dando como resultado la relación de la masa y el volumen. La densidad en función del tiempo de extracción a escala laboratorio se encuentra en un rango de  $0,8691 \pm 1,12E-3$  a  $0,8733 \pm 3,79E-4$  g/mL y la densidad en función del tiempo de extracción a escala planta piloto se encuentra en un rango de  $0,8305 \pm 1,65E-2$  a  $0,8346 \pm 3,57E-3$  g/mL, indicando que la densidad del aceite esencial es baja y que no varía significativamente sus valores en las extracciones utilizando diferentes tiempos de extracción.

En las tablas XXX y XXXII, se registran los resultados del análisis estadístico para la densidad de las muestras de aceite esencial a escala laboratorio y escala planta piloto, evaluando si existe diferencia significativa entre la densidad en función del tiempo de extracción. Se comparó el valor de F experimental calculada con el valor de F crítica, con un nivel de confianza de 95 % se determinó que no existe diferencia significativa entre la densidad y el tiempo de extracción. Indicando que la densidad no posee una dependencia en relación al tiempo de extracción utilizado en este estudio.

Las tablas XLI y XLII, muestran los valores del índice de refracción de las muestras de aceite esencial de la cáscara de naranja Washington Navel a escala laboratorio y escala planta piloto. El índice de refracción en función del tiempo de extracción a escala laboratorio se encuentra en un rango de  $1,4791 \pm 0$  a  $1,4793 \pm 0$  y el índice de refracción en función del tiempo de extracción a escala planta piloto se encuentra en un rango de  $1,4788 \pm 3,60E-4$  a  $1,4790 \pm$

5,77E-5, indicando que el índice de refracción del aceite esencial no varía significativamente sus valores en las extracciones utilizando diferentes tiempos de extracción.

En las tablas XXXIV y XXXVI, se registran los resultados del análisis estadístico para el índice de refracción de las muestras de aceite esencial a escala laboratorio y escala planta piloto, evaluando si existe diferencia significativa entre el índice de refracción en función del tiempo de extracción. Se comparó el valor de F experimental calculada con el valor de F crítica, con un nivel de confianza de 95 % se determinó que no existe diferencia significativa entre el índice de refracción y el tiempo de extracción. Indicando que el índice de refracción no posee una dependencia en relación al tiempo de extracción utilizado en el estudio de investigación.

En las tablas XLIII, XLIV, XLV y XLVI, se muestra un listado de los componentes mayoritarios obtenidos en el análisis de cromatografía de gases acoplado a un espectrómetro de masas. Indicando el tiempo de retención, nombre IUPAC, nombre común, clasificación orgánica y el número CAS de los componentes químicos del aceite esencial de naranja Washington Navel a las muestras de aceites utilizando un tiempo de extracción de 60, 120, 180 y 270 minutos por el método de hidrodestilación a escala laboratorio.

Los componentes mayoritarios reportados son limoneno, linalool y mirceno, siendo estos los componentes representativos en el aceite esencial de naranja Washington Navel. Se observa que el componente mayoritario en el aceite esencial en los 4 diferentes tiempos de extracción es el d-limoneno. En los anexos del 1 al 14 se muestran los cromatogramas y los listados de todos los componentes detectados en las muestras de aceites esenciales.

En las tablas XLVII, XLVIII, XLIX y L, se muestra un listado de los componentes mayoritarios obtenidos en el análisis de cromatografía de gases acoplado a un espectrómetro de masas. Indicando el tiempo de retención, nombre IUPAC, nombre común, clasificación orgánica y el número CAS de los componentes químicos del aceite esencial de naranja Washington Navel a las muestras de aceites utilizando un tiempo de extracción de 60, 120, 180 y 270 minutos por el método de destilación por arrastre con vapor a escala planta piloto.

Los componentes mayoritarios reportados son limoneno, undecano, linalool y mirceno, siendo estos los componentes representativos en el aceite esencial de naranja Washington Navel. Se observa que el componente mayoritario en el aceite esencial en los 4 diferentes tiempos de extracción es el d-limoneno. En los anexos del 1 al 14 se muestran los cromatogramas y los listados de todos los componentes detectados en las muestras de aceites esenciales.



## CONCLUSIONES

1. En un tiempo de 240 minutos que corresponde al tiempo óptimo de extracción, se obtuvo el mayor rendimiento extractivo de aceite esencial de naranja Washington Navel a escala laboratorio que fue de  $1,30 \pm 6,74E-4$  %.
2. En un tiempo de 240 minutos, que corresponde al tiempo óptimo de extracción, se obtuvo el mayor rendimiento extractivo de aceite esencial de naranja Washington Navel a escala planta piloto fue de  $0,102 \pm 4,00E-3$  %.
3. Existe diferencia significativa en el rendimiento extractivo del aceite esencial de naranja Washington Navel en función del tiempo de extracción a escala laboratorio y a escala planta piloto.
4. No existe diferencia significativa en la densidad del aceite esencial de naranja Washington Navel en función del tiempo de extracción a escala laboratorio y a escala planta piloto.
5. No existe diferencia significativa en el índice de refracción del aceite esencial de naranja Washington Navel en función del tiempo de extracción a escala laboratorio y a escala planta piloto.

6. El componente mayoritario en el aceite esencial de naranja Washington Navel por el método de hidrodestilación a escala laboratorio en los diferentes tiempos de extracción fue el limoneno, que proporciona el olor característico de aceite cítrico.
  
7. El componente mayoritario en el aceite esencial de naranja Washington Navel por el método de destilación por arrastre con vapor directo a escala planta piloto en los diferentes tiempos de extracción fue el limoneno, que proporciona el olor característico de aceite cítrico.

## RECOMENDACIONES

1. Evaluar el rendimiento extractivo de aceite esencial de la cáscara de naranja Washington navel (*Citrus sinensis* var. Washington Navel) para tiempos mayores a 240 minutos, para determinar el tiempo óptimo de extracción.
2. Comparar el rendimiento extractivo de aceite esencial de la cáscara de naranja Washington Navel, con materia vegetal obtenida de diferentes departamentos de Guatemala.
3. Comparar el rendimiento extractivo de aceite esencial de la cáscara de naranja Washington Navel, con materia prima proveniente de un residuo agroindustrial.
4. Realizar un estudio acerca del aprovechamiento del subproducto hidrolato obtenido de la extracción de aceite esencial, analizando las diferentes formas en que se utilizaría en la industria nacional.



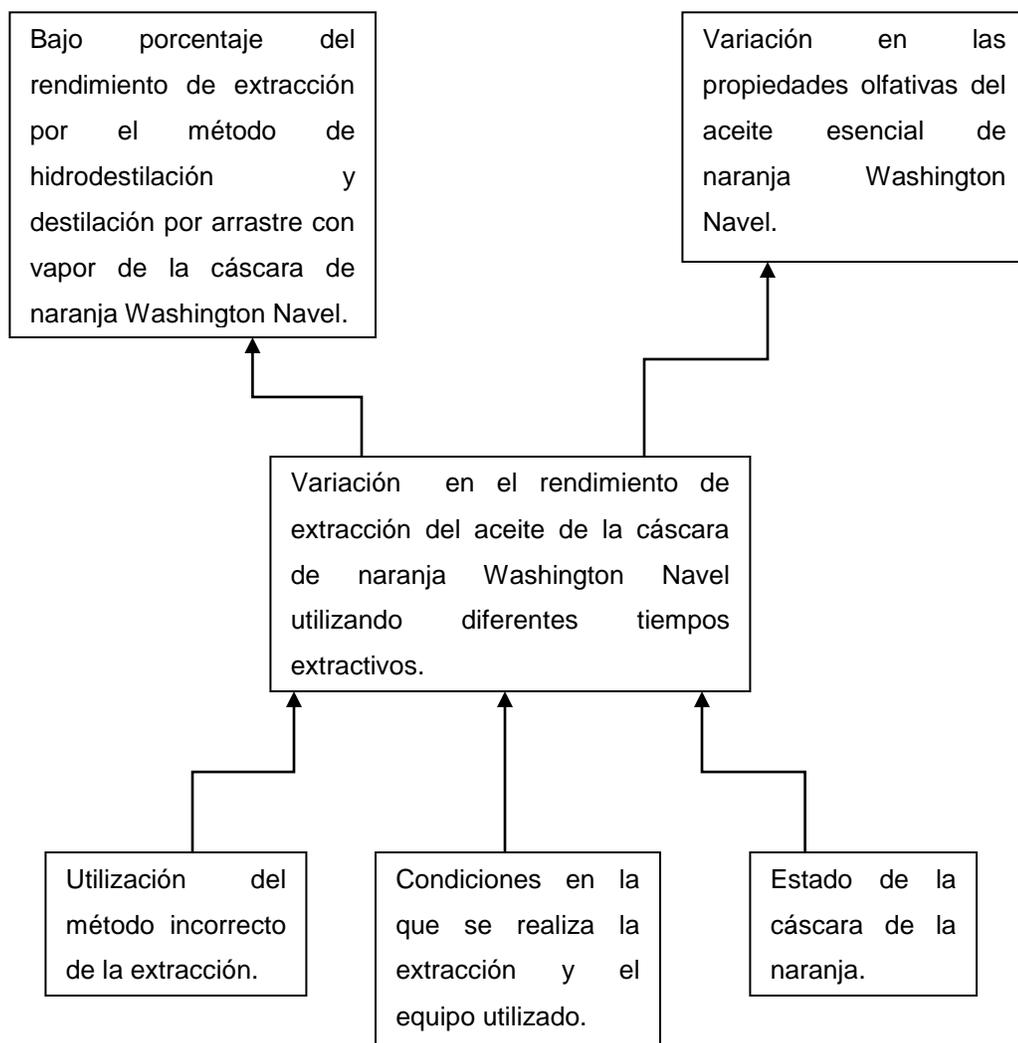
## BIBLIOGRAFÍA

1. QuimiNet. *Aceites esenciales: obtención y aplicaciones*. [en línea]. <<http://www.quiminet.com/articulos/aceites-esenciales-obtencion-y-aplicaciones-2676632.htm>>. [Consulta: 24 de abril de 2017].
2. ARRAÍZA BERMÚDEZ, María Paz. *Uso industrial de plantas aromáticas y medicinales*. [en línea]. <<http://ocw.upm.es/ingeniería-agroforestal/uso-industrial-de-plantas-aromaticas-y-medicinales/contenidos/material-de-clase/tema7.pdf>>. [Consulta: 24 de abril de 017].
3. Asociación Nacional del Café. *Cultivo de naranja*. [en línea]. <[http://anacafe.org/glifos/index.php?title=Cultivo\\_de\\_naranja](http://anacafe.org/glifos/index.php?title=Cultivo_de_naranja)>. [Consulta: 20 de abril de 2017].
4. BANDONI, Arnaldo. *Los recursos vegetales aromáticos en Latinoamérica: su aprovechamiento industrial para la producción de aromas y sabores*. 2a. ed. Buenos Aires, Argentina: Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, 2003. 418 p.
5. MONTGOMERY, Douglas C. *Diseño y análisis de experimentos*. 2a ed. México D.F.: Limusa, 2004. ISBN 968-18-6156-6. 681 p.

6. CHAKRABARTY, MONINDRAMOHAN. *Chemistry and Technology of Oils and Fats*. Nueva Dehli, India: Allied Publishers PVT, LTD, 2003. ISBN 81-7764-495-5. 760 p.
7. ESTRADA JIRON, Joana Betzabe. *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. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2015. 168 p.
8. Infoagro. *El cultivo de las naranjas*. [en línea]. <<http://www.infoagro.com/citricos/naranja.htm>>. [Consulta: 24 de abril de 2017].
9. LÓPEZ O. Mildred Carmina. *Extracción y caracterización preliminar del aceite esencial del protium copal, a nivel laboratorio*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Universidad de San Carlos, Facultad de Ingeniería, 1999. 85 p.
10. LOSSI NISTHAL, Estefani Ana Marcela. *Obtención de aceite esencial del flavelo del fruto del naranjo dulce (Citrus Sinensis L.) tipo blanca, variedad valencia, empleando el método de destilación por arrastre de vapor a nivel laboratorio, en función de diferentes tipos de corte y contenido de humedad*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2012. 146 p.

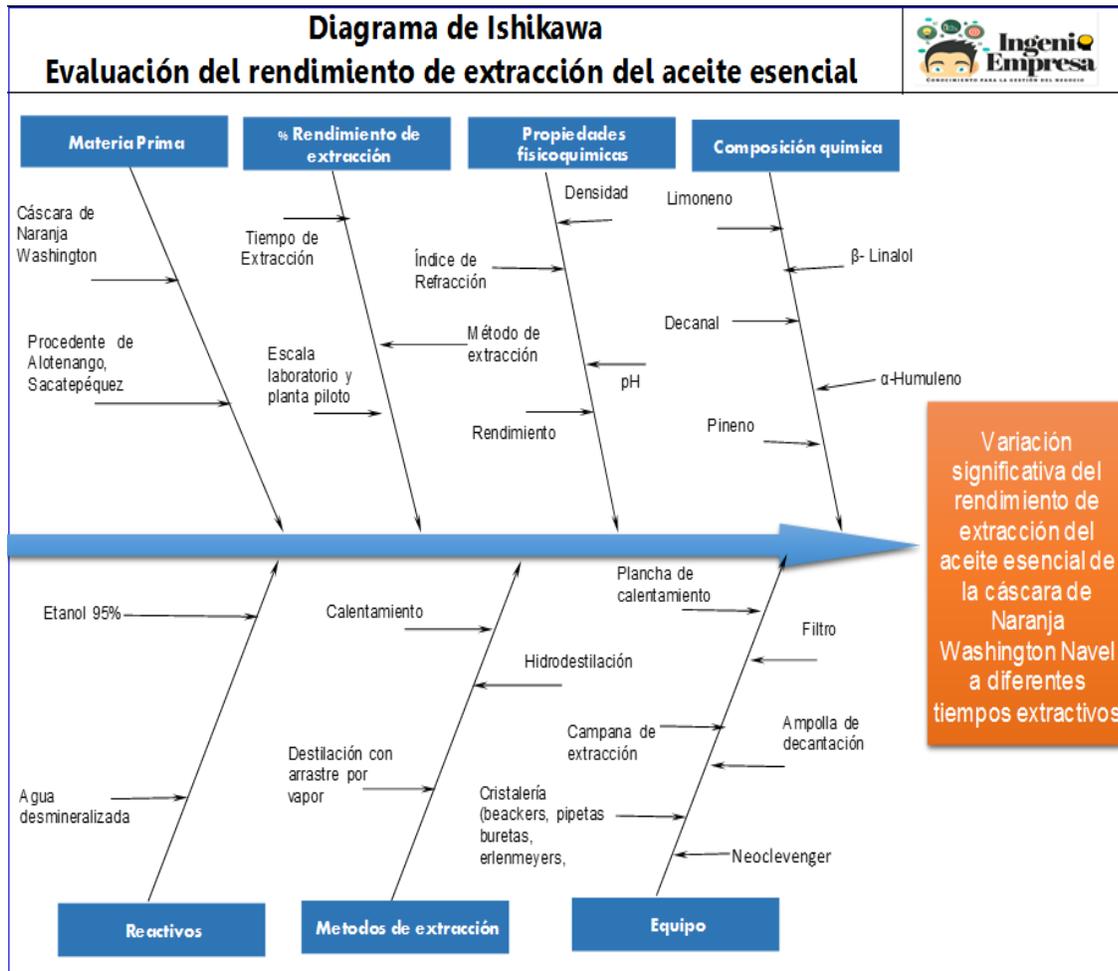
# APÉNDICES

## Apéndice 1. **Árbol de problemas**



Fuente: elaboración propia.

## Apéndice 2. Diagrama de Ishikawa



Fuente: elaboración propia.

### Apéndice 3. Requisitos académicos

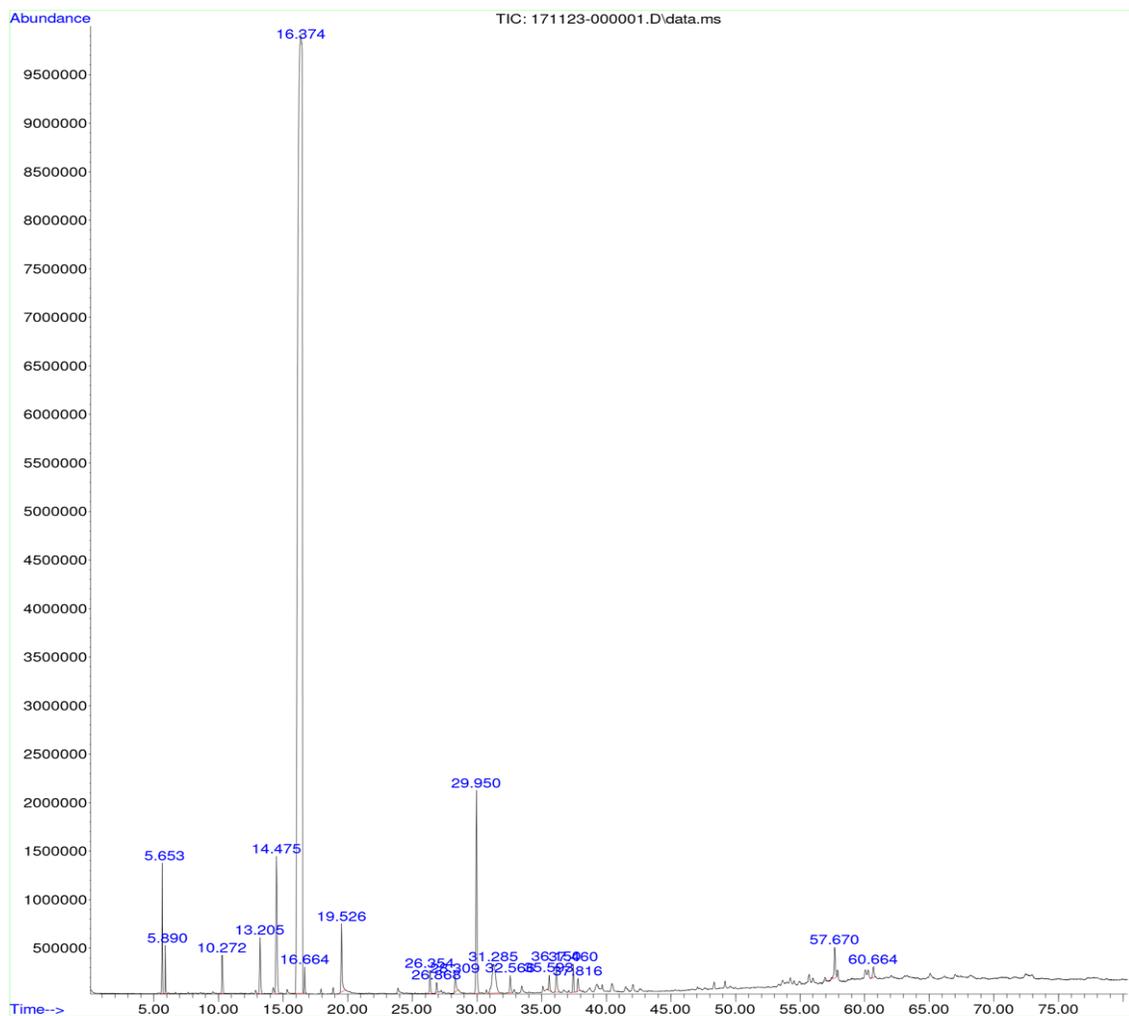
Área	Curso	Tema
Química	Química 4	Disoluciones
	Química Orgánica	hidrocarburos terpénicos
Operaciones Unitarias	Transferencia de calor IQ3	Transferencia de calor
	Transferencia de masa IQ4	Destilación
	Transferencia de masa IQ4	Extracción líquido-líquido
	Laboratorio de ingeniería química 2	Manejo de la caldera
Fisicoquímica	Termodinámica 3	Leyes de la termodinámica
	Laboratorio de fisicoquímica 2	Espectrofotometría
Especialización	Extracciones industriales	Extracción de aceite esencial
Ciencias básicas y complementarias	Estadística	Análisis de datos
	Ingeniería económica	Presupuesto

Fuente: elaboración propia.



## ANEXOS

Anexo 1. **Cromatograma del aceite esencial de naranja Washington Navel (*Citrus sinensis* var. Washington Navel), utilizando un tiempo de extracción de 60 min., a escala laboratorio**



Fuente: Cromatógrafo de gases, Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, II/UVG.

Anexo 2. **Base de datos para la identificación de los componentes mayoritarios del aceite esencial de naranja Washington Navel (*Citrus sinensis* var. Washington Navel), utilizando un tiempo de extracción de 60 min., a escala laboratorio**

Unknown Spectrum: Apex

Integration Events: ChemStation Integrator - autointA.e

Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#
1	5.655	1.23	C:\Database\NIST05a.L		
			Hexane	1792	000110-54-3 91
			Hexane	1790	000110-54-3 91
			Hexane	1791	000110-54-3 59
2	5.891	0.46	C:\Database\NIST05a.L		
			Cyclopentane, methyl-	1465	000096-37-7 91
			Cyclopentane, methyl-	1468	000096-37-7 91
			Cyclopentane, methyl-	1467	000096-37-7 90
3	10.272	0.62	C:\Database\NIST05a.L		
			1S-.alpha.-Pinene	15185	007785-26-4 96
			1R-.alpha.-Pinene	15186	007785-70-8 96
			Bicyclo[3.1.1]hept-2-ene, 2,6,6-trimethyl-, (+/-)-	15376	002437-95-8 95
4	13.206	1.05	C:\Database\NIST05a.L		
			.beta.-Phellandrene	15200	000555-10-2 94
			Bicyclo[3.1.0]hex-2-ene, 4-methyl-	15374	028634-89-1 91
			1-(1-methylethyl)-		
			Bicyclo[3.1.0]hexane, 4-methylene-	15379	003387-41-5 91
			1-(1-methylethyl)-		
5	14.475	2.96	C:\Database\NIST05a.L		
			.beta.-Myrcene	15180	000123-35-3 86
			Bicyclo[3.1.0]hex-2-ene, 4-methyl-	15374	028634-89-1 80
			1-(1-methylethyl)-		
			.beta.-Myrcene	15177	000123-35-3 70
6	16.376	81.94	C:\Database\NIST05a.L		
			Limoneno	15165	005989-27-5 94
			Limonene	15153	000138-86-3 91
			Limonene	15154	000138-86-3 91

## Continuación del anexo 2.

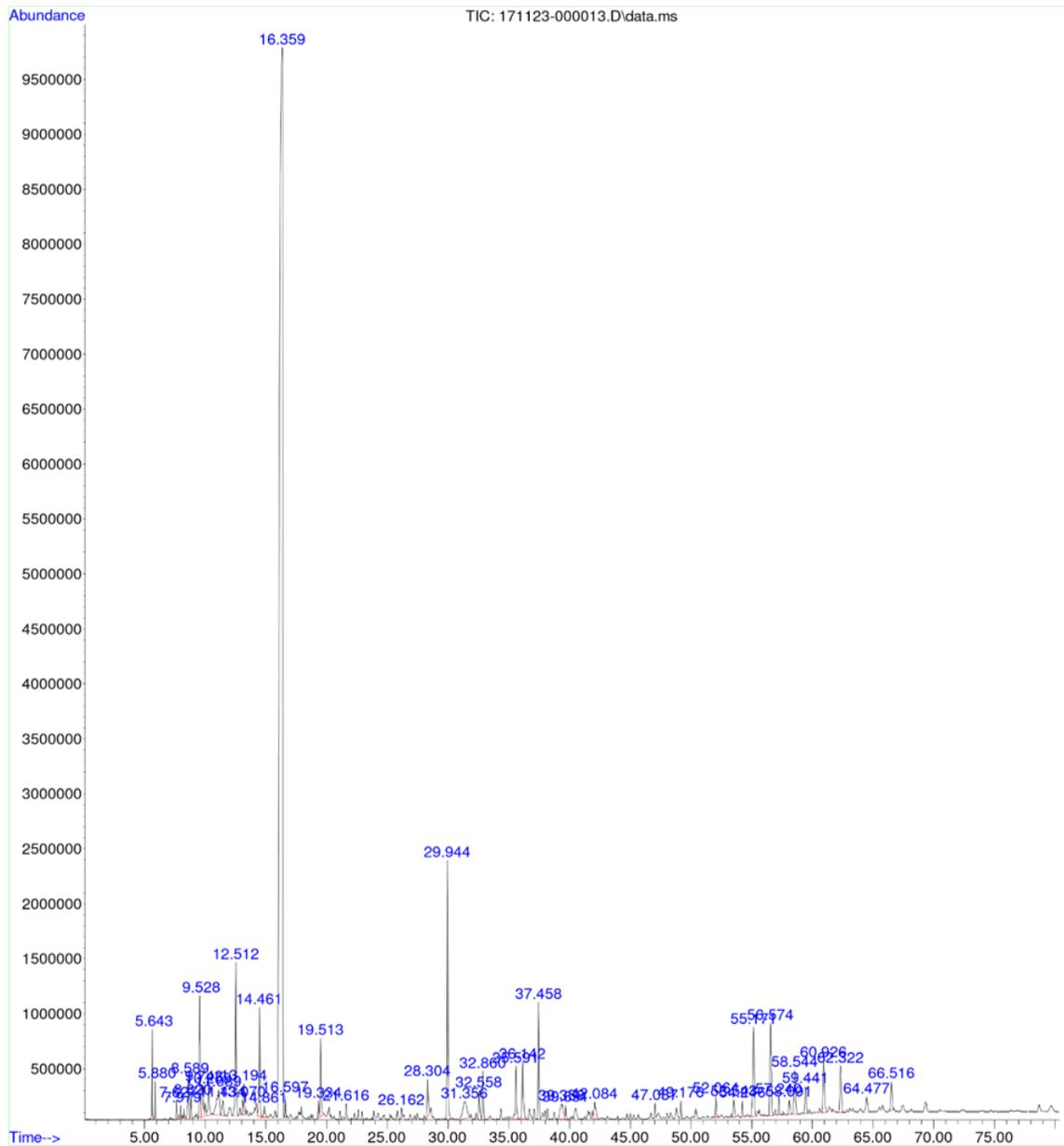
7	16.663	0.33	C:\Database\NIST05a.L			
			.beta.-Phellandrene	15201	000555-10-2	91
			.beta.-Phellandrene	15200	000555-10-2	91
			Bicyclo[3.1.0]hex-2-ene, 4-methyl-	15374	028634-89-1	91
			1-(1-methylethyl)-			
8	19.524	1.32	C:\Database\NIST05a.L			
			Octanal	12031	000124-13-0	97
			Octanal	12028	000124-13-0	96
			Octanal	12030	000124-13-0	91
9	26.356	0.41	C:\Database\NIST05a.L			
			Limonene oxide, cis-	24056	004680-24-4	96
			7-Oxabicyclo[4.1.0]heptane, 1-meth	24329	001195-92-2	91
			yl-4-(1-methylethenyl)-			
			7-Oxabicyclo[4.1.0]heptane, 1-meth	24330	001195-92-2	62
			yl-4-(1-methylethenyl)-			
10	26.870	0.18	C:\Database\NIST05a.L			
			Limonene oxide, trans-	24071	006909-30-4	91
			Limonene oxide, trans-	24063	006909-30-4	83
			1H-Pyrrole, 2,3,5-trimethyl-	5464	002199-41-9	59
11	28.307	0.40	C:\Database\NIST05a.L			
			Decanal	27022	000112-31-2	91
			Decanal	27019	000112-31-2	91
			Decanal	27023	000112-31-2	87
12	29.949	3.99	C:\Database\NIST05a.L			
			1,6-Octadien-3-ol, 3,7-dimethyl-	25636	000078-70-6	94
			1,6-Octadien-3-ol, 3,7-dimethyl-	25643	000078-70-6	90
			Tricyclo[2.2.1.0(2,6)]heptane, 1,3	15345	000488-97-1	55
			,3-trimethyl-			
13	31.286	2.06	C:\Database\NIST05a.L			
			1-Octanol	13203	000111-87-5	91
			1-Octanol	13196	000111-87-5	91
			1-Octanol	13195	000111-87-5	91
14	32.565	0.37	C:\Database\NIST05a.L			
			3-Cyclohexen-1-ol, 4-methyl-1-(1-m	25781	020126-76-5	95
			ethylethyl)-, (R)-			
			3-Cyclohexen-1-ol, 4-methyl-1-(1-m	25750	000562-74-3	95
			ethylethyl)-			
			3-Cyclohexen-1-ol, 4-methyl-1-(1-m	25745	000562-74-3	95
			ethylethyl)-			

Continuación del anexo 2.

15	35.594	0.27	C:\Database\NIST05a.L				
			2,6-Octadienal, 3,7-dimethyl-, (Z)	24148	000106-26-3	95	
			2,6-Octadienal, 3,7-dimethyl-	24106	005392-40-5	72	
			3-Ethyl-1,5-octadiene	16314	1000114-87-7	46	
16	36.149	0.65	C:\Database\NIST05a.L				
			3-Cyclohexene-1-methanol, .alpha.,	25788	000098-55-5	90	
			.alpha.4-trimethyl-				
			3-Cyclohexene-1-methanol, .alpha.,	25797	000098-55-5	87	
			.alpha.4-trimethyl-				
			p-menth-1-en-8-ol	25545	1000157-89-9	87	
17	37.459	0.49	C:\Database\NIST05a.L				
			2,6-Octadienal, 3,7-dimethyl-	24109	005392-40-5	96	
			2,6-Octadienal, 3,7-dimethyl-, (E)	24141	000141-27-5	95	
			2,6-Octadienal, 3,7-dimethyl-	24108	005392-40-5	94	
18	37.818	0.23	C:\Database\NIST05a.L				
			2-Cyclohexen-1-one, -methyl-5-(1-	22926	006485-40-1	97	
			methylethenyl)-, (R)-				
			2-Cyclohexen-1-one,2-methyl-5-(1-	22931	002244-16-8	96	
			methylethenyl)-, (S)-				
			2-Cyclohexen-1-one,2-methyl-5-(1-	22932	002244-16-8	96	
			methylethenyl)-, (S)-				
19	57.669	0.75	C:\Database\NIST05a.L				
			3,7-Nonadien-2-ol, 4,8-dimethyl-	34878	067845-50-5	32	
			Hexadeca-2,6,10,14-tetraen-1-ol,	3118744	007614-21-3	25	
			,7,11,16-tetramethyl-, (E,E,E)-				
			2,6-Octadiene, 2,7-dimethyl-	16336	016736-42-8	22	
20	60.666	0.28	C:\Database\NIST05a.L				
			Cyclopropanecarboxaldehyde,2-meth	33479	097231-35-1	42	
			yl-2-(4-methyl-3-pentenyl)-, trans				
			-(.+-.)-				
			5,9-Undecadien-2-one,6,10-dimethy	52822	003796-70-1	38	
			l-, (E)-				
			3,7-Nonadien-2-ol, 4,8-dimethyl-	34878	067845-50-5		

Fuente: Cromatógrafo de gases, Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, II/UVG.

Anexo 3. **Cromatograma del aceite esencial de naranja Washington Navel (*Citrus sinensis* var. Washington Navel), utilizando un tiempo de extracción de 60 min., a escala planta piloto**



Fuente: Cromatógrafo de gases, Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, II/UVG.

**Anexo 4. Base de datos para la identificación de los componentes mayoritarios del aceite esencial de naranja Washington Navel (*Citrus sinensis* var. Washington Navel), utilizando un tiempo de extracción de 60 min., a escala planta piloto**

Unknown Spectrum: Apex

Integration Events: ChemStation Integrator - autointA.e

Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#
1	5.641	0.71	C:\Database\NIST05a.L		
			Hexane	1792	000110-54-3 91
			Hexane	1790	000110-54-3 91
			Hexane	1791	000110-54-3 81
2	5.878	0.30	C:\Database\NIST05a.L		
			Cyclopentane, methyl-	1468	000096-37-7 94
			Cyclopentane, methyl-	1467	000096-37-7 90
			Cyclopentane, methyl-	1465	000096-37-7 86
3	7.629	0.22	C:\Database\NIST05a.L		
			Nonane	12267	000111-84-2 95
			Nonane	12268	000111-84-2 95
			Nonane	12269	000111-84-2 81
4	7.979	0.15	C:\Database\NIST05a.L		
			Octane, 2,6-dimethyl-	18510	002051-30-1 94
			Octane, 2,6-dimethyl-	18527	002051-30-1 94
			Octane, 2,6-dimethyl-	18522	002051-30-1 94
5	8.589	0.73	C:\Database\NIST05a.L		
			Decane	18485	000124-18-5 72
			Decane	18486	000124-18-5 72
			Nonane, 4-methyl-	18501	017301-94-9 64
6	8.821	0.32	C:\Database\NIST05a.L		
			Nonane, 3-methyl-	18496	005911-04-6 95
			Nonane, 3-methyl-	18500	005911-04-6 91
			Nonane, 3-methyl-	18499	005911-04-6 81
7	9.526	2.15	C:\Database\NIST05a.L		
			Decane	18488	000124-18-5 96
			Decane	18485	000124-18-5 95
			Decane	18486	000124-18-5 94

#### Continuación del anexo 4.

8	9.744	0.77	C:\Database\NIST05a.L			
			Decane, 4-methyl-	27248	002847-72-5	87
			Decane, 4-methyl-	27247	002847-72-5	80
			Decane, 2,6,7-trimethyl-	46146	062108-25-2	64
9	10.258	0.66	C:\Database\NIST05a.L			
			.alpha.-Pinene	15178	000080-56-8	95
			1S-.alpha.-Pinene	15185	007785-26-4	95
			1R-.alpha.-Pinene	15186	007785-70-8	95
10	11.090	1.23	C:\Database\NIST05a.L			
			Undecane, 6-ethyl-	46094	017312-60-6	64
			2-Ethylhexyl mercaptoacetate	59287	007659-86-1	64
			Dodecane, 2,7,10-trimethyl-	66079	074645-98-0	64
11	11.436	0.43	C:\Database\NIST05a.L			
			Decane, 3-methyl-	27251	013151-34-3	95
			Decane, 3-methyl-	27243	013151-34-3	87
			Nonane, 5-(1-methylpropyl)-	46171	062185-54-0	53
12	12.514	2.63	C:\Database\NIST05a.L			
			Undecane	27236	001120-21-4	97
			Undecane	27238	001120-21-4	93
			Undecane	27237	001120-21-4	91
13	13.069	0.20	C:\Database\NIST05a.L			
			Oxalic acid,cyclobutyl tridecy	1140133	1000309-70-4	49
			ster			
			Nonane, 1-iodo-	95058	004282-42-2	46
			Oxalic acid,cyclobutyloctadecy	1170195	1000309-70-8	43
			ester			
14	13.192	0.49	C:\Database\NIST05a.L			
			Bicyclo[3.1.0]hexane, 4-methylene-	15378	003387-41-5	94
			1-(1-methylethyl)-			
			.beta.-Phellandrene	15200	000555-10-2	91
			Bicyclo[3.1.0]hex-2-ene, 4-methyl-	15374	028634-89-1	91
			1-(1-methylethyl)-			
15	14.461	1.90	C:\Database\NIST05a.L			
			.beta.-Myrcene	15177	000123-35-3	76
			Bicyclo[3.1.0]hex-2-ene, 4-methyl-	15374	028634-89-1	49
			1-(1-methylethyl)-			
			.beta.-Pinene	15171	000127-91-3	42
16	14.861	0.29	C:\Database\NIST05a.L			
			Undecane, 3-methyl-	36440	001002-43-3	83
			Decane, 3,8-dimethyl-	36462	017312-55-9	81
			Undecane, 3-methyl-	36448	001002-43-3	64

#### Continuación del anexo 4.

17	16.358	58.71	C:\Database\NIST05a.L				
			Limoneno		15165	005989-27-5	94
			Limonene		15153	000138-86-3	91
			Limonene		15154	000138-86-3	91
18	16.599	0.24	C:\Database\NIST05a.L				
			Bicyclo[3.1.0]hex-2-ene, 4-methyl-	15374	028634	89-1	94
			1-(1-methylethyl)-				
			.beta.-Phellandrene		15201	000555-10-2	91
			.beta.-Phellandrene		15198	000555-10-2	91
19	19.333	0.24	C:\Database\NIST05a.L				
			Benzene, 1,2,3-trimethyl-		9125	000526-73-8	97
			Benzene, 1,3,5-trimethyl-		9116	000108-67-8	97
			Benzene, 1,3,5-trimethyl-		9123	000108-67-8	95
20	19.514	1.24	C:\Database\NIST05a.L				
			Octanal		12031	000124-13-0	97
			Octanal		12030	000124-13-0	91
			Octanal		12032	000124-13-0	78
21	21.616	0.41	C:\Database\NIST05a.L				
			Benzene, 1-ethyl-2-methyl-		9129	000611-14-3	60
			Benzene, 1,3,5-trimethyl-		9116	000108-67-8	60
			Benzene, 1-ethyl-4-methyl-		9131	000622-96-8	60
22	26.160	0.16	C:\Database\NIST05a.L				
			1-Tetradecene		54512	001120-36-1	98
			2-Tetradecene, (E)-		54521	035953-53-8	98
			Cyclopropane, nonyl-		34976	074663-85-7	97
23	28.302	0.75	C:\Database\NIST05a.L				
			Decanal		27023	000112-31-2	91
			Decanal		27019	000112-31-2	91
			Decanal		27021	000112-31-2	80
24	29.944	4.40	C:\Database\NIST05a.L				
			1,6-Octadien-3-ol, 3,7-dimethyl-	25636	000078	70-6	94
			1,6-Octadien-3-ol, 3,7-dimethyl-	25643	000078	70-6	90
			Tricyclo[2.2.1.0(2,6)]heptane,1,3	15345	000488	97-1	55
			,3-trimethyl-				
25	31.355	1.25	C:\Database\NIST05a.L				
			1-Octanol		13203	000111-87-5	91
			1-Octanol		13196	000111-87-5	91
			1-Octanol		13195	000111-87-5	91

#### Continuación del anexo 4.

26	32.560	0.58	C:\Database\NIST05a.L			
			3-Cyclohexen-1-ol,4-methyl-1-(1-m	25781	020126-76-5	96
			ethylethyl)-, (R)-			
			3-Cyclohexen-1-ol,4-methyl-1-(1-m	25784	020126-76-5	95
			ethylethyl)-, (R)-			
			3-Cyclohexen-1-ol,4-methyl-1-(1-m	25752	000562-74-3	94
			ethylethyl)-			
27	32.860	0.88	C:\Database\NIST05a.L			
			Caryophyllene	59797	000087-44-5	99
			Caryophyllene	59802	000087-44-5	95
			Bicyclo[7.2.0]undec-4-ene,4,11,11	59912	013877-93-5	95
			-trimethyl-8-methylene-			
28	35.589	1.02	C:\Database\NIST05a.L			
			2,6-Octadienal, 3,7-dimethyl-, (Z)	24148	000106-26-3	96
			2,6-Octadienal, 3,7-dimethyl-, (Z)	24150	000106-26-3	72
			2,6-Octadienal, 3,7-dimethyl-	24106	005392-40-5	72
29	36.144	1.33	C:\Database\NIST05a.L			
			3-Cyclohexene-1-methanol, .alpha.,	25797	000098-55-5	87
			.alpha.4-trimethyl-			
			3-Cyclohexene-1-methanol, .alpha.	25843	010482-56-1	86
			.alpha.,4-trimethyl-, (S)-			
			p-menth-1-en-8-ol	25545	1000157-89-9	86
30	37.459	1.78	C:\Database\NIST05a.L			
			2,6-Octadienal, 3,7-dimethyl-,E	24151	000141-27-5	95
			2,6-Octadienal, 3,7-dimethyl-	24102	005392-40-5	93
			2,6-Octadienal, 3,7-dimethyl-, (E)	24141	000141-27-5	93
31	39.356	0.86	C:\Database\NIST05a.L			
			Cyclodecane	17325	000293-96-9	93
			2-Dodecene, (Z)-	34955	007206-26-0	91
			Cyclooctane, 1,4-dimethyl-, cis-	17424	013151-99-0	90
32	39.692	0.25	C:\Database\NIST05a.L			
			1-Cyclohexene-1-carboxaldehyde,4-	22913	002111-75-3	98
			(1-methylethenyl)-			
			1-Cyclohexene-1-carboxaldehyde,4-	22914	002111-75-3	97
			(1-methylethenyl)-			
			1-Cyclohexene-1-carboxaldehyde,4-	22940	018031-40-8	96
			(1-methylethenyl)-, (S)-			
33	42.085	0.57	C:\Database\NIST05a.L			
			2,6-Octadien-1-ol, 3,7-dimethyl-	25634	000624-15-7	64
			Cyclopentane, bromo-	22042	000137-43-9	50

Continuación del anexo 4.

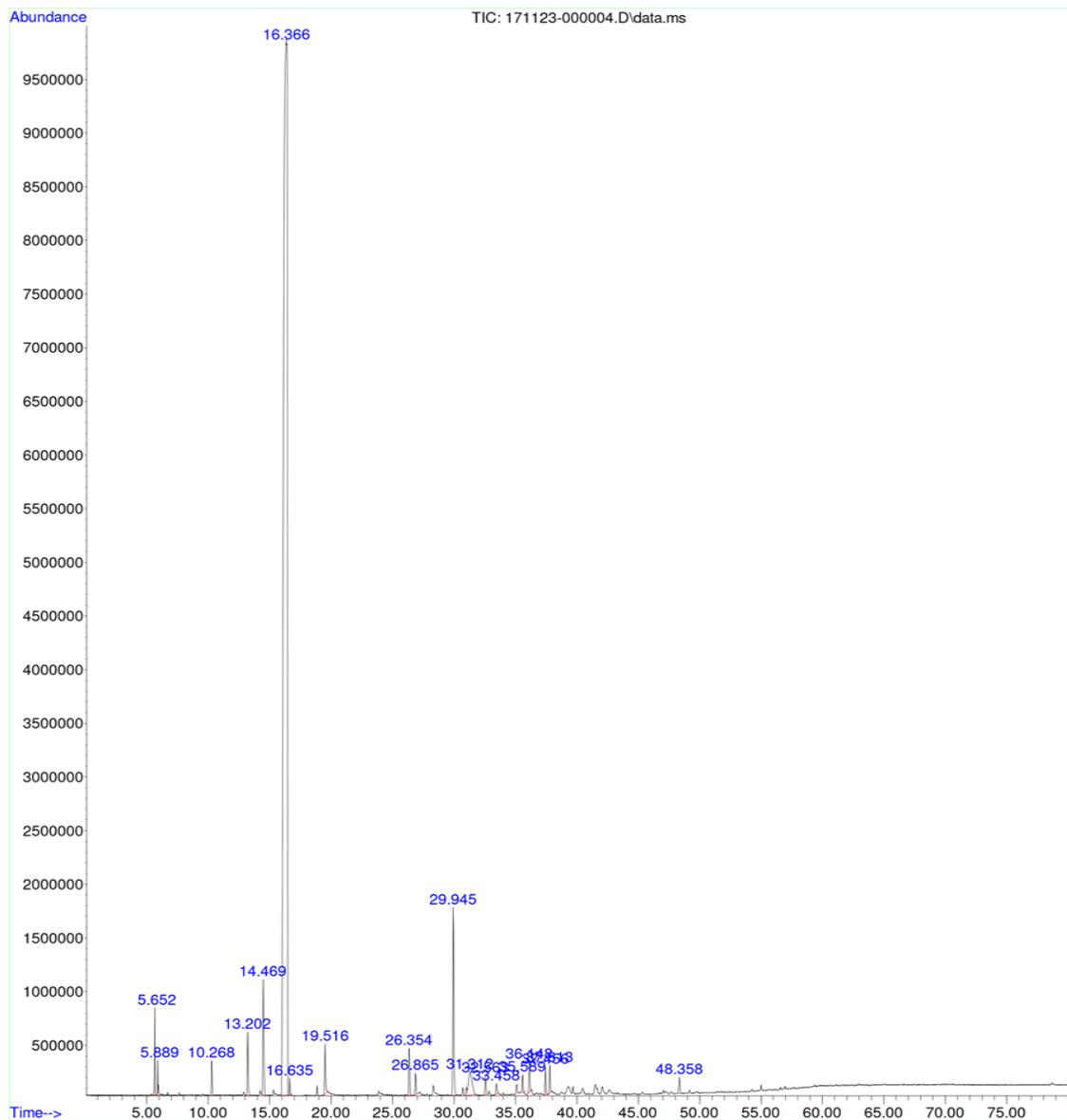
			2,6-Octadien-1-ol, 3,7-dimethyl-, formate, (E)-	44381	000105-86-2	50
34	47.038	0.22	C:\Database\NIST05a.L Caryophyllene oxide Caryophyllene oxide 4-Isopropyl-trans-bicyclo[4.3.0]- -nonen-8-one, (4R,S)-	71352 71353 241700	001139-30-6 001139-30-6 1000099-25-650	58 58 650
35	49.176	0.29	C:\Database\NIST05a.L 8-Heptadecene 1-Hexyl-1-nitrocyclohexane Norbornane, 2-isobutyl-	84038 66476 24393	054290-12-9 118252-09-8 018127-14-5	42 27 25
36	52.065	0.38	C:\Database\NIST05a.L Phenol, 2-methoxy-3-(2-propenyl)- Eugenol Eugenol	31835 31714 31717	001941-12-4 000097-53-0 000097-53-0	98 98 97
37	53.543	0.41	C:\Database\NIST05a.L Docosane Triacontane Heneicosane	131156 175876 122436	000629-97-0 000638-68-6 000629-94-7	94 91 91
38	54.248	0.23	C:\Database\NIST05a.L 2,6,9,11-Dodecatetraenal, 2,6,10-t rimethyl- Pyridine, 2-propyl- Hexanamide, 6-(2-oxocyclopentyl)- -phenyl-	69947 9271 N107587	004955-32-2 000622-39-9 1000262-73-443	80 47 443
39	55.171	2.36	C:\Database\NIST05a.L Tricosane Eicosane Eicosane	139232 113488 113489	000638-67-5 000112-95-8 000112-95-8	93 91 91
40	56.572	2.15	C:\Database\NIST05a.L Eicosane Nonadecane Heptadecane	113492 104272 85525	000112-95-8 000629-92-5 000629-78-7	98 97 97
41	57.241	0.26	C:\Database\NIST05a.L 2,6,9,11-Dodecatetraenal, 2,6,10-t rimethyl-, (E,E,E)- 1,2,4a,5,8,8a-Hexahydro-naphthalen Naphthalene, 1,2,3,5,8,8a-hexahydr o-	14416 14417	017909-77-2 1000190-92-160 062690-65-7	91 160 46

#### Continuación del anexo 4.

42	58.091	0.34	C:\Database\NIST05a.L			
			Heneicosane	122436	000629-94-7	98
			Heptadecane, 2, 6, 10, 15-tetramethyl	122447	054833-48-6	93
			Tricosane, 2-methyl-	146928	001928-30-9	83
43	58.542	1.09	C:\Database\NIST05a.L			
			Docosane	131157	000629-97-0	83
			Docosane, 11-decyl-	180011	055401-55-3	72
			Octacosane	169721	000630-02-4	70
44	59.442	0.64	C:\Database\NIST05a.L			
			Tetracosane	146921	000646-31-1	97
			Tetracosane	146923	000646-31-1	97
			Tetracosane	146922	000646-31-1	95
45	60.925	1.35	C:\Database\NIST05a.L			
			Tetracosane	146923	000646-31-1	95
			Docosane	131156	000629-97-0	93
			Tricosane, 2-methyl-	146930	001928-30-9	93
46	62.322	1.19	C:\Database\NIST05a.L			
			Nonadecane	104272	000629-92-5	95
			Tridecane, 7-hexyl-	104273	007225-66-3	94
			Heneicosane	122436	000629-94-7	91
47	64.478	0.48	C:\Database\NIST05a.L			
			Tetracosane	146922	000646-31-1	64
			Octacosane	169721	000630-02-4	60
			3-Methyltricosane	146925	1000131-18-2	60
48	66.516	0.72	C:\Database\NIST05a.L			
			Phytol	122409	000150-86-7	87
			Phytol	122408	000150-86-7	87
			Phytol	122406	000150-86-7	81

Fuente: Cromatógrafo de gases, Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, II/UVG.

Anexo 5. **Cromatograma del aceite esencial de naranja Washington Navel (*Citrus sinensis* var. Washington Navel), utilizando un tiempo de extracción de 120 min., a escala laboratorio**



Fuente: Cromatógrafo de gases, Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, II/UVG.

**Anexo 6. Base de datos para la identificación de los componentes mayoritarios del aceite esencial de naranja Washington Navel (*Citrus sinensis* var. Washington Navel), utilizando un tiempo de extracción de 120 min., a escala laboratorio**

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

Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#
1	5.650	0.86	C:\Database\NIST05a.L		
			Hexane	1790	000110-54-3 91
			Hexane	1792	000110-54-3 78
			Hexane	1791	000110-54-3 72
2	5.887	0.26	C:\Database\NIST05a.L		
			Cyclopentane, methyl-	1468	000096-37-7 94
			Cyclopentane, methyl-	1467	000096-37-7 91
			Cyclohexane	1432	000110-82-7 90
3	10.267	0.57	C:\Database\NIST05a.L		
			1R-.alpha.-Pinene	15186	007785-70-8 96
			1S-.alpha.-Pinene	15185	007785-26-4 96
			.alpha.-Pinene	15178	000080-56-8 95
4	13.201	1.19	C:\Database\NIST05a.L		
			.beta.-Phellandrene	15200	000555-10-2 94
			Bicyclo[3.1.0]hexane, 4-methylene	15379	003387-41-5 91
			1-(1-methylethyl)-		
			Cyclohexene, 4-methylene-1-(1-methylethyl)-	15324	000099-84-3 91
5	14.470	2.38	C:\Database\NIST05a.L		
			.beta.-Myrcene	15177	000123-35-3 91
			.beta.-Myrcene	15180	000123-35-3 86
			Bicyclo[3.1.0]hex-2-ene, 4-methyl-	15374	028634-89-1 80
			1-(1-methylethyl)-		
6	16.367	83.68	C:\Database\NIST05a.L		
			Limoneno	15165	005989-27-5 94
			Limonene	15153	000138-86-3 93
			Limoneno	15162	005989-27-5 89

Continuación del anexo 6.

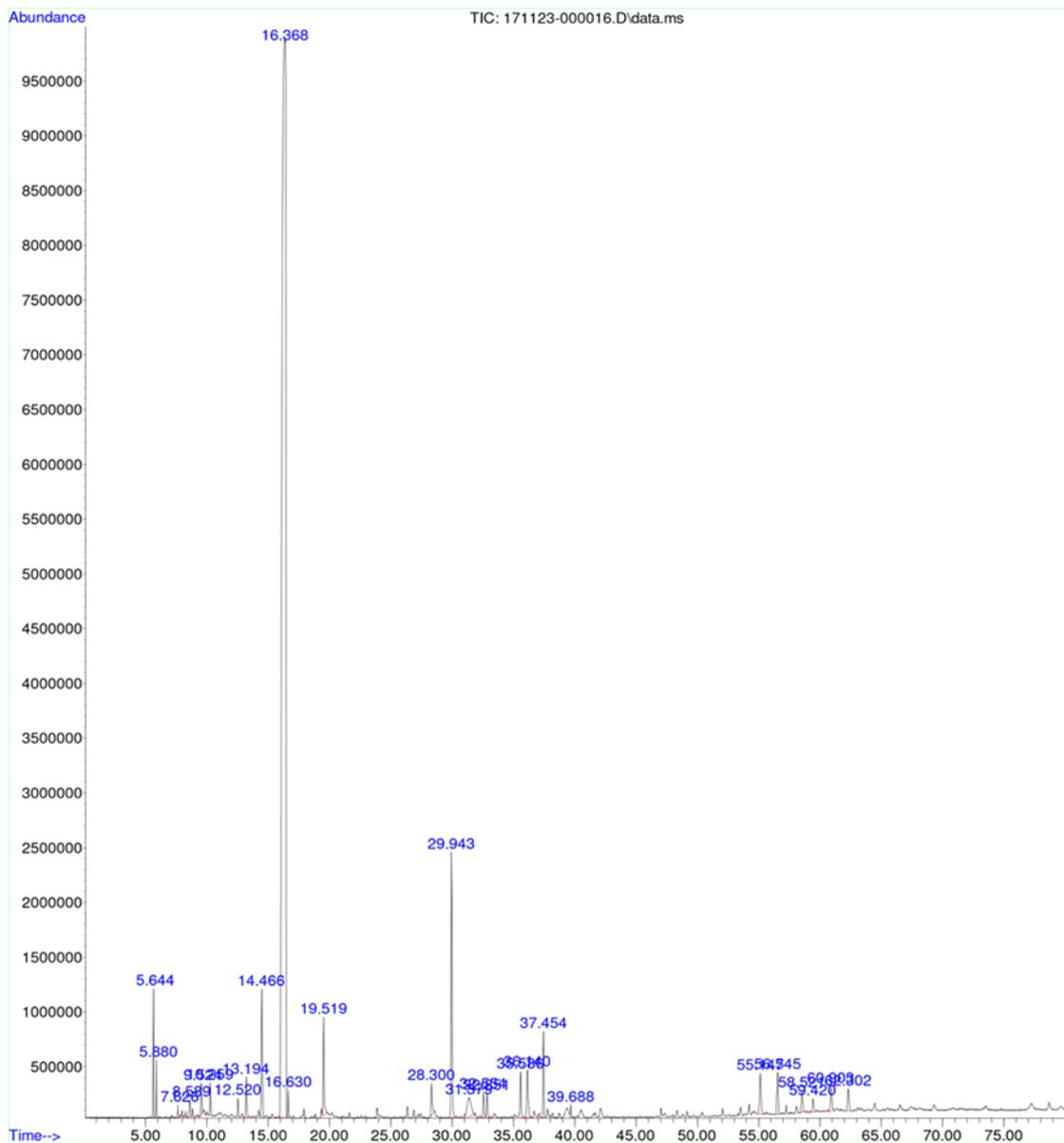
7	16.635	0.21	C:\Database\NIST05a.L			
			.beta.-Phellandrene	15198	000555-10-2	94
			Bicyclo[3.1.0]hex-2-ene,4-methyl	15374	028634-89-1	91
			1-(1-methylethyl)-			
			.beta.-Phellandrene	15200	000555-10-2	91
8	19.514	0.94	C:\Database\NIST05a.L			
			Octanal	12031	000124-13-0	97
			Octanal	12030	000124-13-0	91
			Octanal	12028	000124-13-0	76
9	26.356	0.86	C:\Database\NIST05a.L			
			Limonene oxide, cis-	24056	004680-24-4	96
			7-Oxabicyclo[4.1.0]heptane, 1-meth	24329	001195-92-2	91
			yl-4-(1-methylethenyl)-			
			7-Oxabicyclo[4.1.0]heptane,1-meth	24330	001195-92-2	62
			yl-4-(1-methylethenyl)-			
10	26.865	0.39	C:\Database\NIST05a.L			
			Limonene oxide, trans-	24071	006909-30-4	91
			Limonene oxide, trans-	24063	006909-30-4	90
			3-Cyclohexene-1-acetaldehyde, .alp	24272	029548-14-9	43
			ha.,4-dimethyl			
11	29.944	3.88	C:\Database\NIST05a.L			
			1,6-Octadien-3-ol, 3,7-dimethyl-	25643	000078-70-6	90
			1,6-Octadien-3-ol, 3,7-dimethyl-	25636	000078-70-6	81
			1,3,6-Octatriene, 3,7-dimethyl-, (	15283	003338-55-4	60
			Z)			
12	31.314	1.74	C:\Database\NIST05a.L			
			1-Octanol	13203	000111-87-5	91
			1-Octanol	13196	000111-87-5	91
			1-Octanol	13191	000111-87-5	90
13	32.564	0.42	C:\Database\NIST05a.L			
			3-Cyclohexen-1-ol,4-methyl-1-1-m	25781	020126-76-5	95
			ethylethyl)-, (R)-			
			3-Cyclohexen-1-ol,4-methyl-1-(1-m	25750	000562-74-3	95
			ethylethyl)-			
			3-Cyclohexen-1-ol,4-methyl-1-(1-m	25784	020126-76-5	94
			ethylethyl)-, (R)-			
14	33.456	0.26	C:\Database\NIST05a.L			
			2-Cyclohexen-1-ol,1-methyl-4-(1-m	24324	007212-40-0	83
			ethylethenyl)-, trans-			

## Continuación del anexo 6.

		trans-p-Mentha-2,8-dienol	24081	1000139-65-3	80
		Bicyclo[3.1.1]hept-3-en-2-ol, 4,6,6-trimethyl-	24230	000473-67-6	52
15	35.589	0.36 C:\Database\NIST05a.L			
		2,6-Octadienal, 3,7-dimethyl-, (Z)	24148	000106-26-3	95
		2,6-Octadienal, 3,7-dimethyl-	24106	005392-40-5	72
		2,6-Octadiene, 2,7-dimethyl-	16336	016736-42-8	43
16	36.149	0.63 C:\Database\NIST05a.L			
		3-Cyclohexene-1-methanol.alpha., .alpha.4-trimethyl-	25788	000098-55-5	90
		3-Cyclohexene-1-methanol,.alpha,.alpha.4-trimethyl-	25797	000098-55-5	87
		p-menth-1-en-8-ol	25545	1000157-89-9	86
17	37.454	0.49 C:\Database\NIST05a.L			
		2,6-Octadienal, 3,7-dimethyl-	24109	005392-40-5	96
		2,6-Octadienal, 3,7-dimethyl-,E	24141	000141-27-5	95
		2,6-Octadienal, 3,7-dimethyl-, (E)	24151	000141-27-5	95
18	37.814	0.51 C:\Database\NIST05a.L			
		2-Cyclohexen-1-one, 2-methyl-5-1-22931 methylethenyl)-, (S)-	002244-16-8		97
		2-Cyclohexen-1-one, 2-methyl-5-1-22932 methylethenyl)-, (S)-	002244-16-8		96
		2-Cyclohexen-1-one, 2-methyl-5-1-22926 methylethenyl)-, (R)-	006485-40-1		95
19	48.357	0.35 C:\Database\NIST05a.L			
		Octanoic Acid	20066	000124-07-2	91
		Octanoic Acid	20063	000124-07-2	86
		Octanoic Acid	20065	000124-07-2	64

Fuente: Cromatógrafo de gases, Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, II/UVG.

Anexo 7. **Cromatograma del aceite esencial de naranja Washington Navel (*Citrus sinensis* var. Washington Navel), utilizando un tiempo de extracción de 120 min., a escala planta piloto**



Fuente: Cromatógrafo de gases, Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, II/UVG.

**Anexo 8. Base de datos para la identificación de los componentes mayoritarios del aceite esencial de naranja Washington Navel (*Citrus sinensis* var. Washington Navel), utilizando un tiempo de extracción de 120 min., a escala planta piloto**

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

Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#
1	5.646	1.09	C:\Database\NIST05a.L Hexane Hexane Hexane	1790 1791 1792	000110-54-3 91 000110-54-3 90 000110-54-3 58
2	5.882	0.49	C:\Database\NIST05a.L Cyclopentane, methyl- Cyclopentane, methyl- Cyclopentane, methyl-	1468 1465 1467	000096-37-7 94 000096-37-7 91 000096-37-7 91
3	7.624	0.16	C:\Database\NIST05a.L Nonane Nonane Nonane	12268 12267 12269	000111-84-2 95 000111-84-2 94 000111-84-2 93
4	8.589	0.32	C:\Database\NIST05a.L Octane, 2,5-dimethyl- Decane Decane	18509 18486 18485	015869-89-3 76 000124-18-5 72 000124-18-5 72
5	9.526	0.58	C:\Database\NIST05a.L Decane Decane Decane	18488 18485 18486	000124-18-5 96 000124-18-5 95 000124-18-5 87
6	10.258	0.48	C:\Database\NIST05a.L 1S-.alpha.-Pinene 1R-.alpha.-Pinene Bicyclo[3.1.1]hept-2-ene, 3,6,6-trimethyl-	15185 15186 15314	007785-26-4 96 007785-70-8 96 004889-83-2 95
7	12.519	0.30	C:\Database\NIST05a.L Undecane Undecane Undecane	27236 27239 27240	001120-21-4 97 001120-21-4 95 001120-21-4 94

Continuación del anexo 8.

8	13.196	0.71	C:\Database\NIST05a.L				
			Bicyclo[3.1.0]hexane, 4-methylene-15379	003387-41-5	91		
			1-(1-methylethyl)-				
			Bicyclo[3.1.0]hex-2-ene, 4-methyl-15374	028634-89-1	91		
			1-(1-methylethyl)-				
			.beta.-Phellandrene	15200	000555-10-2	91	
9	14.465	2.38	C:\Database\NIST05a.L				
			.beta.-Myrcene	15177	000123-35-3	91	
			.beta.-Myrcene	15179	000123-35-3	91	
			Bicyclo[3.1.0]hex-2-ene, 4-methyl-15374	028634-89-1	80		
			1-(1-methylethyl)-				
10	16.367	75.28	C:\Database\NIST05a.L				
			Limoneno	15165	005989-27-5	94	
			Limonene	15153	000138-86-3	91	
			Limonene	15154	000138-86-3	91	
11	16.631	0.30	C:\Database\NIST05a.L				
			.beta.-Phellandrene	15201	000555-10-2	91	
			.beta.-Phellandrene	15200	000555-10-2	91	
			Bicyclo[3.1.0]hex-2-ene, 4-methyl-15374	028634-89-1	91		
			1-(1-methylethyl)-				
12	19.519	1.77	C:\Database\NIST05a.L				
			Octanal	12028	000124-13-0	97	
			Octanal	12031	000124-13-0	96	
			Octanal	12030	000124-13-0	91	
13	28.298	0.69	C:\Database\NIST05a.L				
			Decanal	27019	000112-31-2	91	
			Decanal	27022	000112-31-2	90	
			Decanal	27023	000112-31-2	83	
14	29.944	4.94	C:\Database\NIST05a.L				
			1,6-Octadien-3-ol, 3,7-dimethyl-	25636	000078-70-6	90	
			1,6-Octadien-3-ol, 3,7-dimethyl-	25643	000078-70-6	90	
			Tricyclo[2.2.1.0(2,6)]heptane,1,3	15345	000488-97-1	55	
			,3-trimethyl-				
15	31.377	1.46	C:\Database\NIST05a.L				
			1-Octanol	13203	000111-87-5	91	
			1-Octanol	13195	000111-87-5	91	
			1-Octanol	13196	000111-87-5	91	

## Continuación del anexo 8.

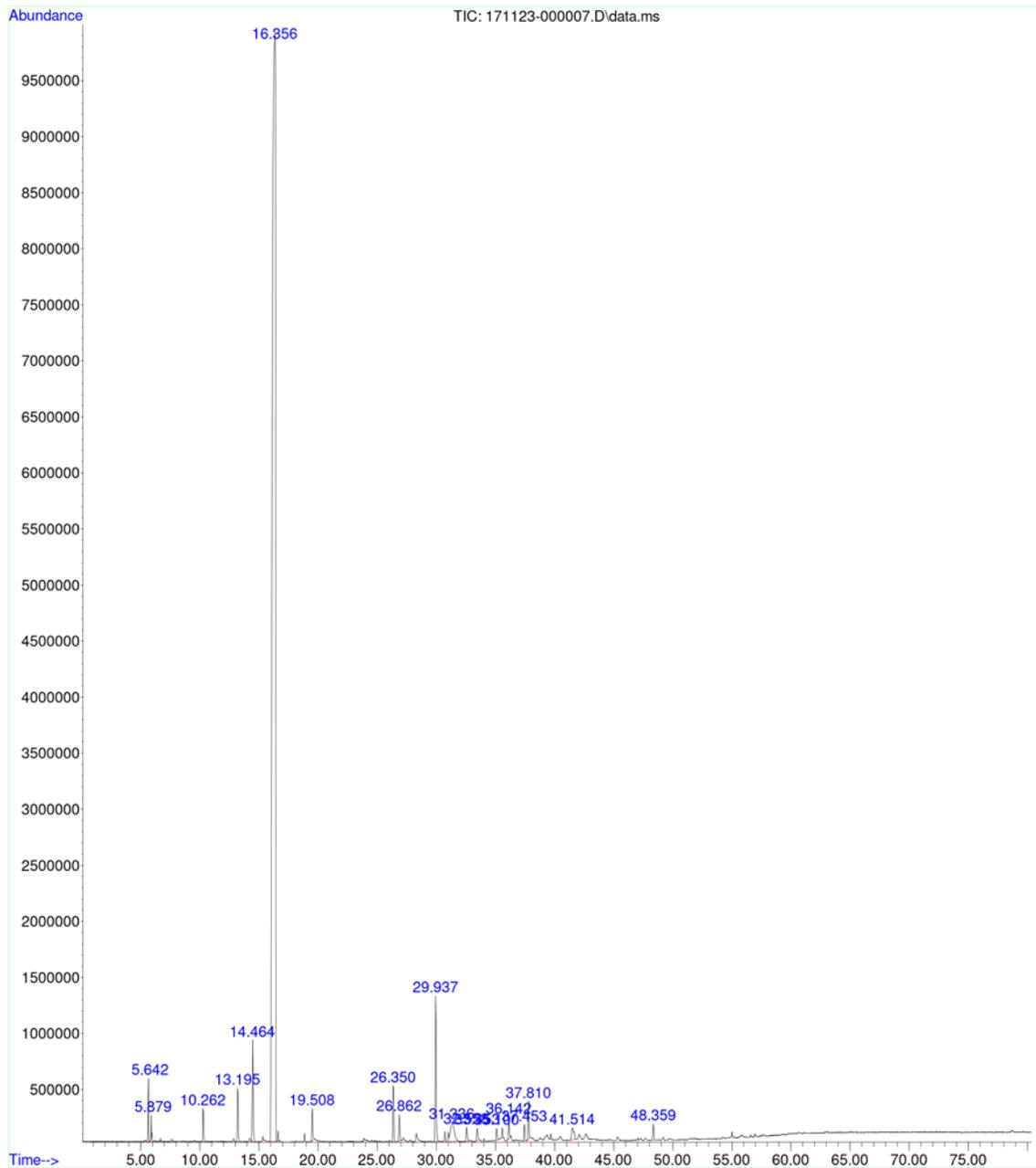
16	32.555	0.51	C:\Database\NIST05a.L				
			3-Cyclohexen-1-ol, 4-methyl-1-1-m	25784	020126-76-5	96	
			ethylethyl)-, (R)-				
			3-Cyclohexen-1-ol, 4-methyl-1-1-m	25781	020126-76-5	95	
			ethylethyl)-, (R)-				
			3-Cyclohexen-1-ol, 4-methyl-1-1-m	25750	000562-74-3	95	
			ethylethyl)-				
17	32.851	0.45	C:\Database\NIST05a.L				
			Caryophyllene	59797	000087-44-5	99	
			Caryophyllene	59802	000087-44-5	96	
			Bicyclo[7.2.0]undec-4-ene, 4, 11, 11	59912	013877-93-5	95	
			-trimethyl-8-methylene-				
18	35.585	0.89	C:\Database\NIST05a.L				
			2,6-Octadienal, 3,7-dimethyl-, (Z)	24148	000106-26-3	95	
			2,6-Octadienal, 3,7-dimethyl-	24106	005392-40-5	72	
			2-Isopropenyl-5-methylhex-4-enal	24118	075697-98-2	50	
19	36.140	1.21	C:\Database\NIST05a.L				
			3-Cyclohexene-1-methanol, .alpha.,	25797	000098-55-5	91	
			.alpha.4-trimethyl-				
			3-Cyclohexene-1-methanol, .alpha.,	25843	010482-56-1	90	
			.alpha.,4-trimethyl-, (S)-				
			p-menth-1-en-8-ol	25545	1000157-89-9	80	
20	37.454	1.40	C:\Database\NIST05a.L				
			2,6-Octadienal, 3,7-dimethyl-	24102	005392-40-5	96	
			2,6-Octadienal, 3,7-dimethyl-	24108	005392-40-5	90	
			2,6-Octadienal, 3,7-dimethyl-, (E)	24141	000141-27-5	90	
21	39.688	0.24	C:\Database\NIST05a.L				
			1-Cyclohexene-1-carboxaldehyde, 4-	22913	002111-75-3	97	
			(1-methylethenyl)-				
			1-Cyclohexene-1-carboxaldehyde, 4-	22914	002111-75-3	95	
			(1-methylethenyl)-				
			1-Cyclohexene-1-carboxaldehyde, 4-	22911	002111-75-3	95	
			(1-methylethenyl)-				
22	55.148	1.16	C:\Database\NIST05a.L				
			Docosane	131157	000629-97-0	97	
			Tricosane	139232	000638-67-5	95	
			Eicosane	113488	000112-95-8	95	

Continuación del anexo 8.

23	56.545	1.05	C:\Database\NIST05a.L			
			Tricosane	139232	000638-67-5	95
			Hexadecane	76093	000544-76-3	94
			Docosane	131156	000629-97-0	91
24	58.524	0.52	C:\Database\NIST05a.L			
			Eicosane	113490	000112-95-8	83
			Docosane	131155	000629-97-0	78
			Docosane	131157	000629-97-0	78
25	59.420	0.32	C:\Database\NIST05a.L			
			Tetracosane	146922	000646-31-1	96
			Tetracosane	146923	000646-31-1	95
			Tetracosane	146924	000646-31-1	93
26	60.902	0.68	C:\Database\NIST05a.L			
			Docosane	131157	000629-97-0	96
			Docosane	131156	000629-97-0	95
			Tetracosane	146923	000646-31-1	93
27	62.303	0.61	C:\Database\NIST05a.L			
			Pentacosane	153747	000629-99-2	89
			Eicosane	113492	000112-95-8	87
			Heptadecane	85525	000629-78-7	87

Fuente: Cromatógrafo de gases, Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, II/UVG.

Anexo 9. **Cromatograma del aceite esencial de naranja Washington Navel (*Citrus sinensis* var. Washington Navel), utilizando un tiempo de extracción de 180 min., a escala laboratorio**



Fuente: Cromatógrafo de gases, Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, II/UVG.

Anexo 10. **Base de datos para la identificación de los componentes mayoritarios del aceite esencial de naranja Washington Navel (*Citrus sinensis* var. Washington Navel), utilizando un tiempo de extracción de 180 min., a escala laboratorio**

Unknown Spectrum: Apex

Integration Events: ChemStation Integrator - autointA.e

Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#
1	5.641	0.68	C:\Database\NIST05a.L		
			Hexane	1790	000110-54-3 91
			Hexane	1791	000110-54-3 72
			Hexane	1792	000110-54-3 64
2	5.878	0.21	C:\Database\NIST05a.L		
			Cyclopentane, methyl-	1468	000096-37-7 91
			1H-Tetrazole, 5-methyl-	1304	004076-36-2 72
			Propane, 2-cyclopropyl-	1472	003638-35-5 64
3	10.263	0.58	C:\Database\NIST05a.L		
			1S-.alpha.-Pinene	15185	007785-26-4 96
			1R-.alpha.-Pinene	15186	007785-70-8 96
			.alpha.-Pinene	15178	000080-56-8 95
4	13.197	1.07	C:\Database\NIST05a.L		
			.beta.-Phellandrene	15200	000555-10-2 94
			Bicyclo[3.1.0]hexane, 4-methylene-	15379	003387-41-5 91
			1-(1-methylethyl)-		
			Cyclohexene, 4-methylene-1-1-meth	15324	000099-84-3 91
			ylethyl)-		
5	14.466	2.20	C:\Database\NIST05a.L		
			.beta.-Myrcene	15179	000123-35-3 76
			.beta.-Myrcene	15177	000123-35-3 70
			Pyridine, 2-propyl-	9267	000622-39-9 59
6	16.358	84.56	C:\Database\NIST05a.L		
			Limoneno	15165	005989-27-5 94
			Limonene	15153	000138-86-3 93
			Limonene	15154	000138-86-3 91
7	19.505	0.64	C:\Database\NIST05a.L		
			Octanal	12028	000124-13-0 97

Continuación del anexo 10.

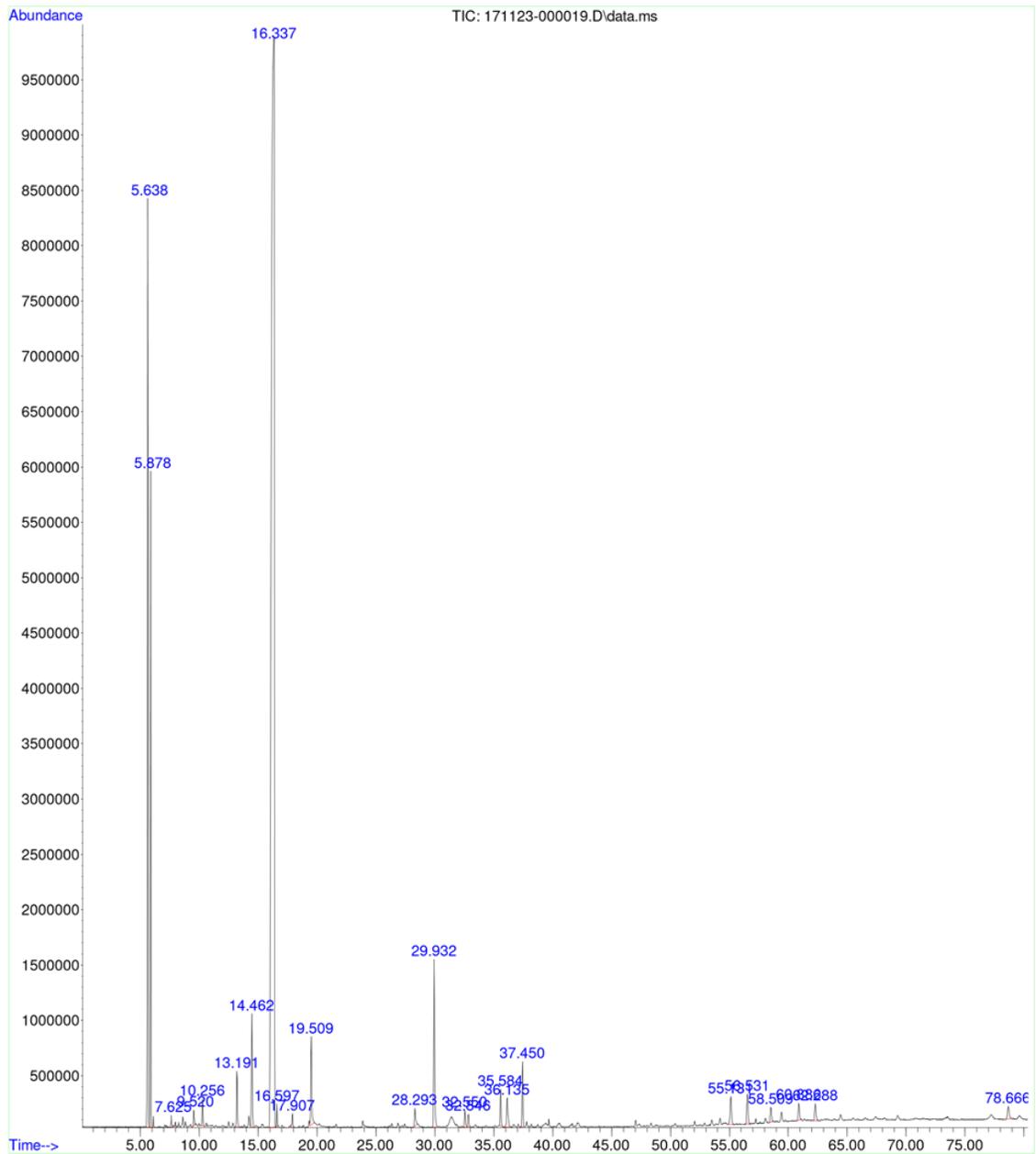
			Octanal	12031	000124-13-0	95
			Octanal	12030	000124-13-0	83
8	26.351	1.12	C:\Database\NIST05a.L			
			Limonene oxide, cis-	24056	004680-24-4	96
			7-Oxabicyclo[4.1.0]heptane, 1-meth	24329	001195-92-2	91
			yl-4-(1-methylethenyl)-			
			7-Oxabicyclo[4.1.0]heptane, 1meth	24330	001195-92-2	62
			yl-4-(1-methylethenyl)-			
9	26.861	0.53	C:\Database\NIST05a.L			
			Limonene oxide, trans-	24071	006909-30-4	91
			Limonene oxide, trans-	24063	006909-30-4	90
			1H-Pyrrole, 2,3,5-trimethyl-	5464	002199-41-9	50
10	29.935	3.28	C:\Database\NIST05a.L			
			1,6-Octadien-3-ol, 3,7-dimethyl-	25636	000078-70-6	94
			1,6-Octadien-3-ol, 3,7-dimethyl-	25643	000078-70-6	90
			1,6-Octadien-3-ol, 3,7-dimethyl,	107591	007149-26-0	58
			2-aminobenzoate			
11	31.336	1.63	C:\Database\NIST05a.L			
			1-Octanol	13203	000111-87-5	91
			1-Octanol	13196	000111-87-5	91
			1-Octanol	13195	000111-87-5	86
12	32.560	0.34	C:\Database\NIST05a.L			
			3-Cyclohexen-1-ol, 4-methyl-1-1-m	25784	020126-76-5	94
			ethylethyl)-, (R)-			
			3-Cyclohexen-1-ol, 4-methyl-1-1-m	25752	000562-74-3	94
			ethylethyl)-			
			3-Cyclohexen-1-ol, 4-methyl-1-1-m	25781	020126-76-5	94
			ethylethyl)-, (R)-			
13	33.452	0.34	C:\Database\NIST05a.L			
			trans-p-Mentha-2,8-dienol	24081	1000139-65-3	91
			2-Cyclohexen-1-ol, 1-methyl-4-1-m	24324	007212-40-0	86
			ethylethenyl)-, trans-			
			Limonene oxide, cis-	24056	004680-24-4	64
14	35.098	0.29	C:\Database\NIST05a.L			
			cis-p-Mentha-2,8-dien-1-ol	24090	022771-44-4	90
			2-Cyclohexen-1-ol, 1-methyl-4-(1-m	24324	007212-40-0	87
			ethylethenyl)-, trans-			

Continuación del anexo 10.

			Benzenamine, 3-ethoxy-	16159	000621-33-0	47
15	36.140	0.48	C:\Database\NIST05a.L			
			3-Cyclohexene-1-methanol, alpha,	25797	000098-55-5	87
			.alpha.4-trimethyl-			
			p-menth-1-en-8-ol	25545	1000157-89-9	86
			3-Cyclohexene-1-methanol, .alpha.,	25843	010482-56-1	80
			.alpha.,4-trimethyl-, (S)-			
16	37.454	0.32	C:\Database\NIST05a.L			
			2,6-Octadienal, 3,7-dimethyl-	24109	005392-40-5	96
			2,6-Octadienal,3,7-dimethyl-, (E)	24141	000141-27-5	95
			2,6-Octadienal, 3,7-dimethyl-	24108	005392-40-5	94
17	37.809	0.73	C:\Database\NIST05a.L			
			2-Cyclohexen-1-one,2-methyl-5-1	22902	000099-49-0	96
			methylethenyl)-			
			2-Cyclohexen-1-one,2-methyl-5-1	22931	002244-16-8	96
			methylethenyl)-, (S)-			
			2-Cyclohexen-1-one2-methyl-5-1-	22926	006485-40-1	95
			methylethenyl)-, (R)-			
18	41.516	0.65	C:\Database\NIST05a.L			
			2-Cyclohexen-1-ol,2-methyl-5-1m	24319	001197-06-4	98
			ethylethenyl)-, cis-			
			trans-2-Caren-4-ol	24052	004017-82-7	55
			Ethanone, 1-(1,4-dimethyl-3-cycloh	24221	043219-68-7	46
			exen-1-yl)-			
19	48.357	0.35	C:\Database\NIST05a.L			
			Octanoic Acid	20066	000124-07-2	91
			Octanoic Acid	20063	000124-07-2	86
			Octanoic Acid	20065	000124-07-2	64

Fuente: Cromatógrafo de gases, Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, II/UVG.

Anexo 11. **Cromatograma del aceite esencial de naranja Washington Navel (*Citrus sinensis* var. Washington Navel), utilizando un tiempo de extracción de 180 min., a escala planta piloto**



Fuente: Cromatógrafo de gases, Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, II/UVG.

**Anexo 12. Base de datos para la identificación de los componentes mayoritarios del aceite esencial de naranja Washington Navel (*Citrus sinensis* var. Washington Navel), utilizando un tiempo de extracción de 180 min., a escala planta piloto**

Unknown Spectrum: Apex

Integration Events: ChemStation Integrator - autointA.e

Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#
1	5.637	12.07	C:\Database\NIST05a.L		
			Hexane	1791	000110-54-3 94
			Hexane	1792	000110-54-3 91
			Hexane	1790	000110-54-3 91
2	5.878	5.92	C:\Database\NIST05a.L		
			Cyclopentane, methyl-	1468	000096-37-7 94
			Cyclopentane, methyl-	1465	000096-37-7 90
			Cyclobutane, ethyl-	1445	004806-61-5 78
3	7.624	0.15	C:\Database\NIST05a.L		
			Nonane	12268	000111-84-2 95
			Nonane	12267	000111-84-2 94
			Nonane	12269	000111-84-2 81
4	9.521	0.27	C:\Database\NIST05a.L		
			Decane	18488	000124-18-5 96
			Decane	18485	000124-18-5 95
			Decane	18486	000124-18-5 91
5	10.258	0.39	C:\Database\NIST05a.L		
			1R-.alpha.-Pinene	15186	007785-70-8 96
			1S-.alpha.-Pinene	15185	007785-26-4 96
			.alpha.-Pinene	15178	000080-56-8 95
6	13.192	0.90	C:\Database\NIST05a.L		
			.beta.-Phellandrene	15200	000555-10-2 94
			Bicyclo[3.1.0]hexane,4-methylene-	15373	003387-41-5 91
			1-(1-methylethyl)-		
			Cyclohexene, 4-methylene-1-1-meth	15324	000099-84-3 91
			ylethyl)-		
7	14.461	1.97	C:\Database\NIST05a.L		
			.beta.-Myrcene	15177	000123-35-3 81
			Ethanone, 1-cyclopropyl-2-(4-pyrid	30170	006580-95-6 64
			inyl)-		

Continuación del anexo 12.

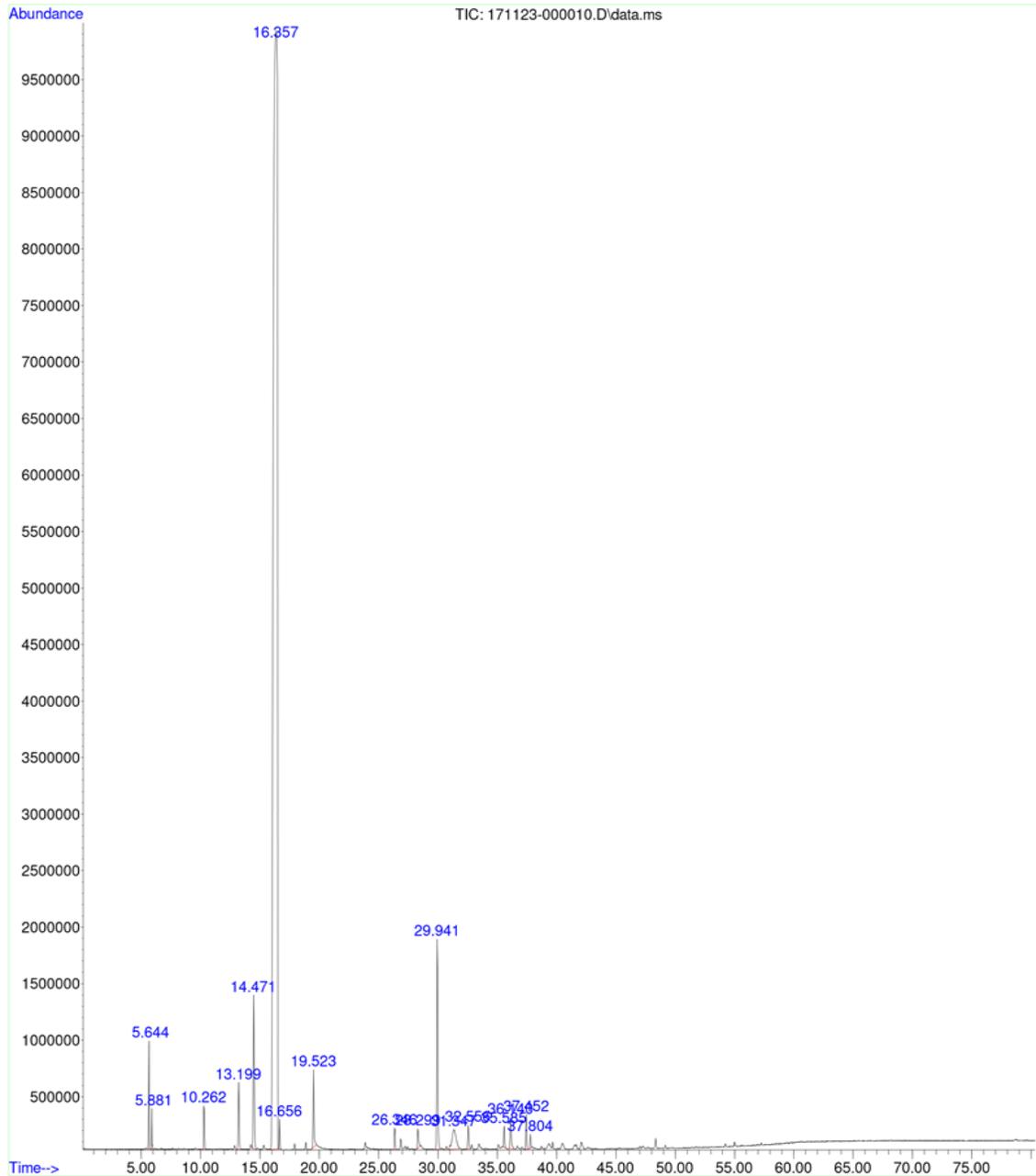
			Bicyclo[3.1.0]hex-2-ene,4-methyl-	15374	028634-89-1	49
			1-(1-methylethyl)-			
8	16.335	66.57	C:\Database\NIST05a.L			
			Limoneno	15165	005989-27-5	94
			Limonene	15153	000138-86-3	93
			Limonene	15154	000138-86-3	91
9	16.594	0.26	C:\Database\NIST05a.L			
			Bicyclo[3.1.0]hexane,4-methylene	15373	003387-41-5	91
			1-(1-methylethyl)-			
			Bicyclo[3.1.0]hex-2-ene,4-methyl	15374	028634-89-1	91
			1-(1-methylethyl)-			
			.beta.-Phellandrene	15200	000555-10-2	91
10	17.909	0.25	C:\Database\NIST05a.L			
			Bicyclo[4.1.0]hept-3-ene,3,7,7-tr	15369	000498-15-7	96
			imethyl-, (1S)-			
			3-Carene	15156	013466-78-9	94
			1S-.alpha.-Pinene	15185	007785-26-4	94
19.510	1.57		C:\Database\NIST05a.L			
			Octanal	12031	000124-13-0	97
			Octanal	12030	000124-13-0	91
			Octanal	12028	000124-13-0	90
11	28.293	0.40	C:\Database\NIST05a.L			
			Decanal	27022	000112-31-2	91
			Decanal	27019	000112-31-2	91
			Decanal	27023	000112-31-2	90
12	29.931	3.11	C:\Database\NIST05a.L			
			1,6-Octadien-3-ol, 3,7-dimethyl-	25643	000078-70-6	90
			1,6-Octadien-3-ol, 3,7-dimethyl-	25636	000078-70-6	90
			1,6-Octadien-3-ol, 3,7-dimethyl,	107591	007149-26-0	58
			2-aminobenzoate			
13	32.551	0.33	C:\Database\NIST05a.L			
			3-Cyclohexen-1-ol,4-methyl-1-1-m	25781	020126-76-5	95
			ethylethyl)-, (R)-			
			3-Cyclohexen-1-ol,4-methyl-1-1-m	25784	020126-76-5	95
			ethylethyl)-, (R)-			
			3-Cyclohexen-1-ol,4-methyl-1-1-m	25752	000562-74-3	94
			ethylethyl)-			
14	32.847	0.24	C:\Database\NIST05a.L			
			Caryophyllene	59797	000087-44-5	99

Continuación del anexo 12.

			Bicyclo[7.2.0]undec-4-ene, 4, 11, 11	59912	013877-93-5	94
			-trimethyl-8-methylene-			
			Caryophyllene	59802	000087-44-5	93
15	35.585	0.61	C:\Database\NIST05a.L			
			2,6-Octadienal, 3,7-dimethyl-, (Z)	24148	000106-26-3	95
			2,6-Octadienal, 3,7-dimethyl-	24106	005392-40-5	72
			N-Cyano-3-methylbut-2-enamine	5586	146072-39-1	38
16	36.135	0.77	C:\Database\NIST05a.L			
			3-Cyclohexene-1-methanol, .alpha,	25797	000098-55-5	91
			.alpha.4-trimethyl-			
			3-Cyclohexene-1-methanol, .alpha,	25843	010482-56-1	90
			.alpha.,4-trimethyl-, (S)-			
			p-menth-1-en-8-ol	25545	1000157-89-9	86
17	37.450	1.08	C:\Database\NIST05a.L			
			2,6-Octadienal, 3,7-dimethyl-	24102	005392-40-5	96
			2,6-Octadienal, 3,7-dimethyl-	24108	005392-40-5	91
			2,6-Octadienal, 3,7-dimethyl-, (E)	24141	000141-27-5	91
18	55.130	0.76	C:\Database\NIST05a.L			
			Eicosane	113488	000112-95-8	97
			Docosane	131157	000629-97-0	94
			Docosane	131156	000629-97-0	93
19	56.531	0.75	C:\Database\NIST05a.L			
			Tricosane	139232	000638-67-5	94
			Heptadecane	85525	000629-78-7	91
			Docosane	131157	000629-97-0	91
	58.510	0.34	C:\Database\NIST05a.L			
			Docosane, 7-hexyl-	169724	055373-86-9	72
			Docosane, 11-decyl-	180012	055401-55-3	72
			Docosane	131156	000629-97-0	64
20	60.884	0.42	C:\Database\NIST05a.L			
			Docosane	131157	000629-97-0	97
			Docosane	131156	000629-97-0	97
			Tricosane, 2-methyl-	146929	001928-30-9	93
21	62.290	0.45	C:\Database\NIST05a.L			
			Pentacosane	153747	000629-99-2	86
			Eicosane	113492	000112-95-8	81
			Tetratetracontane	188836	007098-22-8	81

Fuente: Cromatógrafo de gases, Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, II/UVG.

Anexo 13. **Cromatograma del aceite esencial de naranja Washington Navel (*Citrus sinensis* var. Washington Navel), utilizando un tiempo de extracción de 240 min., a escala laboratorio**



Fuente: Cromatógrafo de gases, Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, II/UVG.

**Anexo 14. Base de datos para la identificación de los componentes mayoritarios del aceite esencial de naranja Washington Navel (*Citrus sinensis* var. Washington Navel), utilizando un tiempo de extracción de 240 min., a escala laboratorio**

Unknown Spectrum: Apex

Integration Events: ChemStation Integrator - autointA.e

Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#
1	5.646	0.90	C:\Database\NIST05a.L		
			Hexane	1791	000110-54-3 91
			Hexane	1792	000110-54-3 91
			Hexane	1790	000110-54-3 91
2	5.882	0.36	C:\Database\NIST05a.L		
			Cyclopentane, methyl-	1468	000096-37-7 94
			Cyclopentane, methyl-	1465	000096-37-7 91
			Cyclopentane, methyl-	1467	000096-37-7 90
3	10.263	0.63	C:\Database\NIST05a.L		
			1R-.alpha.-Pinene	15186	007785-70-8 96
			1S-.alpha.-Pinene	15185	007785-26-4 96
			.alpha.-Pinene	15178	000080-56-8 95
4	13.201	1.12	C:\Database\NIST05a.L		
			.beta.-Phellandrene	15200	000555-10-2 94
			.beta.-Phellandrene	15201	000555-10-2 91
			Bicyclo[3.1.0]hexane,4-methylene	15379	003387-41-5 91
			1-(1-methylethyl)-		
5	14.470	2.92	C:\Database\NIST05a.L		
			Bicyclo[3.1.0]hex-2-ene,4-methyl	15374	028634-89-1 80
			1-(1-methylethyl)-		
			.beta.-Myrcene	15177	000123-35-3 70
			Pyridine, 2-propyl-	9267	000622-39-9 59
6	16.358	84.11	C:\Database\NIST05a.L		
			Limoneno	15165	005989-27-5 94
			Limonene	15153	000138-86-3 91
			Limonene	15154	000138-86-3 91
7	16.658	0.34	C:\Database\NIST05a.L		
			.beta.-Phellandrene	15198	000555-10-2 91

Continuación del anexo 14.

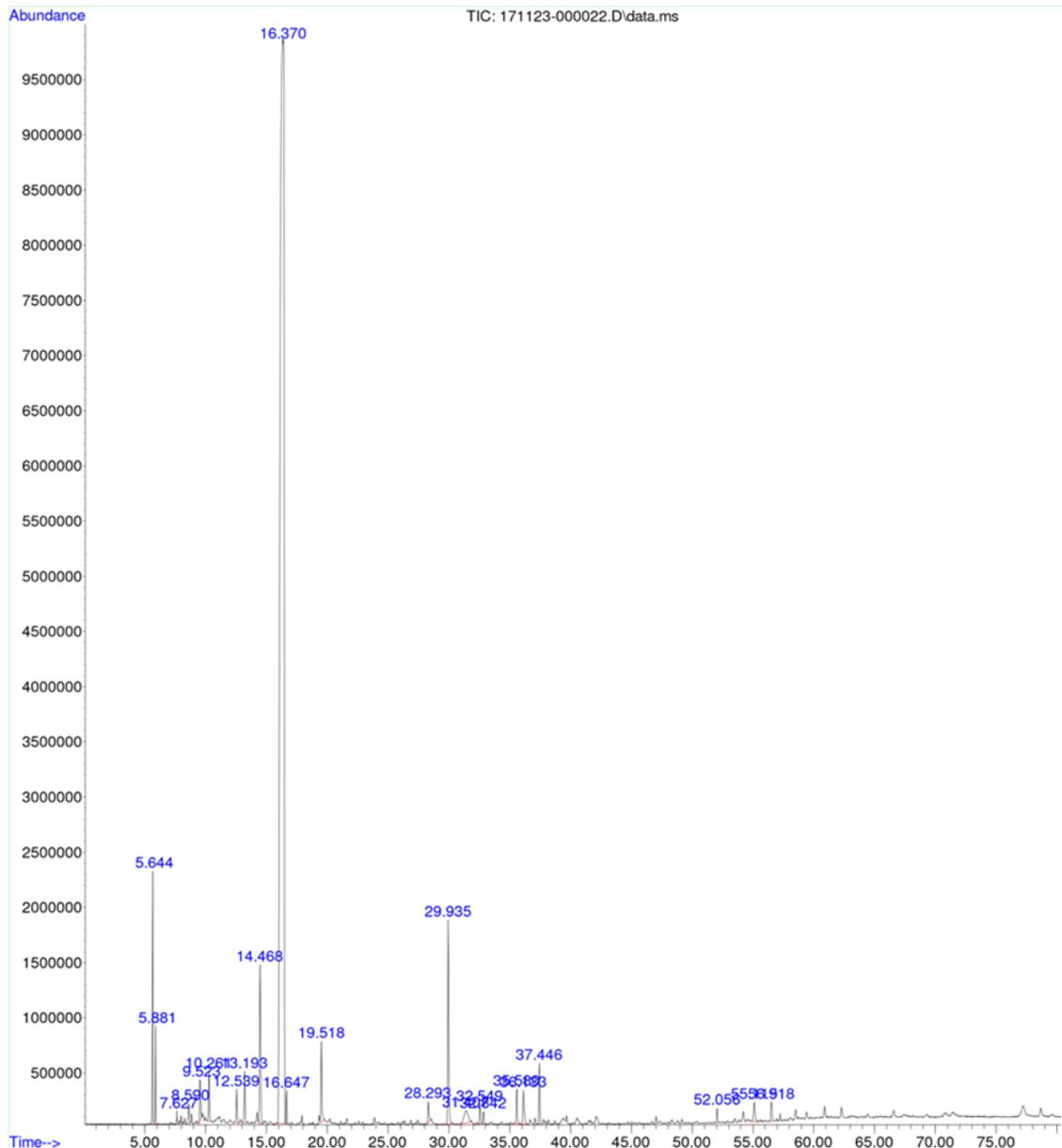
			.beta.-Phellandrene	15200	000555-10-2	91
			Bicyclo[3.1.0]hexane,4-methylene	15373	003387-41-5	91
			1-(1-methylethyl)-			
8	19.524	1.32	C:\Database\NIST05a.L			
			Octanal	12031	000124-13-0	97
			Octanal	12030	000124-13-0	91
			Octanal	12028	000124-13-0	68
9	26.347	0.34	C:\Database\NIST05a.L			
			Limonene oxide, cis-	24056	004680-24-4	96
			7-Oxabicyclo[4.1.0]heptane, 1-meth	24329	001195-92-2	91
			yl-4-(1-methylethenyl)-			
			7-Oxabicyclo[4.1.0]heptane,1meth	24330	001195-92-2	58
			yl-4-(1-methylethenyl)-			
10	28.298	0.42	C:\Database\NIST05a.L			
			Decanal	27019	000112-31-2	91
			Decanal	27023	000112-31-2	90
			Decanal	27022	000112-31-2	90
11	29.940	3.78	C:\Database\NIST05a.L			
			1,6-Octadien-3-ol,3,7-dimethyl	25643	000078-70-6	90
			1,6-Octadien-3-ol, 3,7-dimethyl-	25636	000078-70-6	76
			1,5-Dimethyl-1-vinyl-4-hexenyl but	74332	000078-36-4	52
			yrate			
12	31.345	1.50	C:\Database\NIST05a.L			
			1-Octanol	13203	000111-87-5	91
			1-Octanol	13196	000111-87-5	91
			1-Octanol	13195	000111-87-5	86
13	32.555	0.46	C:\Database\NIST05a.L			
			3-Cyclohexen-1-ol,4-methyl-1-1-m	25784	020126-76-5	96
			ethylethyl)-, (R)-			
			3-Cyclohexen-1-ol,4-methyl-1-1-m	25781	020126-76-5	95
			ethylethyl)-, (R)-			
			3-Cyclohexen-1-ol,4-methyl-1-1-m	25752	000562-74-3	95
			ethylethyl)-			
14	35.585	0.34	C:\Database\NIST05a.L			
			2,6-Octadienal,3,7-dimethyl-, (Z)	24148	000106-26-3	94

Continuación del anexo 14.

			2,6-Octadienal, 3,7-dimethyl-	24106	005392-40-5	72
			2-Isopropenyl-5-methylhex-4-enal	24118	075697-98-2	50
15	36.140	0.70	C:\Database\NIST05a.L			
			3-Cyclohexene-1-methanol.alpha,	25797	000098-55-5	87
			.alpha.4-trimethyl-			
			p-menth-1-en-8-ol	25545	1000157-89-9	87
			3-Cyclohexene-1-methanol, .alpha.,	25843	010482-56-1	80
			.alpha.,4-trimethyl-, (S)-			
16	37.450	0.54	C:\Database\NIST05a.L			
			2,6-Octadienal,3,7-dimethyl-(E)	24151	000141-27-5	95
			2,6-Octadienal, 3,7-dimethyl-	24108	005392-40-5	94
			2,6-Octadienal, 3,7-dimethyl-, (E)	24141	000141-27-5	93
17	37.805	0.22	C:\Database\NIST05a.L			
			2-Cyclohexen-1-one,2-methyl-5-1	22931	002244-16-8	97
			methylethenyl)-, (S)-			
			2-Cyclohexen-1-one,2-methyl-5-(1	22932	002244-16-8	96
			methylethenyl)-, (S)-			
			2-Cyclohexen-1-one,2-methyl-5-(1	22902	000099-49-0	96

Fuente: Cromatógrafo de gases, Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, II/UVG.

Anexo 15. **Cromatograma del aceite esencial de naranja Washington Navel (*Citrus sinensis* var. Washington Navel), utilizando un tiempo de extracción de 240 min., a escala planta piloto**



Fuente: Cromatógrafo de gases, Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, II/UVG.

**Anexo 16. Base de datos para la identificación de los componentes mayoritarios del aceite esencial de naranja Washington Navel (*Citrus sinensis* var. Washington Navel), utilizando un tiempo de extracción de 240 min., a escala planta piloto**

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

Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#
1	5.646	2.16	C:\Database\NIST05a.L Hexane Hexane Hexane	1792 1790 1791	000110-54-3 91 000110-54-3 91 000110-54-3 81
2	5.882	0.80	C:\Database\NIST05a.L Cyclopentane, methyl- Cyclopentane, methyl- Cyclopentane, methyl-	1465 1467 1468	000096-37-7 91 000096-37-7 90 000096-37-7 90
3	7.629	0.16	C:\Database\NIST05a.L Nonane Nonane Nonane	12268 12267 12269	000111-84-2 95 000111-84-2 94 000111-84-2 81
4	8.589	0.37	C:\Database\NIST05a.L Octane, 2,5-dimethyl- Decane Heptane, 2,4-dimethyl-	18509 18486 12289	015869-89-3 76 000124-18-5 72 002213-23-2 64
5	9.521	0.78	C:\Database\NIST05a.L Decane Decane Decane	18488 18485 18486	000124-18-5 96 000124-18-5 95 000124-18-5 90
6	10.263	0.73	C:\Database\NIST05a.L 1R-.alpha.-Pinene 1S-.alpha.-Pinene Bicyclo[3.1.1]hept-2-ene, 3,6,6-trimethyl-	15186 15185 15314	007785-70-8 97 007785-26-4 97 004889-83-2 95
7	12.541	0.53	C:\Database\NIST05a.L Undecane Undecane Undecane	27236 27238 27240	001120-21-4 95 001120-21-4 93 001120-21-4 91

## Continuación del anexo 16.

8	13.192	0.90	C:\Database\NIST05a.L			
			.beta.-Phellandrene	15200	000555-10-2	94
			Bicyclo[3.1.0]hexane,4-methylene-	15379	003387-41-5	91
			1-(1-methylethyl)-			
			Bicyclo[3.1.0]hex-2-ene,4-methyl-	15374	028634-89-1	91
			1-(1-methylethyl)-			
9	14.470	3.00	C:\Database\NIST05a.L			
			.beta.-Myrcene	15177	000123-35-3	91
			.beta.-Myrcene	15180	000123-35-3	86
			.beta.-Myrcene	15179	000123-35-3	64
10	16.371	79.45	C:\Database\NIST05a.L			
			Limoneno	15165	005989-27-5	94
			Limonene	15153	000138-86-3	93
			Limonene	15154	000138-86-3	91
11	16.649	0.36	C:\Database\NIST05a.L			
			Bicyclo[3.1.0]hexane,4-methylene-	15373	003387-41-5	91
			1-(1-methylethyl)-			
			.beta.-Phellandrene	15200	000555-10-2	91
			.beta.-Phellandrene	15201	000555-10-2	91
12	19.519	1.36	C:\Database\NIST05a.L			
			Octanal	12031	000124-13-0	97
			Octanal	12030	000124-13-0	91
			Octanal	12028	000124-13-0	91
13	28.293	0.45	C:\Database\NIST05a.L			
			Decanal	27022	000112-31-2	91
			Decanal	27019	000112-31-2	91
			Decanal	27023	000112-31-2	83
14	29.935	3.74	C:\Database\NIST05a.L			
			1,6-Octadien-3-ol, 3,7-dimethyl-	25636	000078-70-6	94
			1,6-Octadien-3-ol, 3,7-dimethyl-	25643	000078-70-6	90
			1,6-Octadien-3-ol, 3,7-dimethyl-, acetate	54271	000115-95-7	58
15	31.405	0.94	C:\Database\NIST05a.L			
			1-Octanol	13203	000111-87-5	91
			1-Octanol	13196	000111-87-5	91
			1-Octanol	13195	000111-87-5	83
16	32.546	0.39	C:\Database\NIST05a.L			
			3-Cyclohexen-1-ol,4-methyl-1-1-m ethylethyl)-, (R)-	25781	020126-76-5	95

Continuación del anexo 16.

			3-Cyclohexen-1-ol,4-methyl-1-1-m	25750	000562-74-3	95
			ethylethyl)-			
			3-Cyclohexen-1-ol,4-methyl-1-1-m	25784	020126-76-5	95
			ethylethyl)-, (R)-			
17	32.842	0.23	C:\Database\NIST05a.L			
			Caryophyllene	59797	000087-44-5	99
			Bicyclo[5.2.0]nonane,2-methylene-	59917	242794-76-9	99
			4,8,8-trimethyl-4-vinyl-			
			Caryophyllene	59802	000087-44-5	94
18	35.580	0.65	C:\Database\NIST05a.L			
			2,6-Octadienal, 3,7-dimethyl-, (Z)	24148	000106-26-3	96
			2,6-Octadienal, 3,7-dimethyl-	24106	005392-40-5	72
			2-Butene, 2,3-dimethyl-	1477	000563-79-1	38
19	36.135	0.83	C:\Database\NIST05a.L			
			3-Cyclohexene-1-methanol.alpha.	25797	000098-55-5	87
			.alpha.4-trimethyl-			
			3-Cyclohexene-1-methanol,.alpha,	25843	010482-56-1	87
			.alpha.,4-trimethyl-, (S)-			
			p-menth-1-en-8-ol	25545	1000157-89-9	87
20	37.445	0.96	C:\Database\NIST05a.L			
			2,6-Octadienal, 3,7-dimethyl-	24109	005392-40-5	96
			2,6-Octadienal, 3,7-dimethyl-	24102	005392-40-5	95
			2,6-Octadienal, 3,7-dimethyl-	24108	005392-40-5	93
21	52.055	0.24	C:\Database\NIST05a.L			
			Phenol, 2-methoxy-3-(2-propenyl)	31835	001941-12-4	98
			Eugenol	31714	000097-53-0	98
			Phenol, 2-methoxy-4-(1-propenyl)	31883	005932-68-3	97
			(E)-			
22	55.121	0.53	C:\Database\NIST05a.L			
			Tricosane	139232	000638-67-5	93
			Eicosane, 7-hexyl-	159841	055333-99-8	91
			Eicosane	113488	000112-95-8	90
23	56.518	0.46	C:\Database\NIST05a.L			
			Tricosane	139232	000638-67-5	93
			Heptadecane	85525	000629-78-7	91
			Heneicosane	122436	000629-94-7	91

Fuente: Cromatógrafo de gases, Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, II/UVG.