

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACIA

The seal of the University of San Carlos of Guatemala is a circular emblem. It features a central figure, likely a saint or scholar, seated and holding a book. Above the figure is a golden crown or mitre. To the left is a castle tower, and to the right is a lion rampant. The entire scene is set against a blue background with a white border. The Latin motto "CETERA SUB BIS CONSPICUA CAROLINA ACADEMIA COACTEMALENSIS INTER" is inscribed around the perimeter of the seal.

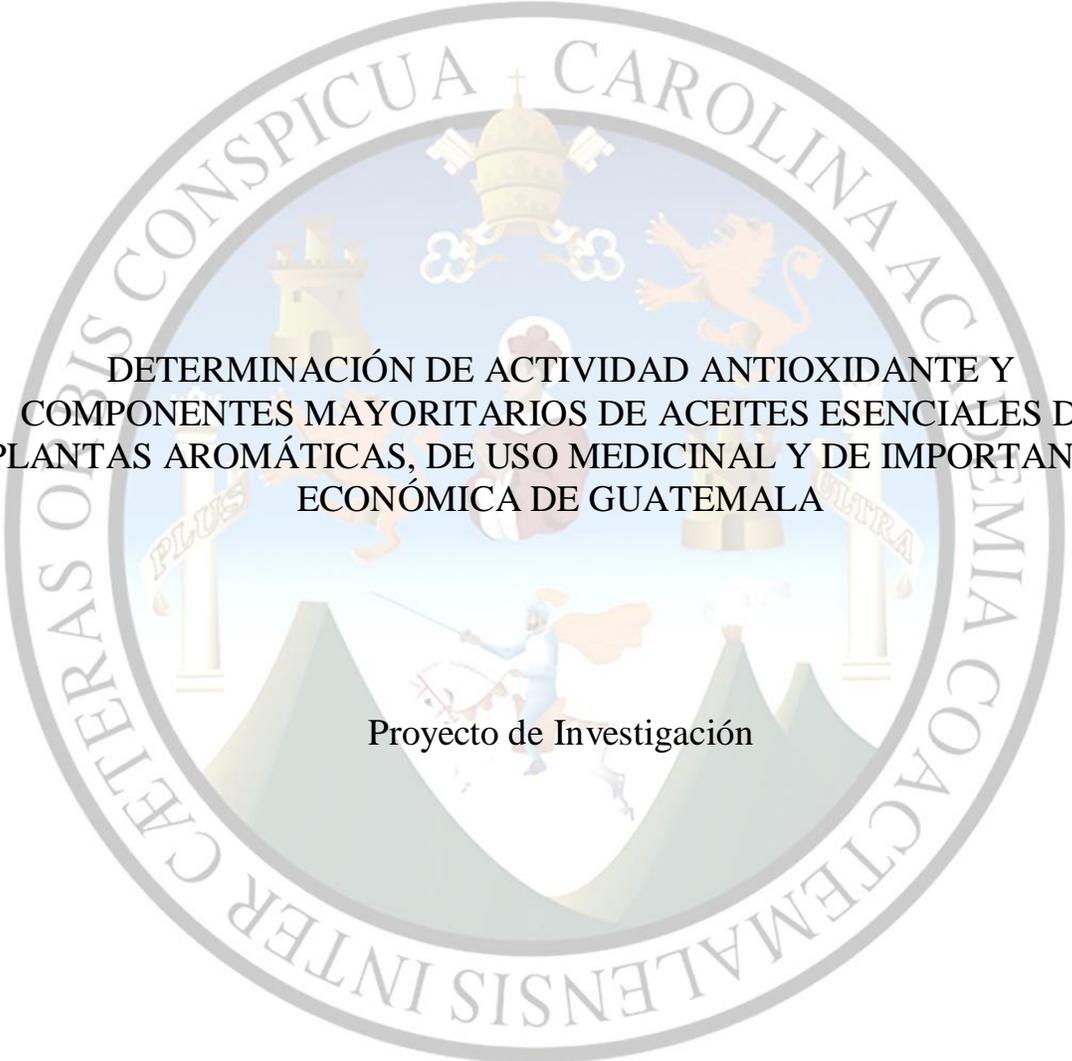
DETERMINACIÓN DE ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE Y
COMPONENTES MAYORITARIOS DE ACEITES ESENCIALES DE
PLANTAS AROMÁTICAS, DE USO MEDICINAL Y DE IMPORTANCIA
ECONÓMICA DE GUATEMALA

LUIS ALBERTO RIZZO HURTADO

Químico

Guatemala, febrero de 2020.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACIA

The seal of the University of San Carlos of Guatemala is a circular emblem. It features a central shield with a figure on horseback, a castle, and a lion. The shield is surrounded by a circular border containing the Latin motto "CETERAS OBIS CONSPICUA CAROLINA AC ACADEMIA COACTEMALENSIS INTER".

DETERMINACIÓN DE ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE Y
COMPONENTES MAYORITARIOS DE ACEITES ESENCIALES DE
PLANTAS AROMÁTICAS, DE USO MEDICINAL Y DE IMPORTANCIA
ECONÓMICA DE GUATEMALA

Proyecto de Investigación

Presentado por:

LUIS ALBERTO RIZZO HURTADO

Para optar el título de:

Químico

Guatemala, febrero de 2020.

MIEMBROS DE JUNTA DIRECTIVA

M.A. Pablo Ernesto Oliva Soto	Decano
Licda. Miriam Roxana Marroquín Leiva	Secretaria
Dr. Juan Francisco Pérez Sabino	Vocal I
Dr. Roberto Enrique Flores Arzú	Vocal II
Lic. Carlos Manuel Maldonado Aguilera	Vocal III
Br. Giovanni Rafael Funes Tovar	Vocal IV
Br. Carol Merarí Caceros Castañeda	Vocal V

AGRADECIMIENTOS

A MI HIJO, Izan Javier Rizzo Espinoza, por brindarme siempre tu amor, tu apoyo emocional y ser mi mayor motivación en todo momento.

A MI PADRE, Erick Gabriel Rizzo, por tus esfuerzos, tu paciencia y brindarme siempre tus mejores consejos y tu apoyo.

A MI FAMILIA, por el gran apoyo incondicional que siempre me brindó.

A MIS AMIGOS Y COMPAÑEROS, por la ayuda brindada y el cariño demostrado en las diferentes etapas de mi vida. Su compañía y sus consejos siempre me motivaron a seguir adelante.

A CADA UNO DE MIS CATEDRÁTICOS, por compartirme parte de sus conocimientos y brindarme el privilegio de crecer y desarrollar mi formación profesional.

A LA UNIDAD DE ANÁLISIS INSTRUMENTAL, por permitirme realizar esta investigación; en especial al Lic. Manuel Muñoz y al Lic. Max Mérida por su confianza, asesoría y ayuda brindada.

A LA FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACIA, por nutrirme de conocimientos y experiencias positivas.

A LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, por ser mi alma máter.

ÍNDICE

I.	ÁMBITO DE LA INVESTIGACIÓN.....	1
II.	RESUMEN.....	2
III.	ANTECEDENTES	3
A.	Antecedentes (Trabajo, experiencias en Guatemala).....	3
B.	Los aceites esenciales	4
	Definición e importancia.....	4
	Propiedades Físicas.....	5
	Composición	5
	Propiedades terapéuticas	6
C.	Métodos oficinales.....	6
	Destilación con agua.....	6
D.	Análisis de la composición de los aceites esenciales.....	7
	Cromatografía en fase gaseosa.....	7
	Cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas.....	8
	Índices de retención	9
	Cuantificación de componentes	10
E.	Actividad antioxidante	10
IV.	JUSTIFICACIÓN	11
V.	OBJETIVOS	12
VI.	HIPÓTESIS	12
VII.	MATERIALES Y MÉTODOS	13
A.	Material vegetal.....	13
B.	Preparación de la muestra	13

C.	Extracción de aceites esenciales por hidrodestilación (sistema Clevenger)	13
D.	Análisis cromatográfico de los aceites esenciales	14
E.	Actividad Antioxidante	14
VIII.	AVAL DE LA UNIDAD DE INVESTIGACIÓN	15
IX.	RESULTADOS	16
X.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	32
XI.	CONCLUSIONES	38
XII.	RECOMENDACIONES	39
XIII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40
XIV.	ANEXOS	54

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Caracterización general y rendimiento promedio de extracción (utilizando hidrodestilación por sistema Clevenger) de las especies de estudio.	16
Tabla 2: Porcentaje de inhibición y actividad antioxidante presentada por cada especie.	19
Tabla 3: Actividad antioxidante experimental de antioxidantes sintéticos: BHT y BHA.	21
Tabla 4: Compuestos mayoritarios presentes en la especie <i>Pimenta dioica</i> . Recolectada en Barra Lámpara, Livingston, Izabal.	21
Tabla 5: Compuestos mayoritarios presentes en la especie <i>Litsea guatemalensis</i> . Recolectada en el mercado de Sololá.	22
Tabla 6: Compuestos mayoritarios presentes en la especie <i>Abies guatemalensis</i> . Recolectada en Finca Chichavac, Tecpán Guatemala, Chimaltenango.	22

Tabla 7: Compuestos mayoritarios presentes en la especie <i>Foeniculum vulgare</i> . Recolectada en Centro Experimental y Docente de la Facultad de Agronomía, campus central USAC, zona 12, Ciudad de Guatemala.	23
Tabla 8: Compuestos mayoritarios presentes en la especie <i>Salvia microphylla</i> . Recolectada en Patzicía, Chimaltenango.....	23
Tabla 9: Compuestos mayoritarios presentes en la especie <i>Cedrela odorata</i> L. Recolectada en El Remate, Petén.	24
Tabla 10: Compuestos mayoritarios presentes en la especie <i>Ocimum micranthum</i> . Recolectada en Creek Caliz, Livingston, Izabal.	24
Tabla 11: Compuestos mayoritarios presentes en la especie <i>Valeriana prionophylla</i> . Recolectada en Santa Lucía Utatlán, Sololá.	25
Tabla 12: Compuestos mayoritarios presentes en la especie <i>Artemisia ludoviciana</i> . Recolectada en Patzicía, Chimaltenango.....	25
Tabla 13: Compuestos mayoritarios presentes en la especie <i>Tagetes lucida</i> . Recolectada en la aldea Estanzuela, Joyabaj, Quiché.	26
Tabla 14: Compuestos mayoritarios presentes en la especie <i>Tagetes tenuifolia</i> . Recolectada en la planta de tratamiento Los Cebollales, Panajachel, Sololá.	26
Tabla 15: Compuestos mayoritarios presentes en la especie <i>Lippia graveolens</i> . Recolectada en Teculután, Zacapa.....	27
Tabla 16: Compuestos mayoritarios presentes en la especie <i>Lippia graveolens</i> . Recolectada en la aldea El Subinal, El Progreso.....	27
Tabla 17: Compuestos mayoritarios presentes en la especie <i>Piper peltatum</i> . Recolectada en San Luis, Petén.....	28
Tabla 18: Compuestos mayoritarios presentes en la especie <i>Piper</i> sp. Recolectada en El Remate, Petén.....	28
Tabla 19: Compuestos mayoritarios presentes en la especie <i>Piper</i> sp. Recolectada en Dolores, Petén. Caracterizada por presentar hojas ásperas.....	29

Tabla 20: Compuestos mayoritarios presentes en la especie <i>Piper</i> sp. Recolectada en Concepción Las Minas, Chiquimula. Caracterizada por presentar hojas pubescentes.	29
Tabla 21: Compuestos mayoritarios presentes en la especie <i>Piper</i> sp. Recolectada en Concepción Las Minas, Chiquimula. Caracterizada por presentar hojas anisadas. .	30
Tabla 22: Compuestos mayoritarios presentes en la especie <i>Stevia serrata</i> . Recolectada en carretera entre Chichicastenango y Santa Cruz del Quiché, Quiché. ..	30
Tabla 23: Compuestos mayoritarios presentes en la especie <i>Stevia serrata</i> . Recolectada en carretera a Santa María Chiquimula, Totonicapán.	31
Tabla 24: Compuestos mayoritarios presentes en la especie <i>Stevia serrata</i> . Recolectada en aldea San José Ixcaniche, San Miguel Ixtahuacán, San Marcos.....	31
Tabla 25: Compuestos presentes en la especie <i>Pimenta dioica</i> . Recolectada en Barra Lámpara, Livingston, Izabal.	54
Tabla 26: Compuestos presentes en la especie <i>Litsea guatemalensis</i> . Recolectada en el mercado de Sololá.	55
Tabla 27: Compuestos presentes en la especie <i>Abies guatemalensis</i> . Recolectada en Finca Chichavac, Tecpán Guatemala, Chimaltenango.	57
Tabla 28: Compuestos presentes en la especie <i>Foeniculum vulgare</i> . Recolectada en Centro Experimental y Docente de la Facultad de Agronomía, campus central USAC, zona 12, Ciudad de Guatemala.	58
Tabla 29: Compuestos presentes en la especie <i>Salvia microphylla</i> . Recolectada en Patzicía, Chimaltenango.	59
Tabla 30: Compuestos presentes en la especie <i>Cedrela odorata</i> L. Recolectada en El Remate, Petén.	61
Tabla 31: Compuestos presentes en la especie <i>Ocimum micranthum</i> . Recolectada en Creek Caliz, Livingston, Izabal.	62
Tabla 32: Compuestos presentes en la especie <i>Valeriana prionophylla</i> . Recolectada en Santa Lucía Utatlán, Sololá.	64

Tabla 33: Compuestos presentes en la especie <i>Artemisia ludoviciana</i> . Recolectada en Patzicía, Chimaltenango.	65
Tabla 34: Compuestos presentes en la especie <i>Tagetes lucida</i> . Recolectada en la aldea Estanzuela, Joyabaj, Quiché.	66
Tabla 35: Compuestos presentes en la especie <i>Tagetes tenuifolia</i> . Recolectada en la planta de tratamiento Los Cebollales, Panajachel, Sololá.	67
Tabla 36: Compuestos presentes en la especie <i>Lippia graveolens</i> . Recolectada en Teculután, Zacapa.	69
Tabla 37: Compuestos presentes en la especie <i>Lippia graveolens</i> . Recolectada en la aldea El Subinal, El Progreso.	70
Tabla 38: Compuestos presentes en la especie <i>Piper peltatum</i> . Recolectada en San Luis, Petén.	71
Tabla 39: Compuestos presentes en la especie <i>Piper</i> sp. Recolectada en El Remate, Petén.	73
Tabla 40: Compuestos presentes en la especie <i>Piper</i> sp. Recolectada en Dolores, Petén. Caracterizada por presentar hojas ásperas.	74
Tabla 41: Compuestos presentes en la especie <i>Piper</i> sp. Recolectada en Concepción Las Minas, Chiquimula. Caracterizada por presentar hojas pubescentes.	76
Tabla 42: Compuestos presentes en la especie <i>Piper</i> sp. Recolectada en Concepción Las Minas, Chiquimula. Caracterizada por presentar hojas anisadas.	77
Tabla 43: Compuestos presentes en la especie <i>Stevia serrata</i> . Recolectada en carretera entre Chichicastenango y Santa Cruz del Quiché, Quiché.	78
Tabla 44: Compuestos presentes en la especie <i>Stevia serrata</i> . Recolectada en carretera a Santa María Chiquimula, Totonicapán.	80
Tabla 45: Compuestos presentes en la especie <i>Stevia serrata</i> . Recolectada en aldea San José Ixcaniche, San Miguel Ixtahuacán, San Marcos.	81

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Cromatograma (GC/MS) de la especie <i>Pimenta dioica</i> . Recolectada en Barra Lámpara, Livingston, Izabal.....	54
Figura 2: Cromatograma (GC/MS) de la especie <i>Litsea guatemalensis</i> . Recolectada en el mercado de Sololá.	55
Figura 3: Cromatograma (GC/MS) de la especie <i>Abies guatemalensis</i> . Recolectada en Finca Chichavac, Tecpán Guatemala, Chimaltenango.	56
Figura 4: Cromatograma (GC/MS) de la especie <i>Foeniculum vulgare</i> . Recolectada en Centro Experimental y Docente de la Facultad de Agronomía, campus central USAC, zona 12, Ciudad de Guatemala.	58
Figura 5: Cromatograma (GC/MS) de la especie <i>Salvia microphylla</i> . Recolectada en Patzicía, Chimaltenango.	59
Figura 6: Cromatograma (GC/MS) de la especie <i>Cedrela odorata</i> L. Recolectada en El Remate, Petén.	61
Figura 7: Cromatograma (GC/MS) de la especie <i>Ocimum micranthum</i> . Recolectada en Creek Caliz, Livingston, Izabal.	62
Figura 8: Cromatograma (GC/MS) de la especie <i>Valeriana prionophylla</i> . Recolectada en Santa Lucía Utatlán, Sololá.	63
Figura 9: Cromatograma (GC/MS) de la especie <i>Artemisia ludoviciana</i> . Recolectada en Patzicía, Chimaltenango.	64
Figura 10: Cromatograma (GC/MS) de la especie <i>Tagetes lucida</i> . Recolectada en la aldea Estanzuela, Joyabaj, Quiché.	66
Figura 11: Cromatograma (GC/MS) de la especie <i>Tagetes tenuifolia</i> . Recolectada en la planta de tratamiento Los Cebollales, Panajachel, Sololá.	67
Figura 12: Cromatograma (GC/MS) de la especie <i>Lippia graveolens</i> . Recolectada en Teculután, Zacapa.	68

Figura 13: Cromatograma (GC/MS) de la especie <i>Lippia graveolens</i> . Recolectada en la aldea El Subinal, El Progreso.	69
Figura 14: Cromatograma (GC/MS) de la especie <i>Piper peltatum</i> . Recolectada en San Luis, Petén.	71
Figura 15: Cromatograma (GC/MS) de la especie <i>Piper</i> sp. Recolectada en El Remate, Petén.....	72
Figura 16: Cromatograma (GC/MS) de la especie <i>Piper</i> sp. Recolectada en Dolores, Petén. Caracterizada por presentar hojas ásperas.....	74
Figura 17: Cromatograma (GC/MS) de la especie <i>Piper</i> sp. Recolectada en Concepción Las Minas, Chiquimula. Caracterizada por presentar hojas pubescentes.	75
Figura 18: Cromatograma (GC/MS) de la especie <i>Piper</i> sp. Recolectada en Concepción Las Minas, Chiquimula. Caracterizada por presentar hojas anisadas.	77
Figura 19: Cromatograma (GC/MS) de la especie <i>Stevia serrata</i> . Recolectada en carretera entre Chichicastenango y Santa Cruz del Quiché, Quiché.....	78
Figura 20: Cromatograma (GC/MS) de la especie <i>Stevia serrata</i> . Recolectada en carretera a Santa María Chiquimula, Totonicapán.	79
Figura 21: Cromatograma (GC/MS) de la especie <i>Stevia serrata</i> . Recolectada en aldea San José Ixcaniche, San Miguel Ixtahuacán, San Marcos.	80
Figura 22: Fotografía de aparato de hidrodestilación Clevenyer utilizado.	82
Figura 23: Fotografía de material de <i>Stevia serrata</i> recolectado.....	82
Figura 24: Fotografía de material de <i>S. serrata</i> secado en horno.....	83
Figura 25: Fotografía de material de <i>S. serrata</i> en aparato de hidrodestilación Clevenyer.....	83
Figura 26: Fotografía de aceite esencial de <i>S. serrata</i> extraído por aparato de hidrodestilación Clevenyer.	84
Figura 27: Fotografía de tubos de ensayo utilizados para la medición de actividad antioxidante de los diferentes aceites esenciales.....	85

Figura 28: Fotografía desde perspectiva superior de los tubos de ensayo utilizados para la medición de actividad antioxidante de los diferentes aceites esenciales.85

I. ÁMBITO DE LA INVESTIGACIÓN

Guatemala es un país con una gran diversidad climática que permite el cultivo de diferentes especies vegetales, representando una ventaja comparativa en relación con otros países de mayor extensión territorial. Aun así, Guatemala es uno de los países que presenta mayores índices de pobreza a nivel continental y mundial. Varias de las regiones del país que presentan la mayor pobreza, como por ejemplo, el altiplano guatemalteco, presentan también potencial para la producción de plantas aromáticas y medicinales, que cuentan con un elevado potencial económico, al procesarse para la obtención de aceites esenciales. La generación de información relevante sobre rendimiento y composición química es importante para la toma de decisiones en el cultivo de las plantas y para el control de calidad.

La investigación desarrollada formó parte del proyecto FINDECYT/FODECYT 17-2017 denominado “Caracterización Química de los Aceites Esenciales de Plantas Aromáticas, de Uso Medicinal y de Importancia Económica de Guatemala”. Este proyecto busca desarrollar estrategias para preservar la riqueza de los recursos filogenéticos con que cuenta el país a través de la interpretación de información fisicoquímica básica de los aceites esenciales de cada planta de estudio, la cual puede ser utilizada como base para evaluar la implantación de agroindustrias para la producción de aceites esenciales, a partir de plantas que son cultivadas o nativas de Guatemala.

En la presente investigación se abarcó la extracción de aceites esenciales, el análisis por cromatografía de gases y la medición de actividad antioxidante de dichos extractos. Además se realizó la identificación de componentes mayoritarios a través de la interpretación de cromatogramas y espectros de masas obtenidos de los aceites esenciales de las plantas de estudio.

II. RESUMEN

En el presente estudio se cuantificó el porcentaje de rendimiento de extracción por hidrodestilación utilizando un aparato tipo Clevenger y se analizó la composición química de los 21 aceites esenciales extraídos de plantas aromáticas recolectadas en diferentes regiones de Guatemala. Además, se evaluó la actividad antioxidante de cada aceite esencial utilizando el método de reducción del radical DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidracilo), utilizando butil hidroxitolueno (BHT) y butil hidroxianisol (BHA) como compuestos de referencia por tratarse de antioxidantes sintéticos por excelencia. La composición química de los aceites fue determinada por cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas y por medio de los índices de retención de Adams, (2017). Entre los resultados más destacados se puede mencionar la notoria actividad antioxidante de aceites esenciales extraídos de especies como *Lippia graveolens*, *Ocimum micranthum*, *Artemisia ludoviciana*, *Tagetes lucida*, *Pimienta dioica*, *Abies guatemalensis*, *Salvia microphylla*, *Litsea guatemalensis*, *Tagetes tenuifolia* y *Foeniculum vulgare*; presentando entre sus componentes mayoritarios fenoles, flavonoides, sesquiterpenos y terpenos. También se logró determinar que los especímenes de *Piper* analizados presentan una baja actividad. En conclusión, existen alternativas naturales de antioxidantes en varios de los aceites esenciales analizados; ya que estos contienen en proporción mayoritaria compuestos con alto potencial antioxidante dentro de los que se pueden mencionar el eugenol, chavicol, terpinen-4-ol, germacreno D, alcanfor, cariofileno, 1,8-cineol, anetol y timol.

III. ANTECEDENTES

A. Antecedentes (Trabajo, experiencias en Guatemala)

Guatemala es un país con una gran biodiversidad debido a la diversidad climática que presenta en un territorio relativamente pequeño de 108 889 km², de manera que pueden encontrarse varias zonas de vida en un solo departamento. Esta diversidad climática es también responsable por la producción por parte de las plantas de múltiples metabolitos secundarios, entre los cuales se encuentran los aceites esenciales.

Diferentes estudios se han realizado en la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad de San Carlos de Guatemala en relación con aceites esenciales de plantas aromáticas y medicinales, varios de los cuales han contado con financiamiento del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología –CONCYT- y de la Dirección General de Investigación de la Universidad de San Carlos de Guatemala (Cáceres et al., 1996; Pérez et al., 2011; Jayes et al., 2007). En estos se ha encontrado el potencial económico de los aceites esenciales producidos por plantas aromáticas nativas e introducidas en Guatemala. Así mismo, se han realizado investigaciones que han revelado la variabilidad en la composición química de los aceites esenciales de plantas nativas, como por ejemplo, en el caso de *L. graveolens*, conocido como orégano mexicano (Jayes et al., 2006; Pérez, 2008; Pérez et al., 2012)

El potencial de los aceites esenciales no se está aprovechando óptimamente, ya que existe la posibilidad de generar valor agregado a través de la extracción y comercialización del aceite esencial en sustitución de la comercialización de la materia prima, el material vegetal. En Guatemala, algunas empresas ya han incursionado en la producción de aceites esenciales como es el caso de la empresa Extract, la cual se encuentra agremiada a la Asociación de Exportadores de Guatemala (AGEXPORT) y produce sus propios aceites esenciales para exportación.

B. Los aceites esenciales

Definición e importancia

Existen numerosas definiciones desde el punto de vista químico, botánico e industrial, pero ninguna de ellas abarca en su totalidad a todas las esencias. Sin embargo, como una forma de generalizar al máximo el término se puede definir a los aceites esenciales, aceites etéreos o esencias como metabolitos de ciertos vegetales, compuestos generalmente por terpenos, que están asociados o no a otros componentes, la mayoría de ellos volátiles, y generan en conjunto el olor de dichos vegetales (Guenther, 1948; Wijesekera, s.f.; Bauer, Garbe, & Surburg, 1990; Secondini, 1990; Sharapin, 2000; Bandoni, 2003; Burt, 2004; Bakkali et al., 2008).

La norma AFNOR NF T 75-006 (febrero 1998) ha dado la siguiente definición de aceite esencial: “Producto obtenido a partir de una materia prima vegetal, bien por arrastre de vapor, o bien por procedimientos mecánicos a partir del epicarpio de los Citrus, o por destilación en seco. Posteriormente el aceite esencial se separa de la fase acuosa por procedimientos físicos en los dos primeros métodos de obtención; puede sufrir tratamientos físicos que no originen cambios significativos de su composición (por ejemplo, redestilación, aireación,...)”. Esta definición según procedimiento es restrictiva: excluye tanto los productos obtenidos por extracción con ayuda de disolventes como los obtenidos por cualquier otro procedimiento (gas a presión, “enfleurage”) (Wijesekera, s.f.; Bauer et al., 1990; Bruneton, 2001; Bakkali et al., 2008; Başer & Buchbauer, 2010).

Actualmente, las formulaciones basadas en los aceites esenciales naturales se encuentran en productos utilizados en la vida diaria como: bebidas, perfumes, artículos de tocador, cosméticos, alimentos, pinturas, barnices, plásticos, productos farmacéuticos, etc. (Wijesekera, s.f.; Tuley De Silva, 1985; Anónimo, 1986; Sacchetti, Maietti, Muzzoli, Scaglianti, Manfredini,...Bruni, 2005).

Propiedades Físicas

Los aceites esenciales están compuestos de sustancias volátiles, a diferencia de los aceites “fijos” que generalmente son líquidos a temperatura ambiente, habiendo excepciones que se solidifican a baja temperatura como, por ejemplo, la esencia de anís (*Pimpinella anisum* L.) y la esencia de palo santo (*Bulnesia sarmientoi* Lorentz ex Griseb). La mayoría son prácticamente transparentes, incoloros o ligeramente coloreados (amarillentos) con excepciones como la esencia de manzanilla alemana (*Matricaria recutita* L.), que contiene camazuleno de un intenso color azul. Generalmente estos líquidos son menos densos que el agua aunque también hay excepciones como las esencias de clavo (*Syzygium aromaticum* Merrill & Perry), canela (*Cinnamomum verum* J.S. Presl.), ajo (*Allium sativum* L.), gaulteria (*Gaultheria procumbens* L.) y sazafrán (*Sassafras albidum* (Nutt.) Nees) que son más densas (Guenther, 1948; Secondini, 1990; Lock, 1994; Bruneton, 2001; Bandoni, 2003; Bakkali et al., 2008).

Respecto a la solubilidad, los aceites esenciales suelen ser insolubles en agua pero solubles en grasas, disolventes orgánicos apolares y alcoholes de alta graduación. Otra propiedad a destacar es su poder rotatorio característico, con esta propiedad, también denominada índice de refracción, es posible cualificar la pureza ya que en su composición pueden existir numerosos productos ópticamente activos, es decir, que refractan la luz de forma polarizada. Los aceites esenciales generalmente se descomponen por la exposición a la luz por lo que es necesario almacenarlos en contenedores herméticos y en la oscuridad para evitar cambios en su composición (Guenther, 1948; Wijesekera, s.f.; Bauer et al., 1990; Lock, 1994; Bruneton, 2001; Bandoni, 2003; Burt, 2004).

Composición

Los aceites esenciales son mezclas complejas y muy variables de componentes y pueden comprender entre 60 y 200 compuestos diferentes. Los compuestos principales pueden constituir hasta el 85% del aceite esencial, mientras que otros componentes están presentes únicamente en trazas. Los componentes de los aceites esenciales pertenecen de manera casi

exclusiva a dos grupos caracterizados por orígenes biogénicos distintos: el grupo de los terpenoides biosintetizados a partir de los pirofosfatos de geranilo y farnesilo por una parte y el grupo de los compuestos aromáticos derivados del fenilpropano los cuales se biosintetizan a partir de la ruta shikimato, mucho menos frecuentes, por otra. Pueden también contener diversos productos procedentes de procesos de degradación que afectan a constituyentes no volátiles (Wijesekera, s.f.; Secondini, 1990; Tuley De Silva, 1995; Lock, 1994; Bruneton, 2001; Burt, 2004; Handson, 2005; Edris, 2007; Bretmaier, 2006; Bakkali et al., 2008; Başer & Buchbauer, 2010).

Propiedades terapéuticas

Se debe tener en cuenta, que a veces se confunde la actividad terapéutica de un aceite esencial con la actividad terapéutica de la planta de la cual procede. Es preciso saber que tal superposición solo es posible en raras ocasiones: así el aceite esencial del romero (*Rosmarinus officinalis* L.) es antibacteriano mientras que la infusión de dicha especie se utiliza tradicionalmente en el tratamiento sintomático de diversos trastornos digestivos, en base a las propiedades antiespasmódicas y coleréticas probablemente debidas a la presencia de compuestos fenólicos (Bruneton, 2001).

C. Métodos oficiales

Son los métodos contemplados en la Farmacopea para obtener los aceites esenciales de uso farmacéutico (Bandoni, 2003; Başer & Buchbauer, 2010):

Destilación con agua

Los vapores generados por la ebullición de una suspensión acuosa de material vegetal aromático permiten el arrastre de los compuestos volátiles que son recolectados luego de ser condensados. La hidrodestilación permite la posterior separación del aceite esencial inmiscible en agua. (Wijesekera, s.f.; Secondini, 1990; Sharapin, 2000; Bruneton, 2001; Bandoni, 2003; Edris, 2007; Bakkali et al., 2010).

El equipo recomendado para realizar extracciones a nivel laboratorio es el aparato tipo Clevenger descrito en la última edición de la Farmacopea Europea (Tuley De Silva, 1995, p. 15; Bruneton, 2001; Bandoni, 2003; Nedorostova et al., 2009; Başer & Buchbauer, 2010). El tiempo total de destilación es función de los componentes presentes en el aceite esencial. Si el aceite contiene compuestos de alto punto de ebullición, el tiempo de destilación deberá ser mayor (Bandoni, 2003).

Es importante resaltar que se ha determinado que el producto obtenido por hidrodestilación, es generalmente diferente de la mezcla de constituyentes inicialmente presentes en los órganos secretores del vegetal, debido a la labilidad de los constituyentes del aceite esencial (Bandoni, 2003). Durante la hidrodestilación, el agua, la acidez y la temperatura pueden inducir la hidrólisis de los ésteres pero también inducir reagrupamientos, isomerizaciones, racemizaciones, oxidaciones, etc. (Wijesekera, s.f.; Bruneton, 2001

D. Análisis de la composición de los aceites esenciales

La identificación de compuestos presentes en los aceites esenciales requiere un trabajo sistemático y meticuroso por tratarse de mezclas muy complejas. En las últimas décadas el desarrollo de métodos instrumentales de análisis ha ayudado a facilitar los procedimientos y disminuir el tiempo para la identificación de estos compuestos gracias a la incorporación de bases de datos y sistemas informáticos. La cromatografía de gases (CG) acoplado a espectrometría de masas, es un claro ejemplo de lo anterior descrito. (Bandoni, 2003; Başer & Buchbauer, 2010).

Cromatografía en fase gaseosa

La cromatografía de gases es una técnica de separación de exigencia farmacopéica basada principalmente en fenómenos de partición entre una fase móvil gaseosa (helio, argón, hidrógeno, nitrógeno) y una fase estacionaria constituida por un líquido muy viscoso retenido en el interior de una columna cromatográfica. La columna se coloca en un horno

con temperatura regulable y programable, lo que permite influir de forma decisiva en la separación de los componentes de la mezcla. La distinta afinidad por esta fase estacionaria por parte de cada uno de los componentes que constituyen la mezcla en análisis determina la separación de los mismos: podrán algunos compuestos ser fuertemente afines a la fase estacionaria, por lo que son retenidos en la misma y saldrán de la columna cromatográfica después de un largo período de tiempo. En el otro extremo podrán existir componentes que sean muy poco afines a la fase estacionaria, y saldrán de la columna casi inmediatamente. En la medida que existan componentes con distintas afinidades, se irán separando dentro de la columna, por lo que se logra finalmente su separación en un espacio de tiempo relativamente corto (Tuley De Silva, 1995; Skoog, Holler, & Nieman, 1998; Sharapin, 2000; Bruneton, 2001; Bandoni, 2003; Başer & Buchbauer, 2010). Para el análisis de aceites esenciales suelen emplearse dos tipos de fases estacionarias: polietilenglicol de peso molecular 20,000 (*Carbowax 20 M*®), que es una fase polar, y polidimetilsiloxano (*OV-101*®, *Ultra 1*®, *HP-1*®, *DB-1*®, etc.), que es una fase apolar (Bandoni, 2003; Skoog et al., 1998; Başer & Buchbauer, 2010).

Cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas

En el estudio de la composición de los aceites es un método muy adecuado debido a que los componentes del aceite son compuestos volátiles y de bajo peso molecular (< 300 *dalton*). La esencia se inyecta directamente en el cromatógrafo, sin ningún tratamiento previo, lo cual elimina posibles modificaciones en la composición de la muestra o en la estructura de sus constituyentes debidas a pretratamiento. Luego de que los compuestos se separan en la columna cromatográfica estas ingresan en el espectrómetro de masas, que permite registrar el correspondiente espectro de cada una de las sustancias. Los constituyentes del aceite esencial se identifican gracias a los diferentes patrones de fragmentación que se observan en sus espectros de masas (Bandoni, 2003; Skoog et al., 1998; Başer & Buchbauer, 2010). Es posible determinar índices de retención en la CG-EM, pero éstos pueden no ser comparables con los bibliográficos, que generalmente se han obtenido con cromatógrafos no acoplados a un espectrómetro (Bandoni, 2003).

Índices de retención

Para la identificación de los componentes de un aceite esencial mediante CG se ha utilizado frecuentemente la comparación de sus tiempos de retención (tiempo transcurrido entre la inyección de la muestra y la aparición del pico cromatográfico) con los patrones. Sin embargo, los tiempos de retención están fuertemente influenciados por numerosas variables, como la técnica de inyección, las variaciones de temperatura o flujo de los gases, el diseño del equipo, etc.

Por este motivo ha sido necesaria la introducción de parámetros relativos como son los tiempos de retención relativos y los índices de retención. Estos se calculan a partir de los tiempos de retención y por comparación con una serie de sustancias a las cuales se les asignan valores arbitrarios de índices de retención. Los más utilizados son los Índices de Kováts, introducidos por Kováts en 1958 y definidos respecto a una serie de n-alcános. A veces, para el cálculo de los índices de retención se emplean series de ésteres metílicos o etílicos de ácidos orgánicos alifáticos y series de hidrocarburos sesquiterpénicos (Tuley De Silva, 1995; Bandoni, 2003; Başer & Buchbauer, 2010).

La identificación de los componentes de un aceite puede realizarse a través de comparación de los índices de retención de las sustancias patrones en dos fases estacionarias, polar y apolar, con los índices obtenidos para los componentes del aceite esencial. Existen recopilaciones muy importantes de estos índices, realizadas por Jennings y Shibamoto en 1980, Davies en 1990 y Adams en 1995, 2001 y 2017, entre otros, y varias bases de datos comerciales (Adams, 2017; Bandoni, 2003). Si bien la información que proporcionan los índices de retención respecto a la identidad de los componentes de la esencia es muy valiosa, la identificación de los mismos no puede basarse exclusivamente en ellos, ya que muchos componentes tienen índices coincidentes o muy similares en ambas columnas. Por ello, es necesario aplicar otras técnicas, entre las cuales se destaca la CG acoplada a la espectrometría de masas. (Bandoni, 2003).

Cuantificación de componentes

Por lo general, la cuantificación de los componentes de un aceite esencial se efectúa por normalización de las áreas de los picos del cromatograma obtenido con un detector FID (por su nombre en inglés: Flame Ionization Detector); este detector es el más utilizado en el caso de los aceites esenciales, por ser un de tipo de detector universal, y poseer una alta sensibilidad. (Sharapin, 2000; Bandoni, 2003; Başer & Buchbauer, 2010). La utilización de factores de corrección es un simplificación, que supone que todos los componentes de la esencia son volátiles y tienen el mismo grado de respuesta al detector, es comúnmente aceptada dada la dificultad para disponer de los patrones necesarios para otros tipos de análisis más exactos, como por ejemplo con un patrón interno (Bandoni, 2003).

E. Actividad antioxidante

Los antioxidantes son sustancias que pueden impedir, retrasar o inhibir las oxidaciones catalíticas y los procesos que inducen a la formación de radicales libres. Existe actualmente un creciente interés en los aditivos naturales como antioxidantes potenciales, por lo cual en los últimos años han sido objeto de estudio muchas fuentes de origen vegetal (Matiz, Osorio, Camacho, Atencia, y Herazo, 2012; Granados et al., 2012). Los aceites esenciales de plantas aromáticas y medicinales contienen principios activos que exhiben bioactividades relevantes como la antioxidante, antifúngica, antimicrobiana, entre otras (Manjamalai, Alexander y Grace, 2012; El-Hawary, El-sofany, AbdelMonem, Ashour y Sleem, 2012).

IV. JUSTIFICACIÓN

El estudio se justificó en la necesidad de la búsqueda de una alternativa para el desarrollo industrial del sector de plantas aromáticas y medicinales de Guatemala, a través de la generación de información básica para la toma de decisiones sobre el cultivo de plantas y producción de aceites esenciales, con base en su potencial económico.

Varias de las plantas de estudio se cultivan de forma familiar o para consumo local en mercados, no habiendo existido interés a la fecha, para su escalamiento para producción a nivel semi-industrial o industrial. De esta forma se espera que los resultados de los aceites esenciales de las plantas estudiadas en el proyecto presenten importancia potencial como fuentes de materias primas que permitan la implantación de agro-industrias en diferentes regiones de Guatemala, para la producción de aceites esenciales.

La extracción y el estudio de los aceites esenciales tienen una importancia considerable en la actualidad debido a sus numerosas propiedades y al creciente interés en los productos y aditivos naturales. La caracterización de los aceites esenciales permitió obtener información relevante de los metabolitos secundarios que lo comprenden; algunos de ellos con propiedades antioxidantes.

V. OBJETIVOS

General

Caracterizar los aceites esenciales de plantas aromáticas, medicinales y de importancia económica en Guatemala, en base a su composición y su rendimiento de extracción.

Específicos

- Determinar el rendimiento de extracción por hidrodestilación de los aceites esenciales de las plantas de estudio.
- Identificar y cuantificar los principales componentes de los aceites esenciales de las plantas de estudio utilizando cromatografía de gases.
- Determinar la actividad antioxidante de los aceites esenciales de las plantas de estudio.

VI. HIPÓTESIS

Existen diferencias en la actividad antioxidante de los aceites esenciales de plantas aromáticas nativas de Guatemala como consecuencia de la variabilidad en la composición química.

VII. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Material vegetal

El material vegetal analizado estuvo compuesto de raíces, flores, tallos, semillas y hojas de las plantas de estudio, de acuerdo a la parte que presente aceite esencial en cada planta. Cada muestra estuvo compuesta de 1 kg de material vegetal húmedo de diferentes individuos. Algunas plantas son colectadas en el Centro Experimental Docente de Agronomía (CEDA), como referencia, para la extracción del aceite esencial y posterior análisis.

B. Preparación de la muestra

Se separaron las hojas y los troncos suaves del material vegetal y eliminar el resto, se mezcló el material vegetal y se secó a temperatura ambiente. Se herborizaron dos ejemplares para depositar en herbario. En el caso de raíces, se limpiaron bien de polvo y se lavaron.

C. Extracción de aceites esenciales por hidrodestilación (sistema Clevenger)

Se pesaron 50 g de material vegetal en un balón de 500 mL, 24/40. Se agregó agua hasta pasar levemente el nivel de la mitad del balón. Se acopló el balón con el aparato de extracción, se encendieron la estufa y la circulación del agua a través del refrigerante del aparato de destilación. Se extrajo el aceite esencial por 2 horas, contadas a partir de la hora en que se inicia la destilación. Se apagó el aparato y el aceite se colectó en n-pentano y concentrado posteriormente en rotavapor. Se midió luego la masa del aceite destilado y se almacenó en un vial de 2 mL en refrigeración para su posterior análisis.

D. Análisis cromatográfico de los aceites esenciales

Los aceites fueron analizados por cromatografía de gases acoplado a espectrometría de masas en el Instituto de Pesquisas de Productos Naturales de la Universidad Federal de Río de Janeiro, Brasil, inyectando 0.1 uL de disolución de 5 mg de aceite esencial en 150 uL de CHCl_3 , en cromatógrafo de gases equipado con una columna HP5 (5% fenil 95% dimetilpolisiloxano) de 30 m x 0.2 mm x 0.25 μm de espesor y programa de temperatura de 60 a 240°C con rampa de 3°C/min y temperatura del inyector de 200°C.

E. Actividad antioxidante

En cada tubo de ensayo de 10 ml: Se realizó una mezcla de 30 μl de buffer tris-HCl (150 mM), 2 ml de etanol y 225 μl de tween 20 (0.5% v/v). A la mezcla anterior se agregaron 15 μl de muestra de aceite esencial, o 15 μl de BHT, o 15 μl de BHA según el caso. Por último, se agregó 1 ml de DPPH (1.5 mM) para posteriormente agitar y dejarle reaccionar en un cuarto oscuro durante 70 minutos. La absorbancia se midió a 515 nm en un espectrofotometro UV/VIS.

VIII. AVAL DE LA UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

En cumplimiento al INSTRUCTIVO PARA EVALUACIÓN TERMINAL DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACIA EN SU MODALIDAD DE “PROYECTO DE INVESTIGACIÓN”.

Se extiende el siguiente aval a LUIS ALBERTO RIZZO HURTADO, para la publicación de los resultados obtenidos en la investigación denominada “DETERMINACIÓN DE ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE Y COMPONENTES MAYORITARIOS DE ACEITES ESENCIALES DE PLANTAS AROMÁTICAS, DE USO MEDICINAL Y DE IMPORTANCIA ECONÓMICA DE GUATEMALA”, los cuales constituyen resultados parciales del proyecto de Investigación Macro denominado “CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE LOS ACEITES ESENCIALES DE PLANTAS AROMÁTICAS, DE USO MEDICINAL Y DE IMPORTANCIA ECONÓMICA DE GUATEMALA”, que forma parte del proyecto FINDECYT/FODECYT 17-2017.

Dr. Juan Francisco Pérez Sabino

Investigador Principal

IX. RESULTADOS

Tabla 1: Caracterización general y rendimiento promedio de extracción (utilizando hidrodestilación por sistema Clevenger) de las especies de estudio.

Nombre científico / Nombre común / Familia	Órgano vegetal utilizado	Localidad de colecta	Rendimiento promedio de extracción (%)
<i>Pimenta dioica</i> Pimienta gorda Myrtaceae	Hojas	Barra Lámpara, Livingston, Izabal. N 15° 46 ' 56.9" O 088° 47 ' 29.9" 13 msnm	0.77
<i>Litsea guatemalensis</i> Laurel Lauraceae	Hojas	Mercado de Sololá. N 14° 46 ' 13.04" O 091° 10 ' 58.94" 2,068 msnm	0.62
<i>Abies guatemalensis</i> Pinabete Pinaceae	Acículas	Finca Chichavac, Tecpán Guatemala, Chimaltenango. N 14° 47 ' 54.8" O 090° 58 ' 59.2" 2,538 msnm	0.11
<i>Foeniculum vulgare</i> Hinojo Apiaceae	Partes aéreas	Centro Experimental y Docente de la Facultad de Agronomía, Campus Central zona 12. Ciudad de Guatemala. N 14° 34 ' 48.61" O 090° 33 ' 14.32" 1,475 msnm	0.72
<i>Salvia microphylla</i> Mirto de monte Lamiaceae	Partes aéreas	Patzicía, Chimaltenango. N 14° 41' 28.3" O 090° 57' 04.6" 2,179 msnm	0.36

<i>Cedrela odorata</i> L. Cedro Meliaceae	Hojas	El Remate, Petén. N 16° 59' 54.0" O 089° 42' 05.58" 135 msnm	0.38
<i>Ocimum micranthum</i> Albahaca de monte Lamiaceae	Partes aéreas	Creek Caliz, Livingston, Izabal. N 15° 42' 36.9" O 088° 54' 24.9" 34 msnm	0.57
<i>Valeriana prionophylla</i> Valeriana Caprifoliaceae	Raíz	Santa Lucía Utatlán, Sololá. N 14° 47' 13.5" O 091° 15' 20.6" 2,347 msnm	0.06
<i>Artemisia ludoviciana</i> Incienso de monte Asteraceae	Hojas	Patzicía, Chimaltenango. N 14° 41' 28.6" O 090° 57' 04.3" 2,179 msnm	0.39
<i>Tagetes lucida</i> Pericón Asteraceae	Partes aéreas	Aldea Estanzuela, Joyabaj, Quiché. N 14° 59' 17.7" O 090° 52' 23.4" 1,557 msnm	0.32
<i>Tagetes tenuifolia</i> Flor de muerto Asteraceae	Partes aéreas	Planta de tratamiento Los Cebollales, Panajachel, Sololá. N 14° 44' 10.91" O 091° 09' 22.10" 1,570 msnm	0.04
<i>Lippia graveolens</i> Orégano Verbenaceae	Hojas	Teculután, Zacapa. N 14° 59' 03.6" O 089° 41' 39.9" 233 msnm	2.75

<i>Lippia graveolens</i> Orégano Verbenaceae	Hojas	Aldea El Subinal, El Progreso. N 14° 51' 21.1" O 090° 08' 01.0" 536 msnm	0.67
<i>Piper peltatum</i> Cordoncillo Piperaceae	Partes aéreas	San Luis, Petén. N 15° 58' 46.4" O 089° 16' 47.9" 131 msnm	0.04
<i>Piper sp.</i> Piperaceae	Hojas	El Remate, Petén. N 16° 59' 38.7" O 089° 43' 06.5" 126 msnm	0.38
<i>Piper sp.</i> Piperaceae	Hojas (ásperas)	Dolores, Petén. N 16° 30' 27.1" O 089° 25' 13.0" 441 msnm	0.13
<i>Piper sp.</i> Piperaceae	Hojas (pubescentes)	Concepción Las Minas, Chiquimula. N 14° 28' 15.9" O 089° 26' 34.0" 932 msnm	0.20
<i>Piper sp.</i> Piperaceae	Hojas (anisadas)	Concepción Las Minas, Chiquimula. N 14° 28' 17.2" O 089° 26' 57.1" 932 msnm	0.75
<i>Stevia serrata</i> Asteraceae	Partes aéreas	Carretera entre Chichicastenango y Santa Cruz del Quiché, Quiché. N 14° 59' 03.7" O 091° 07' 15.0" 2,013 msnm	0.06
<i>Stevia serrata</i> Asteraceae	Partes aéreas	Carretera a Santa María Chiquimula, Totonicapán. N 14° 58' 30.4" O 091° 25' 59.2" 2,830 msnm	0.10

<i>Stevia serrata</i>	Partes aéreas	Aldea San José Ixcaniche, San Miguel Ixtahuacán, San Marcos.	0.15
Asteraceae		N 15° 14' 21.7" O 091° 41' 31.4" 2,093 msnm	

Fuente: Datos experimentales obtenidos en la Unidad de Análisis Instrumental (U.A.I.), Edificio T-13. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. Universidad de San Carlos de Guatemala, campus central, zona 12. Ciudad de Guatemala. Identificación de especies realizada en Herbario BIGU, Edificio T-10. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. USAC, campus central, zona 12. Ciudad de Guatemala.

Tabla 2: Porcentaje de inhibición y actividad antioxidante presentada por cada especie.

Nombre científico	Localidad de colecta / observaciones	% de inhibición (%)	Actividad antioxidante (µl/ml DPPH [1.5 mM])
<i>Pimenta dioica</i>	Barra Lampara, Livingston, Izabal.	82%	0.055
<i>Litsea guatemalensis</i>	Mercado de Sololá.	70%	0.047
<i>Abies guatemalensis</i>	Finca Chichavac, Tecpán Guatemala, Chimaltenango.	82%	0.055
<i>Foeniculum vulgare</i>	Centro Experimental y Docente de la Facultad de Agronomía, campus central zona 12, Ciudad de Guatemala.	60%	0.040
<i>Salvia microphylla</i>	Patzicía, Chimaltenango.	81%	0.054
<i>Cedrela odorata</i> L.	El Remate, Petén.	50%	0.033
<i>Ocimum micranthum</i>	Creek Caliz, Livingston, Izabal.	88%	0.058
<i>Valeriana prionophylla</i>	Santa Lucía Utatlán, Sololá.	34%	0.023
<i>Artemisia ludoviciana</i>	Patzicía, Chimaltenango.	87%	0.058
<i>Tagetes lucida</i>	Aldea Estanzuela, Joyabaj, Quiché.	84%	0.056

<i>Tagetes tenuifolia</i>	Planta de tratamiento Los Cebollales, Panajachel, Sololá.	65%	0.044
<i>Lippia graveolens</i>	Teculután, Zacapa.	81%	0.054
<i>Lippia graveolens</i>	Aldea El Subinal, El Progreso.	88%	0.059
<i>Piper peltatum</i>	San Luis, Petén.	42%	0.028
<i>Piper sp.</i>	El Remate, Petén.	39%	0.026
<i>Piper sp.</i>	Dolores, Petén. Especie con hojas ásperas.	31%	0.021
<i>Piper sp.</i>	Concepción Las Minas, Chiquimula. Especie con hojas pubescentes.	41%	0.027
<i>Piper sp.</i>	Concepción Las Minas, Chiquimula. Especie con hojas anisadas.	35%	0.024
<i>Stevia serrata</i>	Carretera entre Chichicastenango y Santa Cruz del Quiché, Quiché.	46%	0.031
<i>Stevia serrata</i>	Carretera a Santa María Chiquimula, Tonicapán.	N.D.	N.D.
<i>Stevia serrata</i>	Aldea San José Ixcániche, San Miguel Ixtahuacán, San Marcos.	N.D.	N.D.

*N.D.: No determinado.

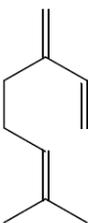
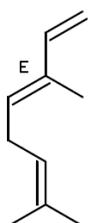
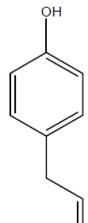
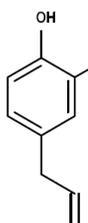
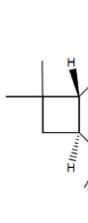
Fuente: Datos experimentales obtenidos en la Unidad de Análisis Instrumental (U.A.I.), Edificio T-13. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. Universidad de San Carlos de Guatemala, campus central, zona 12. Ciudad de Guatemala.

Tabla 3: *Actividad antioxidante experimental de antioxidantes sintéticos: BHT y BHA.*

Nombre del compuesto	Concentración del compuesto (mM)	% de inhibición (%)	Actividad antioxidante ($\mu\text{l/ml}$ DPPH [1.5 mM])
Butilhidroxitolueno (BHT)	1.4	22%	0.014
Butilhidroxianisol (BHA)	1.7	74%	0.049

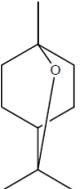
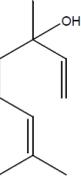
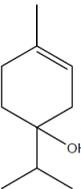
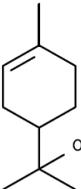
Fuente: Datos experimentales obtenidos en la Unidad de Análisis Instrumental (U.A.I.), Edificio T-13. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. Universidad de San Carlos de Guatemala, campus central, zona 12. Ciudad de Guatemala.

Tabla 4: *Compuestos mayoritarios presentes en la especie Pimenta dioica. Recolectada en Barra Lámpara, Livingston, Izabal.*

<i>Pimenta dioica</i>						
Área (%)	10.03	1.75	3.05	71.37	5.18	
Compuesto	Mirceno	trans-Ocimeno	Chavicol	Eugenol	(<i>E</i>)-Cariofileno	
Estructura						

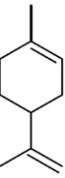
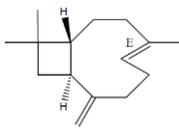
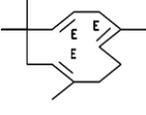
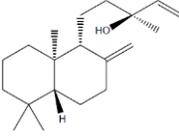
Fuente: Datos experimentales obtenidos en el Centro de Análisis del Laboratorio de Espectroscopía de Masas del Instituto de Investigación de Productos Naturales Walter Mors, Universidad Federal de Río de Janeiro (IPPN-UFRJ). Estructuras obtenidas de Adams, 2017.

Tabla 5: *Compuestos mayoritarios presentes en la especie Litsea guatemalensis. Recolectada en el mercado de Sololá.*

<i>Litsea guatemalensis</i>					
Área (%)	4.01	38.58	10.06	4.78	14.63
Compuesto	α -Pino	1,8-Cineol	Linalol	Terpinen-4-ol	α -Terpineol
Estructura					

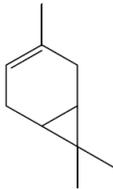
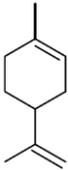
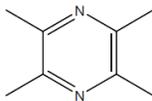
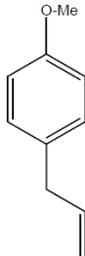
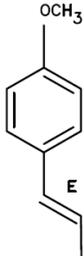
Fuente: Datos experimentales obtenidos en el Centro de Análisis del Laboratorio de Espectroscopía de Masas del Instituto de Investigación de Productos Naturales Walter Mors, Universidad Federal de Río de Janeiro (IPPN-UFRJ). Estructuras obtenidas de Adams, 2017.

Tabla 6: *Compuestos mayoritarios presentes en la especie Abies guatemalensis. Recolectada en Finca Chichavac, Tecpán Guatemala, Chimaltenango.*

<i>Abies guatemalensis</i>						
Área (%)	10.14	6.21	13.80	30.44	4.89	6.56
Compuesto	α -Thujeno	δ -3-Careno	Limoneno	(<i>E</i>)-Cariofileno	α -Humuleno	Manool
Estructura						

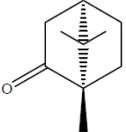
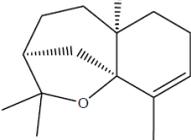
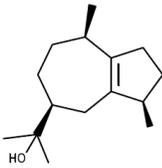
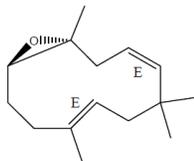
Fuente: Datos experimentales obtenidos en el Centro de Análisis del Laboratorio de Espectroscopía de Masas del Instituto de Investigación de Productos Naturales Walter Mors, Universidad Federal de Río de Janeiro (IPPN-UFRJ). Estructuras obtenidas de Adams, 2017.

Tabla 7: *Compuestos mayoritarios presentes en la especie Foeniculum vulgare. Recolectada en Centro Experimental y Docente de la Facultad de Agronomía, campus central USAC, zona 12, Ciudad de Guatemala.*

<i>Foeniculum vulgare</i>					
Área (%)	3.12	6.59	2.99	3.19	75.16
Compuesto	δ -3-Careno	Limoneno	Fenchona	Metil chavicol	(<i>E</i>)-Anetol
Estructura					

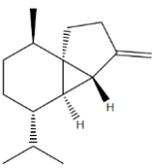
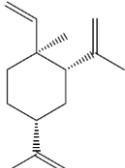
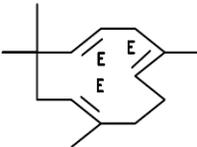
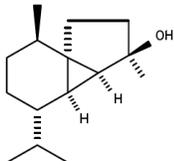
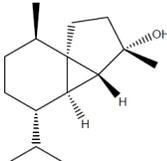
Fuente: Datos experimentales obtenidos en el Centro de Análisis del Laboratorio de Espectroscopía de Masas del Instituto de Investigación de Productos Naturales Walter Mors, Universidad Federal de Río de Janeiro (IPPEN-UFRJ). Estructuras obtenidas de Adams, 2017.

Tabla 8: *Compuestos mayoritarios presentes en la especie Salvia microphylla. Recolectada en Patzicía, Chimaltenango.*

<i>Salvia microphylla</i>					
Área (%)	6.18	8.05	7.59	10.83	7.69
Compuesto	1,8-Cineol	Alcanfor	α -Agarofuran	Guaiol	Epoxido de humuleno II
Estructura					

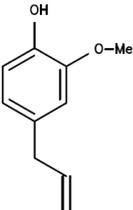
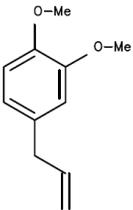
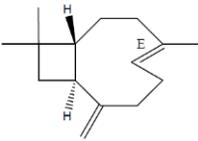
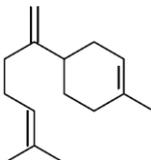
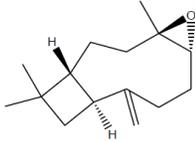
Fuente: Datos experimentales obtenidos en el Centro de Análisis del Laboratorio de Espectroscopía de Masas del Instituto de Investigación de Productos Naturales Walter Mors, Universidad Federal de Río de Janeiro (IPPEN-UFRJ). Estructuras obtenidas de Adams, 2017.

Tabla 9: *Compuestos mayoritarios presentes en la especie Cedrela odorata L. Recolectada en El Remate, Petén.*

<i>Cedrela odorata L.</i>					
Área (%)	10.26	6.78	8.54	6.51	28.80
Compuesto	β -Cubebeno	β -Elemeno	α -Humuleno	epi-Cubebol	Cubebol
Estructura					

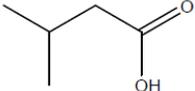
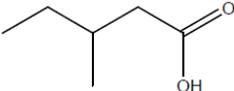
Fuente: Datos experimentales obtenidos en el Centro de Análisis del Laboratorio de Espectroscopía de Masas del Instituto de Investigación de Productos Naturales Walter Mors, Universidad Federal de Río de Janeiro (IPPN-UFRJ). Estructuras obtenidas de Adams, 2017.

Tabla 10: *Compuestos mayoritarios presentes en la especie Ocimum micranthum. Recolectada en Creek Caliz, Livingston, Izabal.*

<i>Ocimum micranthum</i>					
Área (%)	32.42	10.07	9.81	13.29	11.35
Compuesto	Eugenol	Metil eugenol	(<i>E</i>)-Cariofileno	β -Bisaboleno	Óxido de cariofileno
Estructura					

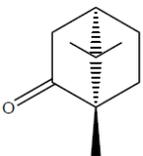
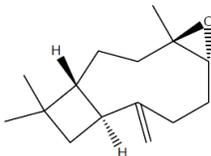
Fuente: Datos experimentales obtenidos en el Centro de Análisis del Laboratorio de Espectroscopía de Masas del Instituto de Investigación de Productos Naturales Walter Mors, Universidad Federal de Río de Janeiro (IPPN-UFRJ). Estructuras obtenidas de Adams, 2017.

Tabla 11: *Compuestos mayoritarios presentes en la especie Valeriana prionophylla. Recolectada en Santa Lucía Utatlán, Sololá.*

<i>Valeriana prionophylla</i>		
Área (%)	60.44	24.39
Compuesto	Ácido isovalérico	Ácido 3-metil-valérico
Estructura		

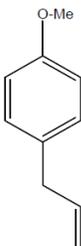
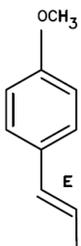
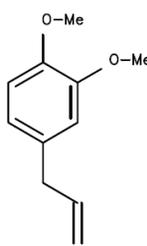
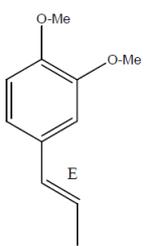
Fuente: Datos experimentales obtenidos en el Centro de Análisis del Laboratorio de Espectroscopía de Masas del Instituto de Investigación de Productos Naturales Walter Mors, Universidad Federal de Río de Janeiro (IPPN-UFRJ). Estructuras obtenidas de Adams, 2017.

Tabla 12: *Compuestos mayoritarios presentes en la especie Artemisia ludoviciana. Recolectada en Patzicía, Chimaltenango.*

<i>Artemisia ludoviciana</i>				
Área (%)	21.66	11.64	8.67	8.32
Compuesto	1,8-Cineol	Alcanfor	Borneol	Óxido de cariofileno
Estructura				

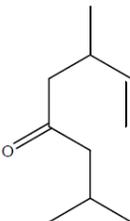
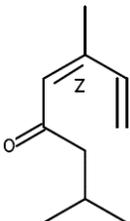
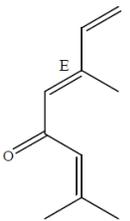
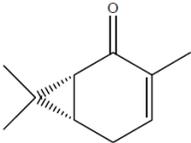
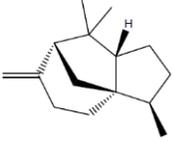
Fuente: Datos experimentales obtenidos en el Centro de Análisis del Laboratorio de Espectroscopía de Masas del Instituto de Investigación de Productos Naturales Walter Mors, Universidad Federal de Río de Janeiro (IPPN-UFRJ). Estructuras obtenidas de Adams, 2017.

Tabla 13: *Compuestos mayoritarios presentes en la especie Tagetes lucida. Recolectada en la aldea Estanzuela, Joyabaj, Quiché.*

<i>Tagetes lucida</i>				
Área (%)	11.43	4.39	66.72	4.25
Compuesto	Metil chavicol	(<i>E</i>)-Anetol	Metil eugenol	(<i>E</i>)-Metil isoeugenol
Estructura				

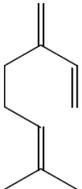
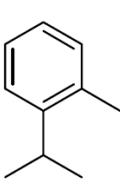
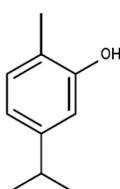
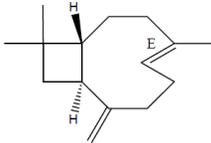
Fuente: Datos experimentales obtenidos en el Centro de Análisis del Laboratorio de Espectroscopía de Masas del Instituto de Investigación de Productos Naturales Walter Mors, Universidad Federal de Río de Janeiro (IPPN-UFRJ). Estructuras obtenidas de Adams, 2017.

Tabla 14: *Compuestos mayoritarios presentes en la especie Tagetes tenuifolia. Recolectada en la planta de tratamiento Los Cebollales, Panajachel, Sololá.*

<i>Tagetes tenuifolia</i>					
Área (%)	5.44	11.49	10.45	44.54	5.16
Compuesto	Dihidrotagetona	cis-Tagetona	trans-Ocimenona	Car-3-en-2-ona	β -Funebreno
Estructura					

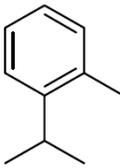
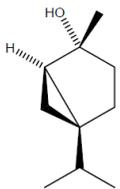
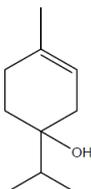
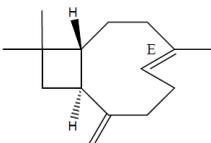
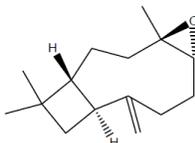
Fuente: Datos experimentales obtenidos en el Centro de Análisis del Laboratorio de Espectroscopía de Masas del Instituto de Investigación de Productos Naturales Walter Mors, Universidad Federal de Río de Janeiro (IPPN-UFRJ). Estructuras obtenidas de Adams, 2017.

Tabla 15: *Compuestos mayoritarios presentes en la especie Lippia graveolens. Recolectada en Teculután, Zacapa.*

<i>Lippia graveolens</i> (Zacapa)					
Área (%)	2.18	11.55	5.98	55.41	2.14
Compuesto	Mirceno	o-Cimeno	γ -Terpineno	Carvacrol	(<i>E</i>)-Cariofileno
Estructura					

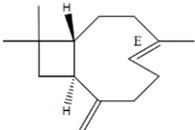
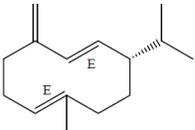
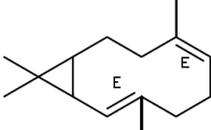
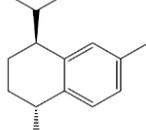
Fuente: Datos experimentales obtenidos en el Centro de Análisis del Laboratorio de Espectroscopía de Masas del Instituto de Investigación de Productos Naturales Walter Mors, Universidad Federal de Río de Janeiro (IPPN-UFRJ). Estructuras obtenidas de Adams, 2017.

Tabla 16: *Compuestos mayoritarios presentes en la especie Lippia graveolens. Recolectada en la aldea El Subinal, El Progreso.*

<i>Lippia graveolens</i> (El Progreso)					
Área (%)	7.29	8.29	10.13	7.43	6.29
Compuesto	o-Cimeno	Hidrato de trans-sabineno	Terpinen-4-ol	(<i>E</i>)-Cariofileno	Óxido de cariofileno
Estructura					

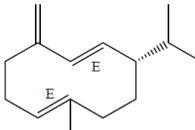
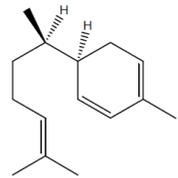
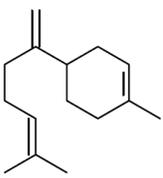
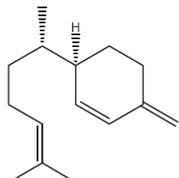
Fuente: Datos experimentales obtenidos en el Centro de Análisis del Laboratorio de Espectroscopía de Masas del Instituto de Investigación de Productos Naturales Walter Mors, Universidad Federal de Río de Janeiro (IPPN-UFRJ). Estructuras obtenidas de Adams, 2017.

Tabla 17: *Compuestos mayoritarios presentes en la especie Piper peltatum. Recolectada en San Luis, Petén.*

<i>Piper peltatum</i>				
Área (%)	22.46	14.98	7.20	11.73
Compuesto	(<i>E</i>)-Cariofileno	Germacreno D	Biciclogermacreno	Trans-Calameneno
Estructura				

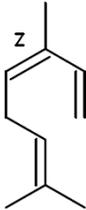
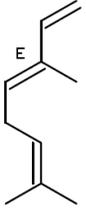
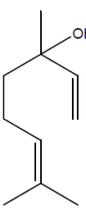
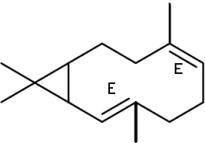
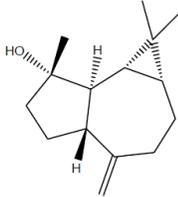
Fuente: Datos experimentales obtenidos en el Centro de Análisis del Laboratorio de Espectroscopía de Masas del Instituto de Investigación de Productos Naturales Walter Mors, Universidad Federal de Río de Janeiro (IPPN-UFRJ). Estructuras obtenidas de Adams, 2017.

Tabla 18: *Compuestos mayoritarios presentes en la especie Piper sp. Recolectada en El Remate, Petén.*

<i>Piper sp.</i>				
Área (%)	12.60	23.53	21.71	8.29
Compuesto	Germacreno D	α -Zingibereno	β -Bisaboleno	β -Sesquifelandreno
Estructura				

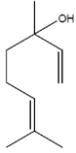
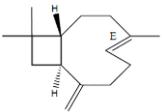
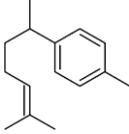
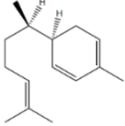
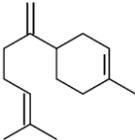
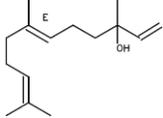
Fuente: Datos experimentales obtenidos en el Centro de Análisis del Laboratorio de Espectroscopía de Masas del Instituto de Investigación de Productos Naturales Walter Mors, Universidad Federal de Río de Janeiro (IPPN-UFRJ). Estructuras obtenidas de Adams, 2017.

Tabla 19: *Compuestos mayoritarios presentes en la especie Piper sp. Recolectada en Dolores, Petén. Caracterizada por presentar hojas ásperas.*

<i>Piper sp. (Hojas ásperas)</i>					
Área (%)	9.35	6.68	13.78	18.24	10.82
Compuesto	(Z)- β -Ocimeno	(E)- β -Ocimeno	Linalol	Biciclogermacreno	Espatuleno
Estructura					

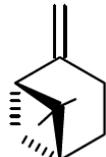
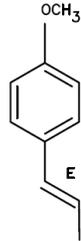
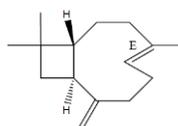
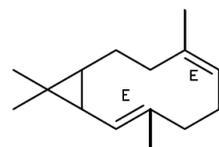
Fuente: Datos experimentales obtenidos en el Centro de Análisis del Laboratorio de Espectroscopía de Masas del Instituto de Investigación de Productos Naturales Walter Mors, Universidad Federal de Río de Janeiro (IPPN-UFRJ). Estructuras obtenidas de Adams, 2017.

Tabla 20: *Compuestos mayoritarios presentes en la especie Piper sp. Recolectada en Concepción Las Minas, Chiquimula. Caracterizada por presentar hojas pubescentes.*

<i>Piper sp. (Hojas pubescentes)</i>						
Área (%)	25.27	7.71	7.55	7.74	16.43	7.95
Compuesto	Linalol	(E)-Cariofileno	α -Curcumeno	α -Zingibereno	β -Bisaboleno	(E)-Nerolidol
Estructura						

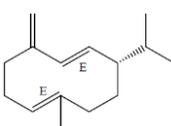
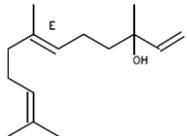
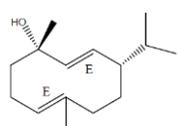
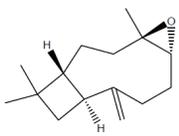
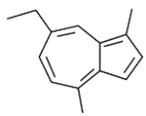
Fuente: Datos experimentales obtenidos en el Centro de Análisis del Laboratorio de Espectroscopía de Masas del Instituto de Investigación de Productos Naturales Walter Mors, Universidad Federal de Río de Janeiro (IPPN-UFRJ). Estructuras obtenidas de Adams, 2017.

Tabla 21: *Compuestos mayoritarios presentes en la especie Piper sp. Recolectada en Concepción Las Minas, Chiquimula. Caracterizada por presentar hojas anisadas.*

<i>Piper sp. (Hojas anisadas)</i>					
Área (%)	3.08	2.89	64.83	7.33	3.39
Compuesto	α -Pinenol	β -Pinenol	(<i>E</i>)-Anetol	(<i>E</i>)-Cariofileno	Biciclogermacreno
Estructura					

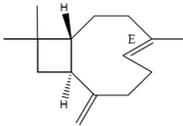
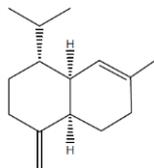
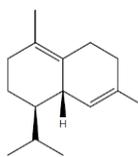
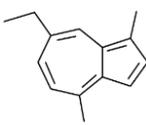
Fuente: Datos experimentales obtenidos en el Centro de Análisis del Laboratorio de Espectroscopía de Masas del Instituto de Investigación de Productos Naturales Walter Mors, Universidad Federal de Río de Janeiro (IPPN-UFRJ). Estructuras obtenidas de Adams, 2017.

Tabla 22: *Compuestos mayoritarios presentes en la especie Stevia serrata. Recolectada en carretera entre Chichicastenango y Santa Cruz del Quiché, Quiché.*

<i>Stevia serrata (Quiché)</i>					
Área (%)	8.72	4.10	6.04	9.01	56.06
Compuesto	Germacreno D	(<i>E</i>)-Nerolidol	Germacren D-4-ol	Óxido de cariofileno	Camazuleno
Estructura					

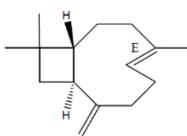
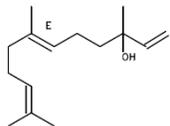
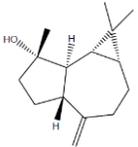
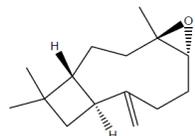
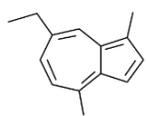
Fuente: Datos experimentales obtenidos en el Centro de Análisis del Laboratorio de Espectroscopía de Masas del Instituto de Investigación de Productos Naturales Walter Mors, Universidad Federal de Río de Janeiro (IPPN-UFRJ). Estructuras obtenidas de Adams, 2017.

Tabla 23: *Compuestos mayoritarios presentes en la especie Stevia serrata. Recolectada en carretera a Santa María Chiquimula, Totonicapán.*

<i>Stevia serrata</i> (Totonicapán)				
Área (%)	3.99	15.26	3.86	62.47
Compuesto	(<i>E</i>)-Cariofileno	γ -Muuroleno	δ -Cadineno	Camazuleno
Estructura				

Fuente: Datos experimentales obtenidos en el Centro de Análisis del Laboratorio de Espectroscopía de Masas del Instituto de Investigación de Productos Naturales Walter Mors, Universidad Federal de Río de Janeiro (IPPEN-UFRJ). Estructuras obtenidas de Adams, 2017.

Tabla 24: *Compuestos mayoritarios presentes en la especie Stevia serrata. Recolectada en aldea San José Ixcaniche, San Miguel Ixtahuacán, San Marcos.*

<i>Stevia serrata</i> (San Marcos)					
Área (%)	6.59	7.09	7.88	11.82	42.94
Compuesto	(<i>E</i>)-Cariofileno	(<i>E</i>)-Nerolidol	Espatuleno	Óxido de cariofileno	Camazuleno
Estructura					

Fuente: Datos experimentales obtenidos en el Centro de Análisis del Laboratorio de Espectroscopía de Masas del Instituto de Investigación de Productos Naturales Walter Mors, Universidad Federal de Río de Janeiro (IPPEN-UFRJ). Estructuras obtenidas de Adams, 2017.

X. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En la Tabla 1 se evidencia una alta variabilidad en los rendimientos de extracción según la especie y localización de colecta; lo cual es normal ya que diferentes condiciones climáticas y metabolismos conllevan diferentes rutas biosintéticas, generando variaciones en la composición química; es decir, los factores endógenos y exógenos alteran la composición química en las diferentes especies (Barra, 2009). El mayor rendimiento de extracción en este estudio fue de 2.75% y lo presentó la especie *Lippia graveolens*, específicamente el espécimen recolectado en Zacapa. Otro rendimiento a destacar, el segundo mayor, es el presentado por la *Pimienta dioica* (0.77%). Ambos son relevantes en este trabajo debido a la actividad antioxidante que presentan. La actividad antioxidante generalmente está determinada por reactividad del sustrato, pero también por estabilidad del producto final (Londoño, 2012). Para cuantificar el porcentaje de inhibición, y calcular posteriormente la actividad antioxidante (ver tabla 2), se utilizó el método de reducción del radical DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidracilo), el cual es perceptible por la pérdida de color del mismo, lo que permite relacionar la decoloración del DPPH con la actividad antioxidante que presenta el propio aceite esencial (Brand-Williams, Cuvelier y Berset, 1995).

En este estudio se utilizaron como sustancias de referencia soluciones de butil hidroxitolueno (BHT) y butil hidroxianisol (BHA), en concentraciones 1.4 mM y 1.7 mM respectivamente (ver tabla 3). Estos dos antioxidantes sintéticos son ampliamente utilizados en la industria farmacéutica y de alimentos; siendo el BHT el menos efectivo y el más económico. Sin embargo existen estudios que demuestran que ambos ocasionan efectos secundarios dañinos sobre la salud humana, por lo que actualmente existe gran interés en encontrar alternativas antioxidantes de origen natural. (Bush y Taylor, 1998; Ito, Fukushima, Hasegawa, Shibata y Ogiso, 1983). En la tabla 3 se puede observar que el BHT y el BHA presentan una actividad de 0.014 $\mu\text{l/ml}$ DPPH y 0.049 $\mu\text{l/ml}$ DPPH, equivalente a un 22% y 74% de inhibición respectivamente. El porcentaje de inhibición representa la capacidad porcentual que tienen quince microlitros de BHT (1.4 mM) o BHA

(1.7 mM) de interrumpir la degradación de un mililitro de DPPH 1.5 mM; mientras que la actividad antioxidante representa la cantidad de microlitros inhibidos frente a la degradación de un mililitro de DPPH 1.5 mM. La comparación de actividad antioxidante de los aceites esenciales de este estudio frente a la de estos dos antioxidantes sintéticos permite conocer posibles alternativas de antioxidantes de origen natural.

Mencionado lo anterior, la actividad antioxidante del aceite esencial de *Pimenta dioica* es significativamente alta: 0.055 $\mu\text{l/ml}$ DPPH. Dentro de los componentes mayoritarios y con un elevado potencial antioxidante se incluyen eugenol, cariofileno y chavicol, presentes en un 71%, 5% y un 3% respectivamente (ver tablas 2 y 4). Es destacable la presencia de eugenol debido a que son varios los estudios que señalan la actividad antioxidante del eugenol por inhibir la peroxidación lipídica (Toda, Ohnishi, Kimura y Toda, 1994).

El aceite esencial de *Abies guatemalensis*, especie también conocida como pinabete o abeto de Guatemala, también presentó alta actividad antioxidante (0.055 $\mu\text{l/ml}$ DPPH), destacando entre sus componentes mayoritarios con propiedades antioxidantes el limoneno, el β -cariofileno y el α -humuleno, este último también conocido como α -cariofileno. La mayoría de aceites esenciales con cantidades significativas de cariofileno en su composición presentan actividad antioxidante (Acevedo, Navarro, y Monrroy, 2013; Huang, 2011).

El género *Salvia*, pertenece a la familia Lamiaceae, y presenta más de mil especies distribuidas generalmente en regiones tropicales y subtropicales (Fernández, 2006). Las familias de compuestos presentes en este género son sesquiterpenos, diterpenos, triterpenos, esteroides y polifenoles los cuales presentan en varios casos bioactividad (Yi-Bing et al., 2012). Para esta especie también se ha reportado actividad antimicrobiana, analgésica, antipirética, anticancerígena, antiinflamatoria y antioxidantes (Kamatou, Makunga, Ramogola y Viljoen, 2008; Akin, Demirci, Bagci y Husnu, 2010). En este estudio se analizó la especie *S. microphylla*, la cual presentó una alta actividad antioxidante (0.054

$\mu\text{l/ml}$ DPPH), teniendo como componentes mayoritarios: guaiol, alcanfor, epóxido de humuleno II, α -agarofuran y 1,8-cineol.

En el caso de la *Ocimum micranthum*, la actividad antioxidante de los aceites esenciales puede ser atribuida a la presencia de compuestos fenólicos, especialmente el eugenol, el cual ha demostrado propiedades de captación de radicales libres (Dambolena et al., 2010). La presencia de varios sesquiterpenos también es importante, entre ellos el cariofileno, bisaboleno y germacreno D, los cuales poseen la capacidad de eliminación de radicales (Callejas, 2013). Varias especies de plantas pertenecientes este género se han utilizado en la medicina tradicional en tratamientos para enfermedades gastrointestinales y bronquiales además de presentar actividad antimicrobiana y repelente (Lino et al., 2005; Navarro et al., 2003).

En la especie *Artemisa ludoviciana* analizada se destacan compuestos terpénicos mayoritarios como el borneol, alcanfor y 1,8-cineol; estos últimos dos también se encontraron presentes como componentes mayoritarios en la *Salvia microphylla* explicada anteriormente. Ambos aceites esenciales presentaron actividad antioxidante similar.

La actividad antioxidante no siempre está relacionada estrictamente a compuestos mayoritarios o componentes principales, también existe una relación de esta actividad con la presencia de componentes con alto potencial antioxidante en proporciones minoritarias o la sinergia entre ellos (Muñoz et al., 2007). En el caso de la especie *Tagetes lucida* el componente mayoritario presente en un 67% es el metil eugenol, sin embargo resaltan varios compuestos minoritarios (ver tabla 34) con una actividad antioxidante considerable: Anetol, timol, eugenol, cariofileno, germacreno D (Muñoz-Acevedo, Kouznetsov, y Stashenko, 2009; Dambolena et al., 2010; Toda et al., 1994; Callejas, 2013).

Se analizaron también dos especímenes de *Lippia graveolens*, uno recolectado en Zacapa y otro recolectado en El Progreso. Ambos mostraron alta actividad antioxidante: 0.054 $\mu\text{l/ml}$ DPPH y 0.059 $\mu\text{l/ml}$ DPPH respectivamente (ver tabla 2). La composición química de ambos extractos varía y comparten únicamente dos componentes mayoritarios en diferentes proporciones: (*E*)-cariofileno y o-cimeno (ver tablas 12 y 13). En el caso del aceite correspondiente al espécimen colectado en Zacapa, la actividad antioxidante se puede atribuir a su componente mayoritario carvacrol, un compuesto fenólico, presente en una proporción que ronda el 55%; los compuestos fenólicos presentan en la mayoría de casos actividad antioxidante como consecuencia de su estructura química; los géneros *Thymus*, *Origanum*, *Satureja*, *Thymbra* y *Lippia* presentan concentraciones altas de estos compuestos en sus aceites (Arango, Bolaños, Villota, Hurtado y Toro, 2012). Además, este espécimen presenta entre sus componentes mayoritarios al γ -terpineno en una proporción próxima al 6%; el cual ha demostrado inhibir la peroxidación del ácido linoleico (Tafurt, Martínez y Stashenko, 2005). Por otro lado, el espécimen de *Lippia graveolens* colectado en El Progreso presenta entre sus componentes con alto potencial antioxidante el terpinen-4-ol, γ -terpineno, β -eudesmol, α -eudesmol y cariofileno). El primero de estos compuestos es un alcohol insaturado que presenta la propiedad de potencial antioxidante (Granados, Yáñez y Santafé, 2012). Además, la presencia de sesquiterpenos como el cariofileno, β -eudesmol y α -eudesmol podrían también potenciar la actividad antioxidante de este aceite esencial.

Varias especies demostraron una considerable actividad antioxidante, aunque no mayor a las anteriormente descritas. *Litsea guatemalensis* presentó como componentes mayoritarios α -terpineol y terpinen-4-ol (ver tabla 5), por lo cual es razonable su actividad antioxidante de 0.047 $\mu\text{l/ml}$ DPPH, siendo levemente inferior a la actividad antioxidante del BHA 0.049 $\mu\text{l/ml}$ DPPH. La especie *Tagetes tenuifolia* con una actividad antioxidante de 0.044 $\mu\text{l/ml}$ DPPH presenta mayoritariamente compuestos relacionados con la tagetona, siendo un género ampliamente utilizado en la medicina tradicional como diurético, antiinflamatorio, entre otros (Escobar, Herrera, Leal, Durán y Stashenk, 2009).

Por otro lado, se ha demostrado que varios aceites esenciales con bioactividad presentan trans-anetol, carvacrol y timol en su composición. A pesar de no demostrar una elevada actividad antioxidante, por tratarse de éteres aromáticos, presentan cierta capacidad antioxidante; eso sí, inferior a la presentada por los aceites con fenoles en su composición (Muñoz-Acevedo et al., 2009). El aceite esencial de la especie *Foeniculum vulgare* presentó 75% de (*E*)-anetol, un éter aromático, en su composición; y demostró una actividad antioxidante de 0.040 $\mu\text{l/ml}$ DPPH, siendo esta inferior al 0.049 $\mu\text{l/ml}$ DPPH presentada por el BHA.

Los aceites esenciales de las especies *Cedrela odorata* L. y *Valeriana prionophylla* presentaron una baja actividad antioxidante, con un porcentaje de inhibición menor al 50% (ver tabla 2). En el caso de la composición química de la *C. odorata* se presentan mayormente hidrocarburos saturados o ligeramente insaturados, por lo que la estabilización de radicales es mínima (García et al., 2007). A pesar de ello, presenta una actividad antioxidante de 0.033 $\mu\text{l/ml}$ DPPH posiblemente a la presencia de compuestos como el germacreno D y α -humuleno. La baja actividad antioxidante del aceite esencial de *V. prionophylla* deriva de su composición, ya que presenta un 60% de ácido isovalérico y un 24% de ácido 3-metil-valérico; ambos compuestos altamente estables por tratarse de ácidos carboxílicos.

Las cinco especies de *Piper* estudiadas también presentaron una baja actividad antioxidante (ver tabla 2); Algunos estudios de este género revelan la carencia de compuestos fenólicos en la composición de sus aceites y por consiguiente presentan una reducida capacidad antioxidante, siendo esta última explicada por la presencia de compuestos con hidrógenos arílicos (García et al., 2007).

El aceite esencial extraído de tres diferentes especímenes de *Stevia serrata* difieren poco en su composición química (ver tablas 22, 23, 24, 43, 44 y 45). Compartiendo compuestos como α -humuleno, γ -muuroleno y biciclogermacreno en diferentes proporciones y siendo el

germacreno D, (*E*)-cariofileno, (*E*)-nerolidol y camazuleno los compuestos mayoritarios, siendo este último el predominante en los tres especímenes. La lectura de absorbancia para la determinación de actividad antioxidante, por espectrofotometría UV-Vis se realizó a 515 nm. Dicho valor es afectado por la interferencia de la presencia del camazuleno que se encuentra en alta concentración en el aceite y presenta fuerte absorbancia de 340 nm a 530 nm (Salihović, Šapčanin, Špirtović-Halilović y Završnik, 2016). Por consiguiente no fue posible obtener valores de absorbancia exactos para esta especie, por lo que su actividad antioxidante no fue determinada.

Lo anteriormente expuesto confirma que existe una estrecha relación entre la actividad antioxidante de un aceite esencial y la composición química del mismo. También se evidencia que existen potenciales alternativas naturales de antioxidantes en algunas especies vegetales presentes en Guatemala, entre las que destacan: *Lippia graveolens*, *Ocimum micranthum*, *Artemisia ludoviciana*, *Tagetes lucida*, *Pimenta dioica*, *Abies guatemalensis* y *Salvia microphylla*. Por lo que resulta relevante continuar la investigación de estas especies en cuanto a posibles aplicaciones que les den mayor valor agregado.

XI. CONCLUSIONES

- La especie *Lippia graveolens* colectada en Zacapa presentó el mayor porcentaje de rendimiento de extracción de aceites esenciales por hidrodestilación correspondiente a 2.75%; seguida por la especie *Pimienta dioica* con 0.77% y *Piper* sp. colectado en Concepción Las Minas, Chiquimula con 0.75%.
- Los aceites esenciales que presentaron una actividad antioxidante mayor que la presentada por el hidroxianisol butilado BHA 1.7 mM, pertenecen a las especies: *Lippia graveolens*, *Abies guatemalensis*, *Ocimum micranthum*, *Artemisia ludoviciana*, *Tagetes lucida*, *Pimienta dioica*, y *Salvia microphylla*.
- La composición química de las cinco especies del género *Piper* estudiadas no muestran una estrecha relación entre sí; y sus aceites esenciales presentaron una baja actividad antioxidante respecto a las demás especies y el BHA 1.7 mM.
- Los tres especímenes de *Stevia serrata* presentan entre sus componentes mayoritarios: camazuleno, germacreno D, (*E*)-cariofileno y (*E*)-nerolidol; así como componentes en diferentes proporciones de: α -humuleno, γ -muuroleno y biciclogermacreno. Manteniendo así, una relación en su composición química.
- La especie *P. dioica* presentó entre su composición los antioxidantes naturales eugenol y chavicol, en una distribución del 71% y 3% respectivamente.
- *Litsea guatemalensis*, *Tagetes tenuifolia* y *Foeniculum vulgare* presentaron actividad antioxidante similar a la presentada por el BHA 1.7 mM.
- Diferentes especímenes de una misma especie presentaron variabilidad en su composición química por ser originarios de distintas regiones de Guatemala y verse afectados así por factores endógenos y exógenos.
- Las especies con mayor actividad antioxidante comparten algunos compuestos entre los que destacan el eugenol, chavicol, terpinen-4-ol, germacreno D, alcanfor, 1,8-cineol, anetol, timol y cariofileno.

XII. RECOMENDACIONES

- Realizar un estudio multivariable que relacione y agrupe diferentes especies vegetativas según la composición química de sus aceites esenciales.
- Estudiar la actividad antioxidantes de *Lippia graveolens* procedente de diferentes regiones del país, ya que ambos especímenes estudiados presentaron una alta actividad antioxidante.
- Continuar la investigación con el estudio cromatográfico y actividad antioxidante de nuevas especies de plantas aromáticas con el fin de encontrar alternativas de antioxidantes naturales.
- Evaluar la actividad antioxidante de algunos compuestos puros, y mezclas de los mismos, presentes en los aceites con mayor actividad antioxidante para compararlos con la actividad propia del aceite.

XIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACCT. (1985). Contribution aux études ethnobotaniques et floristiques a la Dominique. Paris: ACCT.
- Acevedo, D., Navarro, M. y Monrroy, L. (2013) Composición química del aceite esencial de hojas de Orégano (*Origanum vulgare*). *Información Tecnológica*: 24(4), en prensa.
- Adams, R. (2017). Identification of Essential Oil Components by Gas Chromatography/Quadrupole Mass Spectroscopy. USA: Allured Publishing Corporation.
- Akin, M., Demirci B., Bagci, Y., Husnu, C. (2010). Antibacterial activity and composition of the essential oils of two endemic Salvia sp. from Turkey. *African Journal of Biotechnology*, 9, 2322–2327.
- Alonso, J. (1998). *Tratado de fitofármacos y nutracéuticos*. Buenos Aires: ISIS Ediciones.
- Anónimo. (1986). *Aceites esenciales y oleorresinas: estudio de distintos productores y de mercados importantes*. Dinamarca: Centro de comercio internacional UNCTAD/GATT.
- Aragão, A. (1981). *Oleos essenciais de plantas do nordeste*. Brasil: Edições UFC.
- Arango, O., Bolaños, F., Villota, O., Hurtado A., Toro, I. (2012). Optimización del rendimiento y contenido de timol de aceite esencial de orégano silvestre obtenido por arrastre con vapor. *Revista BioAgro*, 10(2), 217 – 226.
- Arteche, A. (1992). *Fitoterapia: vademecum de prescripción*. Bilbao: CITA.
- Bakkali, F., Averbeck, S., Averbeck, D., & Idaomar, M. (2008). Biological effects of essential oils- A review. *Food and Chemical Toxicology*, 46, 446-475.
- Bandoni, A. (2003). *Los recursos vegetales aromáticos en Latinoamérica: su aprovechamiento industrial para la producción de aromas y sabores*, (2a ed.). Buenos Aires: CYTED.
- Barra, A. (2009). Factors affecting chemical variability of essential oils: A review of recent developments. *Natural product communications*, 4, 1147-1154.

- Barros, M. V., Rocha de Melo, A. K., Medeiros, L., Maia de Morais, S., & Sousa, D.C. (2007). Topical anti-inflammatory, gastroprotective and antioxidant effects of the essential oil of *Lippia sidoides* Cham. leaves. *Journal of Ethnopharmacology*, *111*, 378-382.
- Başer, K., & Buchbauer, G. (2010). *Handbook of Essential Oils: Science, Technology and Applications*. New York: CRC Press.
- Bauer, K., Garbe, D., & Surburg, H. (1990). *Common fragrance and flavor materials: Preparation, properties and uses* (2nd ed.). Germany: VCH Verlagsgesellschaft.
- Bicchi, C., Fresia, M., Rubiolo, P., Monti, D., Franz, Ch., Göehler, I. (1997). Constituents of *Tagetes lucida* Cav. ssp. *lucida* essential oil. *Flavour and Fragrance Journal*, *12*, 47-52.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M., Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LebensmittelWissenschaft und Technologie*: *28*(1), 25-30.
- Bretmaier, E. (2006). *Terpenes: Flavors, Fragrances, Pharmaca, Pheromones*. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co KGaA.
- Bruneton, J. (2001). *Farmacognosia: fitoquímica plantas medicinales*, (2a ed.). España: ACRIBIA S.A.
- Budavari, S. (Ed.). (2001). *The Merck Index: An Encyclopedia of chemicals, drugs, and biological*, (13th ed.). U.S.A: Merck & Co
- Burdock, G. (2005). *Fenaroli's handbook of flavor ingredients*, (5 Ed). CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Burdock, G. (2010). *Fenaroli's handbook of flavor ingredients*, (6th Ed.). USA: CRC Press.
- Burt, S. (2004). Essential oils: Their antibacterial properties and potencial applications in foods- A review. *International Journal of Food Microbiology*, *94*, 223-253.
- Bush, R., Taylor, S. (1998). *Adverse reactions to food and drug additives, in allergy: principles and practice*, (5th ed). St Louis: Mosby.

- Cáceres, A. (1996). *Plantas de Uso Medicinal en Guatemala*. Guatemala: Editorial Universitaria.
- Cáceres, A., Fletes, L., Aguilar, L., Ramírez, O., Figueroa L., Taracena, A., Samayoa, B. (1993). Plants used in Guatemala for the treatment of gastrointestinal disorders 3. Confirmation of activity against enterobacteria of 16 plants. *Journal of Ethnopharmacology*, 38, 31-38.
- Cáceres, A. Figueroa, L., Taracena, A., Samayora, B. (1992) Plants used in Guatemala for the treatment of respiratory diseases. 2: Evaluation of activity of 16 plants against Gram-positive bacteria. *Journal of Ethnopharmacology*. 39, 77-82.
- Cáceres, A. (2003). *Vademecum de plantas medicinales*. Guatemala: Editorial Universitaria.
- Charles, D., Simon, J., Wood, K. (1990). Essential oil constituents of *Ocinum micranthum* Willd. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 38, 120-122.
- Chun-Lin, Y., De-Hui, D., Wei-Lian, H. (2013). Antimicrobial and antioxidant activities of the essential oil from onion (*Allium cepa* L.). *Food Control*, 30, 48-53.
- Callejas, M., Vieites, J., Montero-Meterdez, T., Torres, M., Faus, M., Gil, A., Suárez, A. (2013). The antioxidant effect of β -caryophyllene protects rat liver from carbon tetrachloride-induced fibrosis by inhibiting hepatic stellate cell activation. *British Journal of Nutrition*, 109, 394–401.
- Compadre, C. M., Hussain, R.A., Lopez de Compadre, L., Pezzuto, J.M., & Kinghorn, A.D. (1987). The Intensely sweet sesquiterpene hernandulcin: Isolation, synthesis, characterization, and preliminary safety evaluation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 35, 273-279.
- Compadre, C.M., Pezzuto, J.M., Kinghorn AD, Kamath S.K. (1985). Hernandulcin: An intensely sweet compound discovered by review of ancient literature. *Science*, 227, 417-419.
- Compadre, C. M., Hussain, R.A., Lopez de Compadre, L., Pezzuto, J.M., & Kinghorn, A.D. (1986). The Intensely sweet sesquiterpene hernandulcin: Isolation, synthesis,

- characterization, and preliminary safety evaluation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 35, 273-279.
- Craveiro, A. A., Alencar, J.W., Matos, F.J.A., Andrade, C.H.S., & Machado, M.I.L. (1981). Essential oils from Brazilian Verbenaceae. *Genus Lippia. Journal of Natural Products*, 44, 598-601.
- Dambolena, J., Zunino, M., Lucini, E., Olmedo, R., Banchio, E., Bima P., Zygadlo J. (2010). Total phenolic content, radical scavenging properties and essential oil composition of *Origanum* species from different populations. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58 (2), 115-120.
- De Barros, G., Vale, T., Silva, C.M.M., De Abreu, M. (2000). Anticonvulsant activity of essential oils and active principles from chemotypes of *Lippia alba* (Mill.) N.E. Brown. *Journal of Pharmaceutical Biology*, 23, 1314-1317.
- De las Heras, B., Slowing, K., Benedi, J., Carretero, E., Ortega, T., Toledo, C., et al. (1998). Antiinflammatory and antioxidant activity of plants used in traditional medicine in Ecuador. *Journal of Ethnopharmacology*, 61, 161-166.
- Dellacassa, E., Soler, E., Menéndez, P. & Moyna, P. (1990). Essential Oils from *Lippia alba* (Mill.) N.E. Brown and *Aloysia chamaedrifolia* Cham. (Verbenaceae) from Uruguay. *Flavour and Fragrance Journal*, 5, 107-108.
- De Oliveira, L.; et al. (2004). Genetic diversity of "Pimenta longa" genotypes. *Journal of Molecular Biology*, 27(1).
- Durán, R. y Borja, P. (1993). Actividad antioxidante de los compuestos fenólicos. *Instituto de la Grasa y sus Derivados (C.S.I.C)*, 44(23), 101-105.
- Edris, A. (2007). Pharmaceutical and therapeutic potential of essential oils and their individual volatile constituents- A review. *Phytotherapy Research*, 21, 308-323.
- Escobar, P., Herrera, L., Leal, S., Durán, C., Stashenk, E. (2009). Composición química y actividad antitripanosomal de aceites esenciales obtenidos de *Tagetes* (Fam. Asteraceae), recolectados en Colombia. *Revista de la Universidad Industrial de Santander. Salud*, 41(3), 280-286.

- Fernández, J. (2006). Revisión taxonómica de *Salvia* sect. *siphonantha* (Labiatae). *Anales del Jardín Botánico de Madrid*, 63, 145–157.
- Fisher, U., Franz, Ch., Lopez, R., & Pöll, E. (1997). Variability of the essential oils of *Lippia graveolens* H.B.K from Guatemala. *Proceedings of 27th International Symposium on Essential Oils*. Edits., Ch. Franz, A. Mathé and G. Buchbauer. Allured Publ. Corp., Carol Stream, IL, 266-269.
- Fischer, U. (1997). Untersuchungen zur Domestikation von Guatemaltekischen Arzneipflanzen. (Tesis de Licenciatura). Viena, AT: Österreichischen Akademie der Wissenschaften.
- Furlan, M., Martins, R., Rodrigues, E., Scalco, N., Negri, G., Lago, J. (2010). Variação dos teores de constituintes voláteis de *Cymbopogon citratus* (DC) Staf, Poaceae, coletados em diferentes regiões do Estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Farmacognosi.*, 20(5), 686-691.
- García, R., Leyva, M., Martínez, M., Stashenko, E. (2007). Determinación de la composición química y actividad antioxidante in vitro del aceite esencial de *Piper auritum* kunth (piperaceae) difundida en la costa colombiana. *Scientia et Technica*, 33,39-442.
- Germosén-Robineau L. (1996). *Farmacopea Vegetal Caribeña*. Santo Domingo: TRAMIL.
- Gilbert, B., Pinto, J. L., & Alves, L. F. (2005). *Monografías de plantas medicinais brasileiras e aclimatadas*. Río de Janeiro: Fundação Oswaldo Cruz Farmanguinhos Departamento de Produtos Naturais.
- Germosén-Robineau L. (2005). *Farmacopea Vegetal Caribeña*, (2a ed.). Santo Domingo: TRAMIL.
- Granados, C., Yáñez Y, Santafé G. (2012). Evaluación de la actividad antioxidante del aceite esencial foliar de *Calycolpus moritzianus* y *Minthostachys mollis* de Norte de Santander. *Bistua: Revista de la Facultad de Ciencias Básicas*, 10(1), 12-23.

- Gil, A., Ghersa C., Leicach, S. (2000). Essential oil yield and composition of *Tagetes minuta* accessions from Argentina. *Biochemical Systematics and Ecology Journal*, 28, 261-274.
- Guala, M. (2009). Evaluación del Poder Antioxidante de Fracciones de Aceite Esencial Crudo de *Schinus molle* L. obtenidas por destilación al vacío. *Información Tecnológica*, 20(2), 83-88.
- Guenther, E. (1948). *The Essential Oil: History-Origins in plants production-Analysis*. New York: D. Van Nostrand Company Inc., 1, 77-83.
- Handson, B. (2005). *Understanding Medicinal Plants: Their Chemistry and Therapeutic Action*. New York: The Haworth Herbal Press.
- Heinrich, M., Robles, M., West, J., Ortíz de Montellano, B., Rodríguez, E. (1998). Ethnopharmacology of mexican asteraceae (Compositae). *Annual Review of Pharmacology and Toxicology*, 38, 539-565.
- Heinzmann, B. M., & Correa de Barros, F. M. (2007). Potencial das plantas nativas brasileiras para o desenvolvimento de fitomedicamentos tendo como exemplo *Lippia alba* (Mill.) N.E. Brown (Verbenaceae). *Saúde, Santa Maria-UFSM*, 33(1), 43-48.
- Hennebelle, T., Sahpaz, S., Joseph, H., & Bailleul, F. (2008). Ethnopharmacology of *Lippia alba*. *Journal of Ethnopharmacology*, 116, 211-222.
- Hernández- Arteseros, J., Vila, R., Cañigueral, S., Cruz, S. M. & Cáceres, A. (2006). Composition of the essential oil of *Lippia chiapasensis* Loes. *Journal of Essential Oil Research*, 18, 6-9.
- Hornok, L. (1992). *Cultivation and Processing of Medicinal Plants*. Chichester: John Wiley & Sons.
- House, P.R., Lagos-Witte, S., Ochoa, L., Torres, C., Mejía, T., Rivas, M. (1995). *Plantas medicinales comunes de Honduras*. Tegucigalpa: UNAH/CIMN-H/CID/CIIR/GTZ.

- Huang, C. (2011). Study of four antioxidant activities and major chemical component analysis of twenty-five commonly used essential oils. *International Journal of Cosmetic Science*, 62(4), 393-404.
- Husain, A., Virmani, O.P., Sharma, A., Kumar, A., Misra, L.N. (1988). *Major Essential Oil-Bearing Plants of India*. Lucknow: Central Inst. Med. and Arom. Plants.
- INE. (2010). *Estadísticas Agropecuarias 2009* [CD-ROM]. Guatemala: Instituto Nacional de Estadística.
- Ito, N., Fukushima, S., Hasegawa, A., Shibata, M., Ogiso, T. (1983). Carcinogenicity of butylated hydroxyanisole in F344 rats. *Journal of the National Cancer Institute*, 70, 343-347.
- Jayes, P., Pérez, F., de León, J. L., Farfán, C., & Mérida, M. (2006). Aceites esenciales de nueve plantas nativas de Guatemala, familias Verbenaceae y Lauraceae. Resúmenes de Investigaciones Área Técnica, Dirección General de Investigación DIGI. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.
- Jayes, P., Pérez, F., Farfán, C., & Mérida, M. (2007). Estudio del aceite esencial y metabolitos secundarios de diferentes poblaciones de *Lippia chiapasensis* Loes. (Verbenaceae). Resúmenes de Investigaciones Área Técnica y Científico Asistencial, Dirección General de Investigación DIGI. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.
- Kamatou, G., Makunga, P., Ramogola, N., Viljoen, M. (2008). South African *Salvia* species: a review of biological activities and phytochemistry. *Journal of Ethnopharmacology*, 119, 664–672.
- Kordali, S., Kotan, R., Mavi, A., Cakir, A., Ala, A., Yildirim, A. (2005). Determination of the chemical composition and antioxidant activity of the essential oil of *Artemisia dracunculus* and of the antifungal and antibacterial activities of turkish *Artemisia absinthium*, *A. dracunculus*, *Artemisia santonicum*, and *Artemisia spicigera* essential oils. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53, 9452-9458.

- Lahlou, M. (2004). Methods to study the phytochemistry and bioactivity of essential oils. *Phytotherapy Research*, 18, 435-436.
- Lawrence, R., Lawrence, K. (2011). Antioxidant activity of garlic essential oil (*Allium sativum*) grown in north India plains. *Asian Pac. Journal of Tropical Biomedicine*, 1-3, S51-S54.
- Leal, T., López, A., Sosa M. (2013). Extracción, composición y caracterización de los aceites esenciales de hoja y semilla de cilantro (*Coriandrum sativum*). *Temas Selectos de ingeniería de alimentos*, 7(1), 97-103.
- Lin, L. Z., Mukhopadhyay, S., Robbins, R. J., & Harnly, J. M. (2007). Identification and quantification of flavonoids of Mexican oregano (*Lippia graveolens*) by LC-DAD-ESI/MS analysis. *Journal of Food Composition and Analysis*, 20, 361-369.
- Lino, C., Gomes, P., Lucetti, D., Diógenes, J., Sousa, F., Silva, M., et al. (2005). Evaluation of antinociceptive and antiinflammatory activities of the essential oil (EO) of *Ocimum micranthum* Willd. from Northeastern Brazil. *Phytotherapy Research*, 19(8), 708-12.
- Lock de Ugaz, O. (1994). *Investigación fitoquímica: métodos en el estudio de productos naturales*, (2a ed.). Perú: Fondo Editorial de la Pontificia Universidad del Católica del Perú.
- Londoño, L. (2003). *Antioxidantes: importancia biológica y métodos para medir su actividad*. Editorial: Corporación Universitaria Lasallista. Colombia.
- Lorenzo, D., Loayza, I., Dellacassa, E. (2002). Composition of the essential oil of *Tagetes maxima* Kuntze from Bolivia. *Flavour and Fragrance Journal*, 17, 115–118.
- Manjamaí, A., Alexander, T., Grace V.M. (2012). Bioactive evaluation of the essential oil of *Plectranthus amboinicus* by GC-MS analysis and its role as a drug for microbial infections and inflammation. *International Journal of Pharmaceutical Sciences*, 4(3), 205-211.
- Martinez, J.V., Yesid, H., Cáceres, A. (2000). *Fundamentos de agrotecnología de cultivo de plantas medicinales iberoamericanas*. CAB, CYTED. Santafe de Bogota, D.C., Colombia.

- Matiz, G., Osorio, M.R., Camacho, F., Atencia, M., Herazo, J. (2012). Diseño y evaluación in vivo de fórmulas para acné basadas en aceites esenciales de naranja (*Citrus sinensis*), albahaca (*Ocimum basilicum* L) y ácido acético. *Biomédica: Revista del Instituto Nacional de Salud*, 32(1), 125-133.
- Mellen, G.A. (1974). El uso de las plantas medicinales en Guatemala. *Guatemala Indígena*, 9, 102-148.
- Ministerio de Salud de Nicaragua. (1986). *Rescate de la Medicina Popular*. Managua: NI.
- Morataya, M. A. (2006). Caracterización Farmacopéica de cuatro plantas aromáticas nativas de Guatemala Albahaca de monte (*Ocimum micranthum*), Orégano (*Lippia graveolens*), Salvia sija (*Lippia alba*) y Salvuyá (*Lippia chiapasensis*). (Tesis de Licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.
- Moreira, F., Bastos, J., Blank, A., Alves, P., Santos, M. (2009). Chemical composition and cardiovascular effects induced by the essential oil of *Cymbopogon citratus* DC. Stapf, Poaceae, in rats. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 6, 904-909.
- Morton, J.F. (1977). Some folk-medicine plants of Central American markets. *Quarterly Journal of Crude Drug Research*, 15, 165-192
- Morton, J.F. (1981). *Atlas of Medicinal Plants of Middle America*. Springfield: Charles C. Thomas.
- Muñoz-Acevedo, A., Kouznetsov, V., Stashenk, E. (2009). Composición y capacidad antioxidante *in-vitro* de aceites esenciales ricos en Timol, Carvacrol, trans-Anetol o Estragol. *Revista de la Universidad Industrial de Santander. Salud*, 41(3), 287-294.
- Muñoz, A., Castañeda, M., Blanco, K., Cadenas, C., Reyes, J., Kouznetsov, V., Stashenko, E. (2007). Composición y capacidad antioxidante de especies aromáticas y medicinales con alto contenido de timol y carvacrol. *Scientia et Technica*, 33, 125-128.
- Nash, D.L., Williams, L.O. (1976). Flora of Guatemala. *Fieldiana: Botany*, 24(12), 383-384.

- Navarro, M., Montilla, M., Cabo, M., Galisteo, M., Cáceres, A., Morales, C., et al. (2003). Antibacterial, antiprotozoal and antioxidant activity of five plants used in Izabal for infectious diseases. *Phytotherapy Research*, 17(4), 325-29.
- Nedorostova, L., Kloucek, P., Kokoska, L., Stolcova, M., Pulkrabek, J. (2009). Antimicrobial properties of selected essential oils in vapour phase against foodborne bacteria. *Food Control*, 20, 157-160.
- Núñez, E. (1978). *Plantas medicinales de Puerto Rico y su folklore*. San Juan, PR: Universidad Central de Puerto Rico.
- Oliveira, D., Leitão, G.G., Santos, S.S., Bizzo, H. R., Lopes, D., Alviano, C.S.,... Leitão, S.G. (2006). Ethnopharmacological study of two *Lippia* species from Oriximiná, Brazil. *Journal of Ethnopharmacology*, 108, 103-108.
- Oliveira, D., Leitão, G.G., Bizzo, H.R., Lopes, D., Alviano, D.S., Alviano, C.S., & Leitão, S. G. (2007). Chemical and antimicrobial analyses of essential oil of *Lippia origanoides* H.B.K. *Food Chemistry*, 101, 236-240.
- Orhan, E., Belhatab, R., Senol, F.S., Gülpinar, A.R., Hos, S., Kartal, M. (2010) Profiling of cholinesterase inhibitory and antioxidant activities of *Artemisia absinthium*, *A. herba-alba*, *A. fragans*, *Marrubium vulgare*, *M. astranicum*, *Origanum vulgare* subsp. *Glandulosum* and essential oil analysis of two *Artemisia* species. *Journal Crops and Products*. 32, 566-571.
- Pascual, M. E., Slowing, K., Carretero, M.E., & Villar, A. (2001). Antiulcerogenic activity of *Lippia alba* (Mill.) N.E. Brown (Verbenaceae). *Il Farmaco*, 56, 501-504.
- Pascual, M. E., Slowing, K., Carretero, E., Sánchez Mata, D., & Villar, A. (2001). *Lippia*: traditional uses, chemistry and pharmacology: A review. *Journal of Ethnopharmacology*, 76, 201-214.
- Pérez, S., Meckes, M. Pérez, C., Susunaga, A. & Zavala, M.A. (2005). Anti-inflammatory activity of *Lippia dulcis*. *Journal of Ethnopharmacology*, 102, 1-4.
- Pérez, J. F. (2008). *Investigação química de óleos essenciais de plantas da Guatemala* (Tesis de Doctorado). Universidad Federal de Río de Janeiro. Río de Janeiro.

- Pérez, J.F., Echeverría, S.L., Oliva, B.W., Morales, M.E., Taracena, E. (2000). Determinación de los aceites esenciales y principios activos de seis plantas medicinales cultivadas en Guatemala, CONCYT-USAC, 1999-2000. Informe Final.
- Pérez, J.F., Jayes, P.E., Farfán, C.D., Mérida, M.S. (2011). Aceites esenciales y metabolitos secundarios de seis plantas del género *Lantana*, nativas de Guatemala – CONCYT/USAC. 2008-2009. Informe Final.
- Pérez-Sabino, J.F., Mérida-Reyes, M., Farfán, Ch., da Silva, A.J. (2010). Análise e discriminacao de quimiotipos de *Lippia graveolens* H.B.K. da Guatemala por MEFS-CG-EM e Análise Multivariada”. *Química Nova*. Vol. 37. (1), 97-101.
- Politeo, O., Jukić, M., Miloš, M. (2006). Chemical composition and antioxidant activity of essential oils of twelve spice plants. *Croatica Chemica Acta*, 79, 545-552.
- Ramírez, G., Jaimez, O., Añorve, M., Salazar, P. (2016). Determinación de actividad antioxidante en extractos acuosos de cedrón (*Aloysia triphylla*). *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 1(1), 824-829.
- Robards, K., Prenzler P., Tucker, G., Swatsitang, P., Glover W. (1999). Phenolic compounds and their role in oxidative processes in fruits. *Food Chemistry*, 66, 401-36.
- Roginsky, V., et al. (2003). Substituted p-hydroquinones as inhibitors of lipid peroxidation. *Chemistry and Physics of Lipids*, 125(1): 49-58.
- Rosas, J., Zoghbi, M., Andrade, E., Van den Berg, M. (2005). Chemical composition of a methyl-(*E*)-cinnamate *Ocimum micranthum* Willd. from the Amazon. *Flavour and Fragrance Journal*, 20(2), 61-3.
- Rota, M., Herrera, A., Martí, R. (2008). Antimicrobial activity and chemical composition of *Thymus vulgaris*, *Thymus zygis* and *Thymus hyemalis* essential oils. *Food Control*, 19, 681-687
- Sacchetti, G., Maietti, S. Muzzoli, M. Scaglianti, M., Manfredini, S., Radice, M., & Bruni, R. (2005). Comparative evaluation of 11 essential oils of different origin as functional antioxidants, antiradicals and antimicrobials in foods. *Food Chemistry*, 91, 621-632.

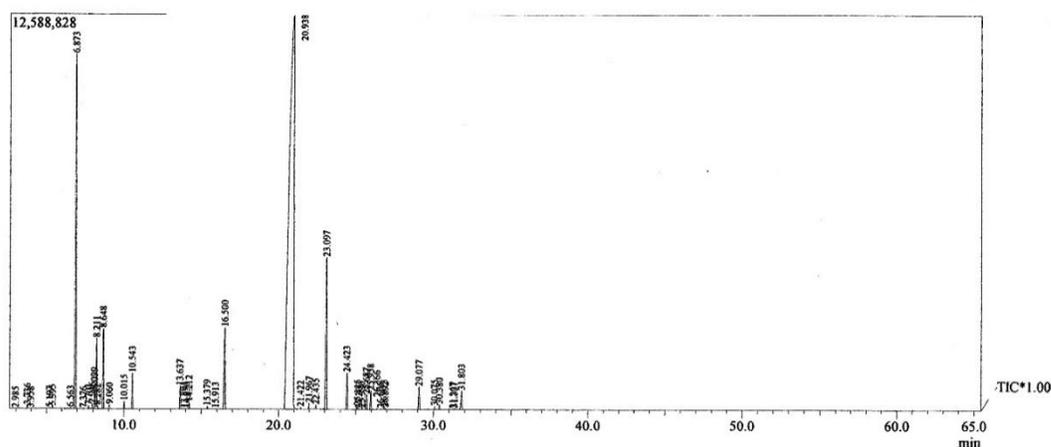
- Salgueiro, L. R., Cavaleiro, C., Gonçalves, M.J., & Proença da Cunha, A. (2003). Antimicrobial activity and chemical composition of the essential oil of *Lippia graveolens* from Guatemala. *Planta Med*, 69, 80-83.
- Salihović, M., Šapčanin, A., Špirtović-Halilović, S., Završnik, D. (2016). DFT Structural Analysis of Chamazulene. *Bulletin of the Chemists and Technologists of Bosnia and Herzegovina*, 46, 7-32.
- Secondini, O. (1990). *Handbook of perfumes and flavors*. New York: Chemical Publishing.
- Seigel, R.K., Collings, P.R., Díaz, J.L. (1977). On the use of *Tagetes lucida* and *Nicotiana rustica* as a Huichol smoking mixture: the Aztec “yahutli” with suggestive allucinogenic effects. *Economic Botany*, 31, 16-23.
- Sharapin, N. (2000). *Fundamentos de tecnología de productos fitoterapéuticos*. Colombia: CYTED.
- Skoog, D., Holler, F., & Nieman, T. (1998). *Principles of Instrumental Analysis*, (5th ed). USA: Harcourt Brace & Company.
- Souto-Bachiller, F., De Jesús-Echeverrú, M. Cárdenas-González, O.E., Acuña- Rodríguez, M.F., Meléndez, P.A., & Romero-Ramsey, L. (1996). Terpenoid composition of *Lippia dulcis*. *Phytochemistry*, 44, 1077-1086.
- Standley, P., Williams, L., & Gibson, D. (1970). Flora of Guatemala. *Fieldiana: Botany*, 24(9), 206-216.
- Standley, P.C., Williams, L.O. (1946) Flora of Guatemala. *Fieldiana: Botany*, 24(8), 135-148.
- Stashenko, E., Jaramillo, B., & Martínez, J.R. (2004). Comparison of different extraction methods for the analysis of volatile secondary metabolites of *Lippia alba* (Mill.) N.E. Brown, grown in Colombia, and evaluation of its in vitro antioxidant activity. *Journal of Chromatography. A*, 1025, 93-103.

- Stevens, W.D. (2001). Flora de Nicaragua: Angiospermas. St. Louis, US: *Missouri Botanical Garden Press*, 3, 2517-2519.
- Tafurt, G., Martínez, J., Stashenko, E. (2005). Evaluación de la actividad antioxidante de aceites esenciales en emulsiones degradadas por radiación ultravioleta. *Revista Colombiana de Química*, 34(1), 43-55.
- Toda, S., Ohnishi, M., Kimura, M. y Toda, T. (1994). Inhibitory effects of eugenol and related compounds on lipid peroxidation induced by reactive oxygen. *Planta Medica*, 60, 282.
- Tuley De Silva, K. (1995). *A manual on the essential oil industry*. Viena: United Nations Industrial Development Organization.
- Vale, T. G., Matos, F.J.A., de Lima, T.C.M., & Viana, G.S.B. (1999). Behavioral effects of essential oils from *Lippia alba* (Mill.) N.E. Brown chemotypes. *Journal of Ethnopharmacology*, 167, 127-133.
- Vásquez, V. J. (2009). Validación farmacológica del efecto antiinflamatorio, de hoja de *Lippia graveolens* (Orégano mexicano), hoja de *Lippia chiapasensis* (Salviyá) y rizoma de *Phlebodium pseudoaureum* (Calahuala) (Tesis de Licenciatura). Universidad de San Carlos Guatemala. Guatemala.
- Vasudevan, P., Kashyap, S., Sharma. (1997). *Tagetes*: a multipurpose plant. *Bioresource Technology*, 62, 29-35.
- Warnke, P.H., Sherry, E., Russo, P.A.J., Açil, Y., Wiltfang, J., Sivananthan, S.,... Springe, I.N.G. (2006). Antibacterial essential oils in malodorous cancer patients: Clinical observations in 30 patients. *Phytomedicine*, 13, 463-467.
- World Health Organization. (2007). *WHO monographs on selected medicinal plants*, 2, 99, 182.
- Wijesekera, R. (s.f.). *Practical Manual on the Essential Oils industry: Agrotechnology, processing, quality assessment*. Viena: United Nations Industrial Development Organization.

- Williams, T. (2006). Evaluating effects of aromatherapy massage on sleep in children with autism: a pilot study. *eCAM*, 3(3), 373-377.
- Williams, L. (1981). The useful plants of Central America. *Ceiba*, 24, 332-333
- Xu L.W., Chen, J., Qi, H.Y., Shi, Y.P. (2012). Phytochemicals and their biological activities of plants in Tagetes l. *Chinese herbal medicine*, 4, 103-117.
- Yi-Bing, W., Zhi-Yu, N., Qing-Wen, S., Mei, D., Hiromasa, K., Yu-Cheng, G., Bin, C. (2012). Constituents from *Salvia* species and their biological activities. *Chemical Reviews*, 112, 5967–6026.
- Zétola, M. De Lima, T.C.M., Sonaglio, D., González-Ortega, G. Limberger, R.P., Petrovick, P.R., & Bassani, V.L. (2002). CNS activities of liquid and spray-dried extracts from *Lippia alba*-Verbenaceae (Brazilian false melissa). *Journal of Ethnopharmacology*, 82, 207-215.

XIV. ANEXOS

Figura 1: Cromatograma (GC/MS) de la especie *Pimenta dioica*. Recolectada en Barra Lámpara, Livingston, Izabal.



Fuente: Datos experimentales obtenidos en el Centro de Análisis del Laboratorio de Espectroscopía de Masas del Instituto de Investigación de Productos Naturales Walter Mors, Universidad Federal de Río de Janeiro (IPPN-UFRJ).

Tabla 25: Compuestos presentes en la especie *Pimenta dioica*. Recolectada en Barra Lámpara, Livingston, Izabal.

Tr	Área (%)	IK (C)	IK (A)	Compuesto
6.9	10.0	991	990	Mirceno
8.2	1.6	1033	1031	1,8-cineol
8.6	1.8	1046	1050	trans-ocimeno
10.5	0.8	1101	1096	Linalol
13.6	0.6	1181	1177	Terpinen-4-ol
16.5	3.1	1252	1250	Chavicol
20.9	71.4	1363	1359	Eugenol
23.1	5.2	1418	1419	(<i>E</i>)-cariofileno
24.4	1.1	1452	1454	α -humuleno
26.0	0.6	1492	1493	cis- β -guaiene
29.1	0.7	1576	1583	Óxido de cariofileno
31.8	0.7	1653	1653	Pogostol

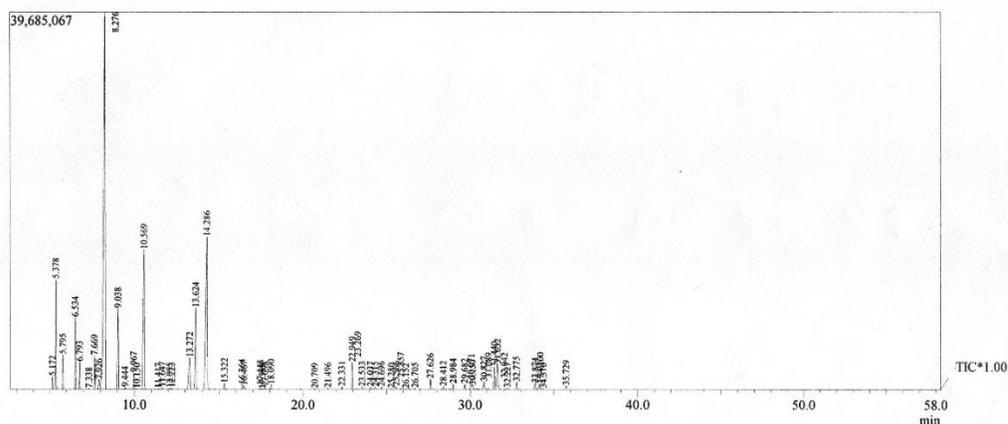
Tr: tiempo de retención experimental.

IK (C): índice de retención de Kovats calculado.

IK (A): índice de retención de Kovats reportado en Adams, 2017.

Fuente: Identificación de compuestos obtenida de Adams, 2017. Datos experimentales obtenidos en el Centro de Análisis del Laboratorio de Espectroscopía de Masas del Instituto de Investigación de Productos Naturales Walter Mors, Universidad Federal de Río de Janeiro (IPPN-UFRJ).

Figura 2: Cromatograma (GC/MS) de la especie *Litsea guatemalensis*. Recolectada en el mercado de Sololá.



14.3	14.6	1197	1188	α -Terpineol
22.9	1.5	1414	1408	(Z)-Cariofileno
27.6	0.6	1537	1532	(Z)-Nerolidol
30.1	0.7	1603	1608	β -atlantol
30.8	0.7	1625	1623	10-epi- γ -eudesmol
31.4	1.3	1642	1644	Eudesma-3,11-dien-6- α -ol
31.6	2.2	1648	1650	β -eudesmol

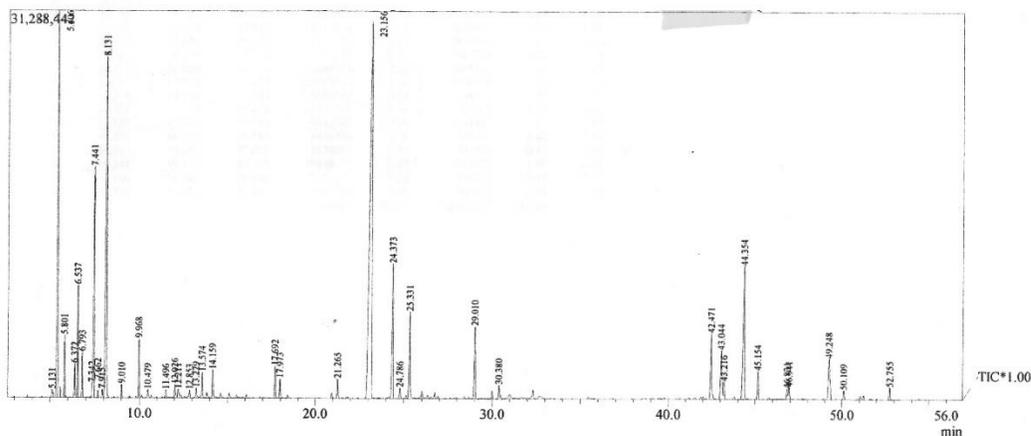
Tr: tiempo de retención experimental.

IK (C): índice de retención de Kovats calculado.

IK (A): índice de retención de Kovats reportado en Adams, 2017.

Fuente: Identificación de compuestos obtenida de Adams, 2017. Datos experimentales obtenidos en el Centro de Análisis del Laboratorio de Espectroscopía de Masas del Instituto de Investigación de Productos Naturales Walter Mors, Universidad Federal de Río de Janeiro (IPPN-UFRJ).

Figura 3: Cromatograma (GC/MS) de la especie *Abies guatemalensis*. Recolectada en Finca Chichavac, Tecpán Guatemala, Chimaltenango.



Fuente: Datos experimentales obtenidos en el Centro de Análisis del Laboratorio de Espectroscopía de Masas del Instituto de Investigación de Productos Naturales Walter Mors, Universidad Federal de Río de Janeiro (IPPN-UFRJ).

Tabla 27: *Compuestos presentes en la especie Abies guatemalensis. Recolectada en Finca Chichavac, Tecpán Guatemala, Chimaltenango.*

Tr	Área (%)	IK (C)	IK (A)	Compuesto
5.4	10.1	932	930	α -tujeno
5.8	1.1	947	954	Canfeno
6.4	0.7	969	975	Sabineno
6.5	2.4	976	979	β -pineno
6.8	0.9	986	990	Mirceno
7.4	6.2	1008	1011	δ -3-careno
8.1	13.8	1028	1029	Limoneno
10.0	1.4	1082	1088	ρ -menta-2,4 (8)-dieno
13.6	0.6	1177	1177	Terpinen-4-ol
14.2	0.8	1192	1188	α -terpineol
17.7	0.9	1280	1285	Acetato de borilo
21.3	0.6	1369	1376	α -copaeno
23.2	30.4	1417	1419	(<i>E</i>)-cariofileno
24.4	4.9	1449	1454	α -humuleno
25.3	3.0	1474	1481	Germacreno D
29.0	2.4	1572	1583	Óxido de cariofileno
42.5	2.3	1977	1987	Óxido de manool
43.0	2.3	1995	2000	13-epi-dolabradieno
44.4	6.6	2040	2057	Manool
45.2	1.0	2067	2087	Abietadieno

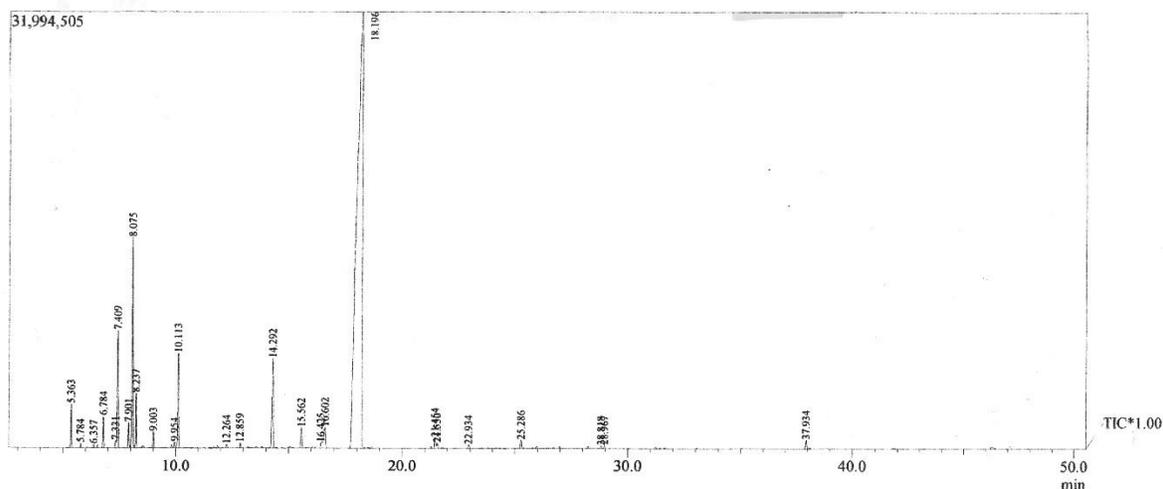
Tr: tiempo de retención experimental.

IK (C): índice de retención de Kovats calculado.

IK (A): índice de retención de Kovats reportado en Adams, 2017.

Fuente: Identificación de compuestos obtenida de Adams, 2017. Datos experimentales obtenidos en el Centro de Análisis del Laboratorio de Espectroscopía de Masas del Instituto de Investigación de Productos Naturales Walter Mors, Universidad Federal de Río de Janeiro (IPPN-UFRJ).

Figura 4: Cromatograma (GC/MS) de la especie *Foeniculum vulgare*. Recolectada en Centro Experimental y Docente de la Facultad de Agronomía, campus central USAC, zona 12, Ciudad de Guatemala.



Fuente: Datos experimentales obtenidos en el Centro de Análisis del Laboratorio de Espectroscopía de Masas del Instituto de Investigación de Productos Naturales Walter Mors, Universidad Federal de Río de Janeiro (IPPN-UFRJ).

Tabla 28: Compuestos presentes en la especie *Foeniculum vulgare*. Recolectada en Centro Experimental y Docente de la Facultad de Agronomía, campus central USAC, zona 12, Ciudad de Guatemala.

Tr	Área (%)	IK (C)	IK (A)	Compuesto
5.4	1.0	930	939	α -pineno
6.8	0.8	985	990	Mirceno
7.4	3.1	1007	1011	δ -3-careno
7.9	0.7	1022	1024	ρ -cimeno
8.1	6.6	1027	1029	Limoneno
8.2	1.4	1031	1032	cis-ocimeno
10.1	3.0	1086	1086	Fenchona
14.3	3.2	1196	1196	Chavicol de metilo
16.6	1.4	1253	1250	ρ -anis aldehído
18.2	75.2	1292	1284	(<i>E</i>)-anetol

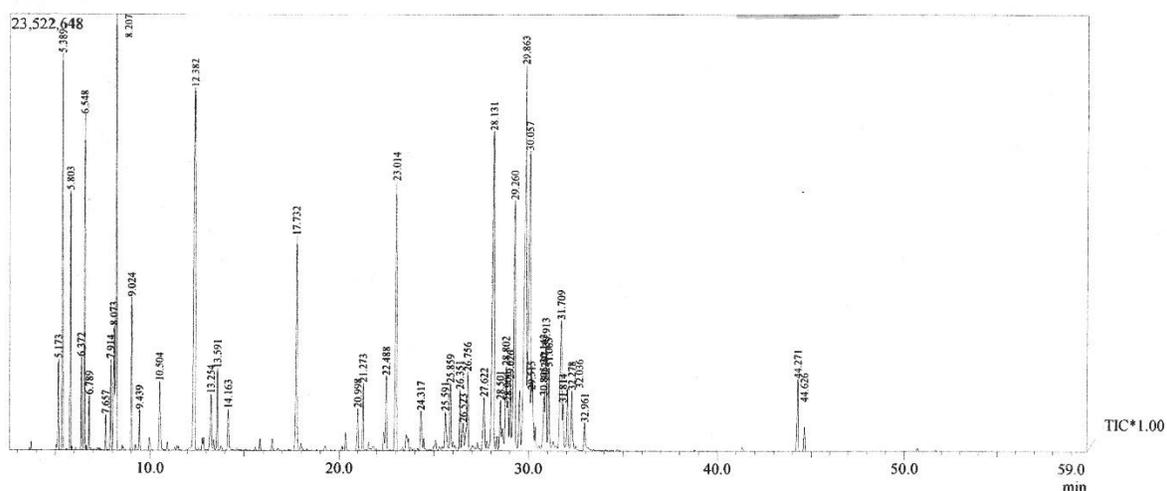
Tr: tiempo de retención experimental.

IK (C): índice de retención de Kovats calculado.

IK (A): índice de retención de Kovats reportado en Adams, 2017.

Fuente: Identificación de compuestos obtenida de Adams, 2017. Datos experimentales obtenidos en el Centro de Análisis del Laboratorio de Espectroscopía de Masas del Instituto de Investigación de Productos Naturales Walter Mors, Universidad Federal de Río de Janeiro (IPPN-UFRJ).

Figura 5: Cromatograma (GC/MS) de la especie *Salvia microphylla*. Recolectada en Patzicía, Chimaltenango.



Fuente: Datos experimentales obtenidos en la Central Analítica Laboratório de Espectroscopia de Massas del Instituto de Pesquisas de Produtos Naturais Walter Mors, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Tabla 29: Compuestos presentes en la especie *Salvia microphylla*. Recolectada en Patzicía, Chimaltenango.

Tr	Área (%)	IK (C)	IK (A)	Compuesto
5.2	0.7	925	930	α -tujeno
5.4	4.0	934	939	α -pineno
5.8	2.4	950	952	α -fencheno
6.4	0.9	972	975	Sabineno
6.5	3.6	979	979	β -pineno
6.8	0.5	989	990	Mirceno
7.9	1.0	1025	1024	ρ -cimeno
8.1	1.8	1029	1029	Limoneno
8.2	6.2	1033	1031	1,8-cineol
9.0	1.6	1057	1059	γ -terpineno

10.5	1.1	1101	1096	Linalol
12.4	8.1	1149	1146	Alcanfor
13.6	1.0	1180	1177	Terpinen-4-ol
14.2	0.5	1195	1188	α -terpineol
17.7	3.4	1283	1283	Acetato de isobornilo
21.3	0.9	1372	1375	α -Ylangeno
22.5	1.0	1402	1400	Sibirene
23.0	5.0	1416	1419	(<i>E</i>)-cariofileno
24.3	0.7	1450	1454	α -humuleno
25.9	1.1	1490	1492	δ -selinene
26.4	0.8	1503	1505	(<i>E, E</i>)- α -farnesene
26.5	0.5	1507	1512	δ -amorfenol
26.8	1.5	1514	1512	δ -amorfenol
28.1	7.6	1551	1550	α -agarofurano
28.5	0.6	1561	1563	(<i>E</i>)-Nerolidol
29.0	0.9	1575	1583	Óxido de cariofileno
29.3	5.4	1582	1590	Globulol
29.5	0.9	1588	1592	Viridiflorol
29.9	10.8	1598	1600	Guaiol
30.1	7.7	1603	1608	Epóxido de humuleno II
30.9	1.6	1628	1637	β -acorenol
31.7	3.2	1650	1650	β -Eudesmol
31.8	0.6	1653	1653	Pogostol
32.0	0.9	1659	1671	Bulnesol
32.3	0.7	1666	1675	Valeranone
44.3	1.2	2039	2056	Abietatriene

Tr: tiempo de retención experimental.

IK (C): índice de retención de Kovats calculado.

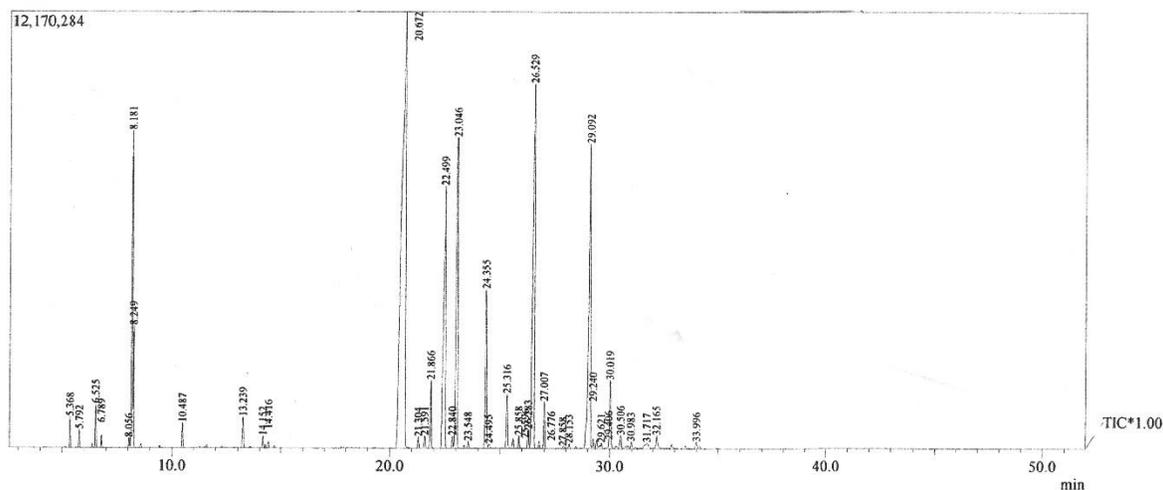
IK (A): índice de retención de Kovats reportado en Adams, 2017.

Fuente: Identificación de compuestos obtenida de Adams, 2017. Datos experimentales obtenidos en el Centro de Análisis del Laboratorio de Espectroscopía de Masas del Instituto de Investigación de Productos Naturales Walter Mors, Universidad Federal de Río de Janeiro (IPPN-UFRJ).

IK (A): índice de retención de Kovats reportado en Adams, 2017.

Fuente: Identificación de compuestos obtenida de Adams, 2017. Datos experimentales obtenidos en el Centro de Análisis del Laboratorio de Espectroscopía de Masas del Instituto de Investigación de Productos Naturales Walter Mors, Universidad Federal de Río de Janeiro (IPPN-UFRJ).

Figura 7: Cromatograma (GC/MS) de la especie *Ocimum micranthum*. Recolectada en Creek Caliz, Livingston, Izabal.



Fuente: Datos experimentales obtenidos en el Centro de Análisis del Laboratorio de Espectroscopía de Masas del Instituto de Investigación de Productos Naturales Walter Mors, Universidad Federal de Río de Janeiro (IPPN-UFRJ).

Tabla 31: Compuestos presentes en la especie *Ocimum micranthum*. Recolectada en Creek Caliz, Livingston, Izabal.

Tr	Área (%)	IK (C)	IK (A)	Compuesto
6.5	0.6	975	979	β -pineno
8.2	5.4	1029	1031	1,8-cineol
8.2	1.7	1031	1037	cis-ocimeno
13.2	0.5	1168	1169	Borneol
20.7	32.4	1354	1359	Eugenol
21.9	1.4	1384	1390	β -elemeno
22.5	10.1	1400	1403	Metil eugenol
23.0	9.8	1414	1419	(<i>E</i>)-cariofileno
24.4	3.9	1448	1454	α -humuleno

25.3	1.2	1473	1481	Germacreno D
26.5	13.3	1505	1505	β -bisaboleno
27.0	0.9	1518	1522	β -sesquiphellandreno
29.1	11.4	1574	1583	Óxido de cariofileno
30.0	1.7	1600	1608	Epóxido de humuleno II

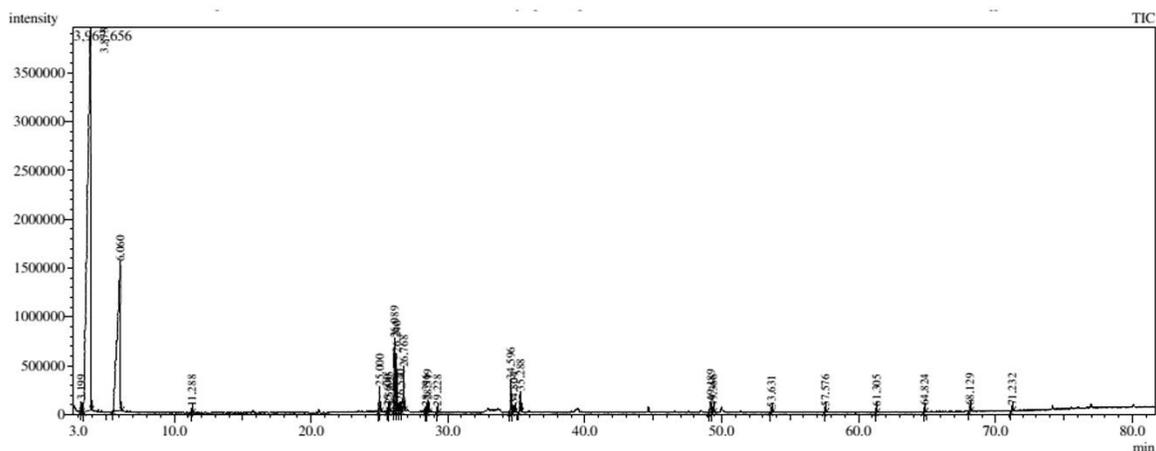
Tr: tiempo de retención experimental.

IK (C): índice de retención de Kovats calculado.

IK (A): índice de retención de Kovats reportado en Adams, 2017.

Fuente: Identificación de compuestos obtenida de Adams, 2017. Datos experimentales obtenidos en el Centro de Análisis del Laboratorio de Espectroscopía de Masas del Instituto de Investigación de Productos Naturales Walter Mors, Universidad Federal de Río de Janeiro (IPPN-UFRJ).

Figura 8: Cromatograma (GC/MS) de la especie *Valeriana prionophylla*. Recolectada en Santa Lucía Uatlán, Sololá.



Fuente: Datos experimentales obtenidos en el Centro de Análisis del Laboratorio de Espectroscopía de Masas del Instituto de Investigación de Productos Naturales Walter Mors, Universidad Federal de Río de Janeiro (IPPN-UFRJ).

Tabla 33: *Compuestos presentes en la especie Artemisia ludoviciana. Recolectada en Patzicía, Chimaltenango.*

Tr	Área (%)	IK (C)	IK (A)	Compuesto
5.4	0.5	930	939	α -pineno
5.8	1.5	947	954	Canfeno
6.4	3.3	969	975	Sabineno
7.9	1.2	1022	1024	ρ -cimeno
8.3	21.7	1032	1031	1,8-cineol
9.5	1.9	1067	1070	Hidrato de cis-sabineno
10.6	1.8	1100	1098	Hidrato de trans-sabineno
12.4	11.6	1146	1146	Alcanfor
12.4	4.3	1147	1146	Alcanfor
12.9	0.7	1159	1164	Pinocarvona
13.3	8.7	1171	1169	Borneol
13.4	5.5	1172	1169	Borneol
13.6	1.4	1178	1177	Terpinen-4-ol
14.2	2.4	1193	1188	α -terpineol
15.9	1.9	1236	1237	Ascaridol
17.7	1.7	1280	1285	Acetato de isobornilo
18.5	1.0	1300	1305	Acetato de iso-mentilo
23.0	3.0	1412	1408	(Z)-cariofileno
25.3	0.6	1473	1481	Germacreno D
25.8	0.7	1487	1490	β -selinene
27.9	1.5	1542	1541	Hedicariol
28.7	0.6	1564	1561	Germacreno B
29.0	3.8	1571	1578	Espatulenol
29.1	8.3	1575	1583	Óxido de cariofileno
30.8	1.5	1621	1631	Eremoligenol
31.6	3.6	1646	1650	β -eudesmol
31.9	1.2	1654	1666	Intermedeol
32.8	1.1	1678	1684	epi- α -bisabolol

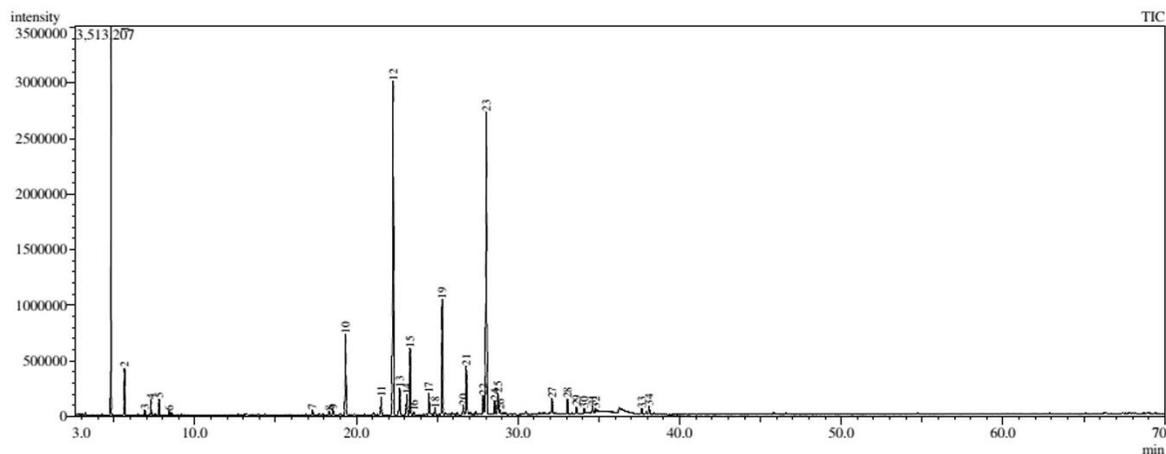
Tr: tiempo de retención experimental.

IK (C): índice de retención de Kovats calculado.

IK (A): índice de retención de Kovats reportado en Adams, 2017.

Fuente: Identificación de compuestos obtenida de Adams, 2017. Datos experimentales obtenidos en el Centro de Análisis del Laboratorio de Espectroscopía de Masas del Instituto de Investigación de Productos Naturales Walter Mors, Universidad Federal de Río de Janeiro (IPPN-UFRJ).

Figura 10: Cromatograma (GC/MS) de la especie *Tagetes lucida*. Recolectada en la aldea Estanzuela, Joyabaj, Quiché.



Fuente: Datos experimentales obtenidos en el Centro de Análisis del Laboratorio de Espectroscopía de Masas del Instituto de Investigación de Productos Naturales Walter Mors, Universidad Federal de Río de Janeiro (IPPEN-UFRJ).

Tabla 34: Compuestos presentes en la especie *Tagetes lucida*. Recolectada en la aldea Estanzuela, Joyabaj, Quiché.

Tr	Área (%)	IK (C)	IK (A)	Compuesto
6.8	0.8	988	1990	Mirceno
8.6	1.1	1043	1037	cis-ocimeno
10.5	2.0	1099	1096	Linalol
14.3	11.4	1198	1196	Chavicol de metilo
17.8	4.4	1284	1284	(<i>E</i>)-anetol
18.0	0.6	1289	1290	Timol
20.4	0.8	1348	1359	Eugenol
22.7	66.7	1406	1403	Metil eugenol
23.0	0.8	1414	1419	(<i>E</i>)-cariofileno
24.4	0.9	1451	1456	trans- β -farnesene
25.3	1.1	1476	1481	Germacreno D
26.0	4.3	1495	1492	(<i>E</i>)-metil isoeugenol
28.8	1.2	1570	1578	Espatulenol
29.0	1.5	1574	1583	Óxido de cariofileno

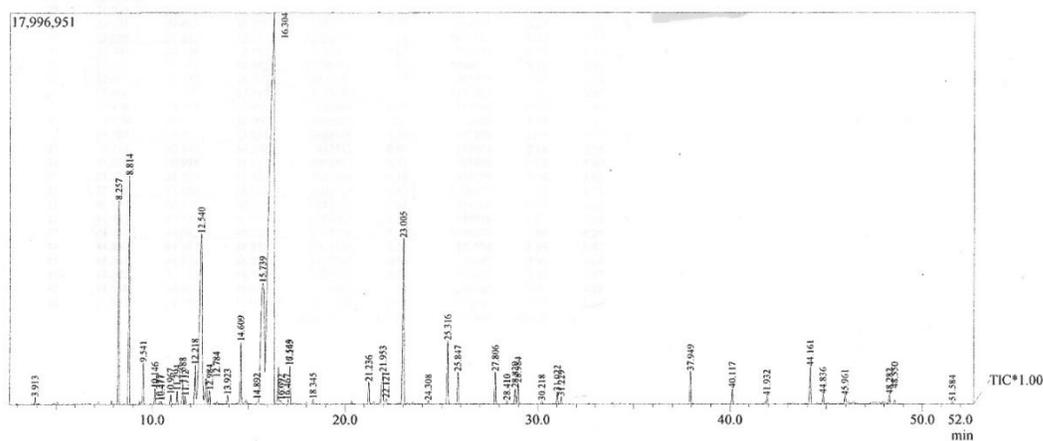
Tr: tiempo de retención experimental.

IK (C): índice de retención de Kovats calculado.

IK (A): índice de retención de Kovats reportado en Adams, 2017.

Fuente: Identificación de compuestos obtenida de Adams, 2017. Datos experimentales obtenidos en el Centro de Análisis del Laboratorio de Espectroscopía de Masas del Instituto de Investigación de Productos Naturales Walter Mors, Universidad Federal de Río de Janeiro (IPPN-UFRJ).

Figura 11: Cromatograma (GC/MS) de la especie *Tagetes tenuifolia*. Recolectada en la planta de tratamiento Los Cebollales, Panajachel, Sololá.



Fuente: Datos experimentales obtenidos en el Centro de Análisis del Laboratorio de Espectroscopía de Masas del Instituto de Investigación de Productos Naturales Walter Mors, Universidad Federal de Río de Janeiro (IPPN-UFRJ).

Tabla 35: Compuestos presentes en la especie *Tagetes tenuifolia*. Recolectada en la planta de tratamiento Los Cebollales, Panajachel, Sololá.

Tr	Área (%)	IK (C)	IK (A)	Compuesto
8.3	4.3	1032	1037	cis-ocimeno
8.8	5.4	1048	1047	Dihidrotagetona
12.2	1.0	1142	1144	trans-tagetona
12.5	11.5	1150	1152	cis-tagetona
12.8	1.0	1157	1155	Isoborneol
14.6	1.4	1203	1205	Verbenona
15.7	10.5	1231	1238	trans-ocimenona
16.3	44.5	1245	1248	Car-3-en-2-ona
16.6	0.3	1252	1249	cis-p-anetol
17.1	0.9	1266	1263	óxido de cis-carvona

21.2	0.6	1368	1368	Óxido de piperitenona
22.0	1.3	1386	1388	β -Bourbonena
23.0	5.2	1413	1414	β -funebreno
25.3	1.7	1473	1476	trans-Cadina-1 (6), 4-dieno
25.8	0.8	1487	1486	11- α H-himachala-1,4-dieno
27.8	0.8	1540	1540	Laciniata furanona E
29.0	0.5	1572	1583	Óxido de cariofileno
37.9	0.8	1832	1943	Fitol

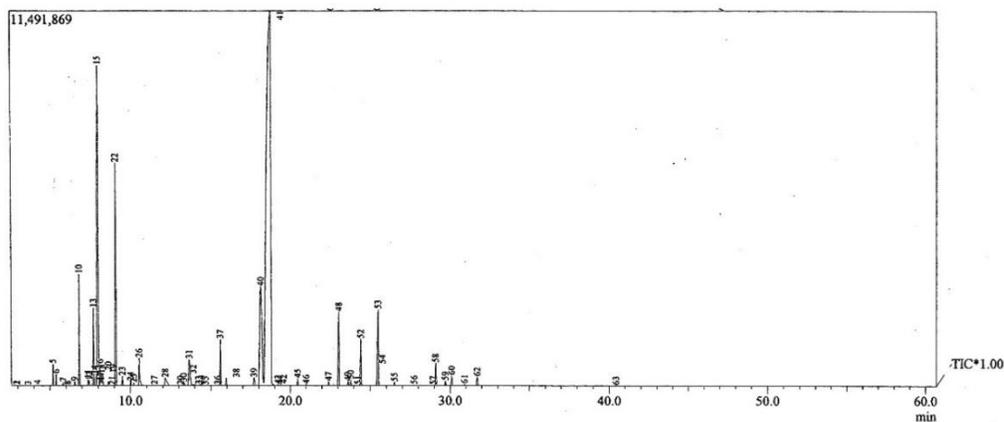
Tr: tiempo de retención experimental.

IK (C): índice de retención de Kovats calculado.

IK (A): índice de retención de Kovats reportado en Adams, 2017.

Fuente: Identificación de compuestos obtenida de Adams, 2017. Datos experimentales obtenidos en el Centro de Análisis del Laboratorio de Espectroscopía de Masas del Instituto de Investigación de Productos Naturales Walter Mors, Universidad Federal de Río de Janeiro (IPPN-UFRJ).

Figura 12: Cromatograma (GC/MS) de la especie *Lippia graveolens*. Recolectada en Teculután, Zacapa.



Fuente: Datos experimentales obtenidos en el Centro de Análisis del Laboratorio de Espectroscopía de Masas del Instituto de Investigación de Productos Naturales Walter Mors, Universidad Federal de Río de Janeiro (IPPN-UFRJ).

Tabla 36: *Compuestos presentes en la especie Lippia graveolens. Recolectada en Teculután, Zacapa.*

Tr	Área (%)	IK (C)	IK (A)	Compuesto
6.8	2.2	990	990	Mirceno
7.7	1.8	1018	1017	α -terpineno
8.0	11.6	1027	1026	o-cimeno
9.1	6.0	1059	1059	γ -terpineno
10.5	0.9	1101	1096	Linalol
15.6	1.2	1230	1235	Metil éter timol
18.1	7.7	1293	1290	Timol
18.8	55.4	1309	1299	Carvacrol
23.1	2.1	1417	1419	(<i>E</i>)-cariofileno
24.4	1.4	1452	1454	α -humuleno
25.5	2.6	1480	1489	Hidroxianisol butilado
29.1	0.6	1576	1583	Óxido de cariofileno

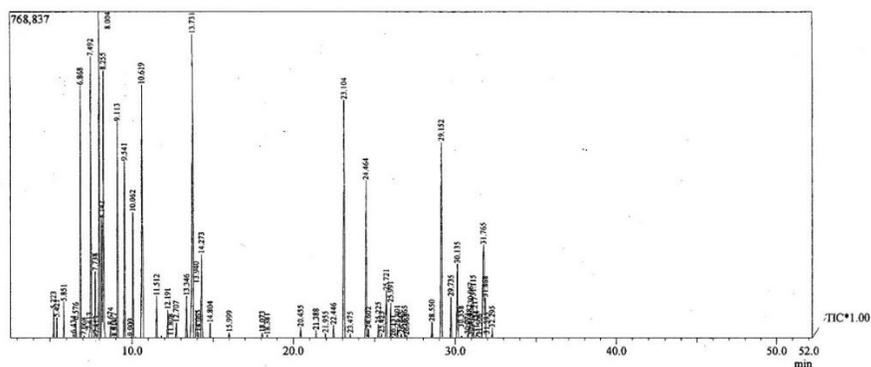
Tr: tiempo de retención experimental.

IK (C): índice de retención de Kovats calculado.

IK (A): índice de retención de Kovats reportado en Adams, 2017.

Fuente: Identificación de compuestos obtenida de Adams, 2017. Datos experimentales obtenidos en el Centro de Análisis del Laboratorio de Espectroscopía de Masas del Instituto de Investigación de Productos Naturales Walter Mors, Universidad Federal de Río de Janeiro (IPPN-UFRJ).

Figura 13: *Cromatograma (GC/MS) de la especie Lippia graveolens. Recolectada en la aldea El Subinal, El Progreso.*



Fuente: Datos experimentales obtenidos en el Centro de Análisis del Laboratorio de Espectroscopía de Masas del Instituto de Investigación de Productos Naturales Walter Mors, Universidad Federal de Río de Janeiro (IPPN-UFRJ).

Tabla 37: *Compuestos presentes en la especie Lippia graveolens. Recolectada en la aldea El Subinal, El Progreso.*

Tr	Área (%)	IK (C)	IK (A)	Compuesto
5.9	0.6	951	954	Canfeno
6.9	4.8	991	990	Mirceno
7.5	5.7	1012	1011	δ -3-Careno
7.7	1.3	1019	1017	α -terpineno
8.0	7.3	1027	1026	o-cimeno
8.1	2.5	1031	1029	Limoneno
8.3	5.8	1034	1031	1,8-cineol
9.1	4.8	1059	1059	γ -terpineno
9.5	3.9	1072	1070	hidrato de cis-sabineno
10.1	2.7	1087	1088	Terpinoleno
10.6	8.3	1103	1098	hidrato de trans-sabineno
11.5	0.9	1126	1121	cis- ρ -menth-2-en-1-ol
12.2	0.6	1143	1140	trans- ρ -menth-2-en-1-ol
13.3	1.0	1173	1169	Borneol
13.7	10.1	1183	1177	Terpinen-4-ol
14.3	2.2	1197	1188	α -terpineol
23.1	7.4	1418	1419	(<i>E</i>)-cariofileno
24.5	4.5	1453	1454	α -humuleno
25.7	1.2	1486	1489	Eudesmadieno
29.2	6.3	1578	1583	Óxido de cariofileno
30.1	2.1	1605	1608	Epóxido de humuleno II
31.1	1.0	1633	1640	Cariofila-4 (12), 8 (13) -dien-5 α -ol
31.8	4.7	1651	1650	β -eudesmol
31.9	1.0	1654	1653	α -eudesmol

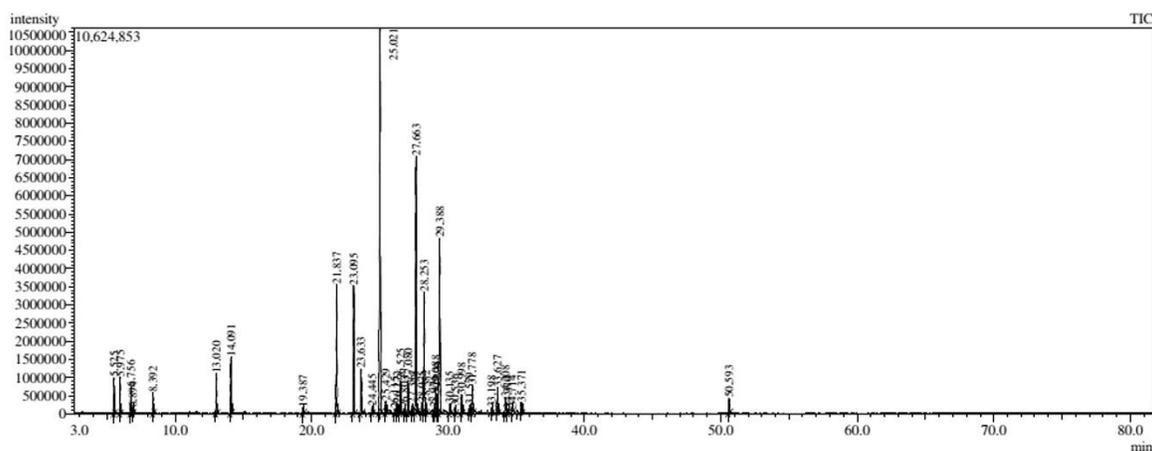
Tr: tiempo de retención experimental.

IK (C): índice de retención de Kovats calculado.

IK (A): índice de retención de Kovats reportado en Adams, 2017.

Fuente: Identificación de compuestos obtenida de Adams, 2017. Datos experimentales obtenidos en el Centro de Análisis del Laboratorio de Espectroscopía de Masas del Instituto de Investigación de Productos Naturales Walter Mors, Universidad Federal de Río de Janeiro (IPPN-UFRJ).

Figura 14: Cromatograma (GC/MS) de la especie *Piper peltatum*. Recolectada en San Luis, Petén.



Fuente: Datos experimentales obtenidos en el Centro de Análisis del Laboratorio de Espectroscopía de Masas del Instituto de Investigación de Productos Naturales Walter Mors, Universidad Federal de Río de Janeiro (IPPN-UFRJ).

Tabla 38: Compuestos presentes en la especie *Piper peltatum*. Recolectada en San Luis, Petén.

Tr	Área (%)	IK (C)	IK (A)	Compuesto
5.5	1.0	932	939	α -pineno
6.0	1.1	949	954	Canfeno
6.8	0.8	978	979	β -pineno
8.4	0.8	1028	1029	Limoneno
13.0	1.9	1146	1146	Alcanfor
14.1	2.7	1171	1169	Borneol
21.8	6.6	1345	1351	α -cububeno
23.1	6.8	1374	1375	α -Ylangeno
23.6	2.5	1386	1388	β -cububeno
25.0	22.5	1417	1419	(<i>E</i>)-cariofileno
25.4	0.7	1427	1432	β -copaeno
26.3	0.5	1447	1455	Geranil acetona
26.5	1.8	1452	1454	α -humuleno
27.1	1.9	1465	1466	9-epi-(<i>E</i>)-cariofileno
27.4	0.5	1473	1476	α -neocalitropseno
27.7	15.0	1479	1481	Germacreno D
28.1	0.6	1489	1494	epi-Cubebol
28.3	7.2	1493	1500	Biciclogermacreno

28.4	0.6	1496	1500	α -muuroleno
29.1	1.5	1513	1515	Cubebol
29.2	1.3	1516	1523	δ -cadineno
29.4	11.7	1520	1522	trans-Calameneno
30.1	0.5	1538	1545	α -Calacoreno
31.0	1.1	1559	1563	(<i>E</i>)-Nerolidol
31.8	1.6	1579	1583	Óxido de cariofileno
33.6	1.4	1625	1628	1-epi-cubenol
35.4	0.6	1670	1676	Cadalenol
50.6	0.8	2106	2059	(6 <i>E</i> , 10 <i>E</i>)-Pseudo fitol

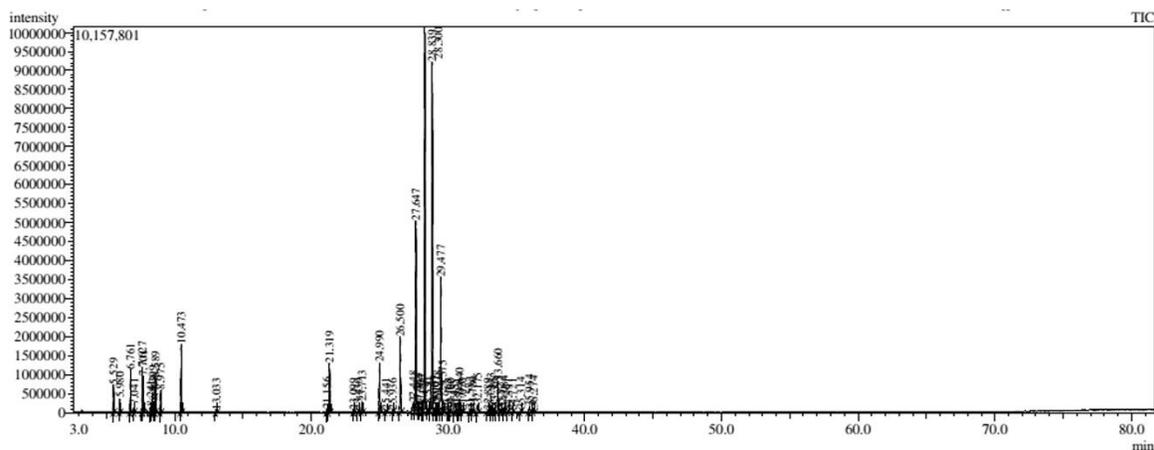
Tr: tiempo de retención experimental.

IK (C): índice de retención de Kovats calculado.

IK (A): índice de retención de Kovats reportado en Adams, 2017.

Fuente: Identificación de compuestos obtenida de Adams, 2017. Datos experimentales obtenidos en el Centro de Análisis del Laboratorio de Espectroscopía de Masas del Instituto de Investigación de Productos Naturales Walter Mors, Universidad Federal de Río de Janeiro (IPPN-UFRJ).

Figura 15: Cromatograma (GC/MS) de la especie *Piper sp.* Recolectada en El Remate, Petén.



Fuente: Datos experimentales obtenidos en el Centro de Análisis del Laboratorio de Espectroscopía de Masas del Instituto de Investigación de Productos Naturales Walter Mors, Universidad Federal de Río de Janeiro (IPPN-UFRJ).

Tabla 39: Compuestos presentes en la especie *Piper sp.* Recolectada en El Remate, Petén.

Tr	Área (%)	IK (C)	IK (A)	Compuesto
5.5	0.9	932	939	α -pineno
6.8	1.5	978	979	β -pineno
7.6	1.7	1007	1002	α -felandreno
7.7	1.3	1009	1011	δ -3-Careno
8.4	0.8	1028	1029	Limoneno
8.6	1.4	1034	1037	(Z) - β -Ocimeno
9.0	0.9	1044	1050	(E) - β -Ocimeno
10.5	3.0	1085	1088	Terpinoleno
21.3	2.7	1334	1338	δ -elemeno
23.7	0.6	1387	1390	β -elemeno
25.0	2.9	1417	1419	(E) -cariofileno
26.5	4.1	1452	1456	(E) - β -farneseno
27.4	0.8	1474	1477	γ -Gurjuneno
27.6	12.6	1479	1481	Germacreno D
28.3	23.5	1494	1493	α -Zingibereno
28.8	21.7	1507	1505	β -bisaboleno
29.2	0.6	1516	1523	δ -cadineno
29.5	8.3	1522	1522	β -sesquiphellandreno
30.8	0.7	1556	1561	Germacreno B
32.2	0.6	1588	1594	Carotol
33.7	1.9	1626	1641	Epóxido de alo-aromadendreno

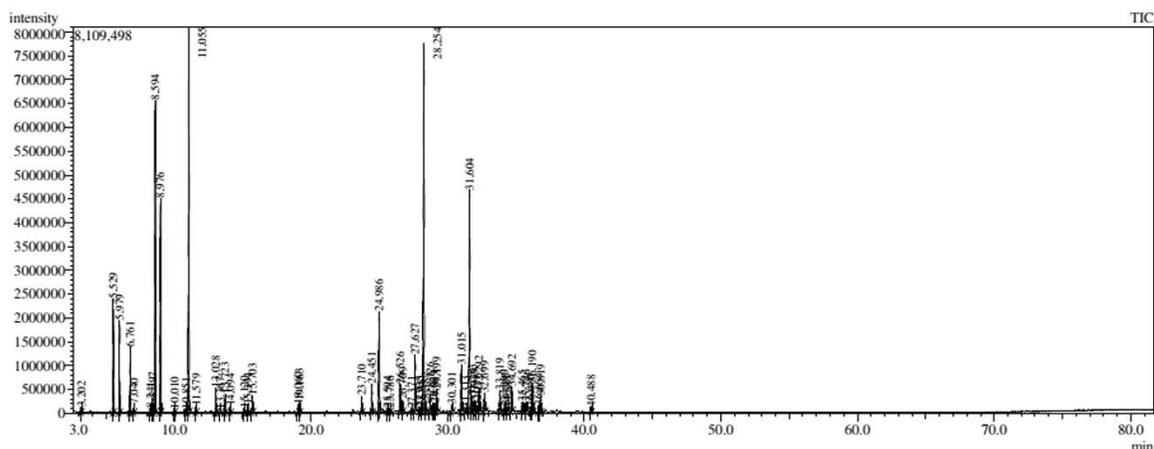
Tr: tiempo de retención experimental.

IK (C): índice de retención de Kovats calculado.

IK (A): índice de retención de Kovats reportado en Adams, 2017.

Fuente: Identificación de compuestos obtenida de Adams, 2017. Datos experimentales obtenidos en el Centro de Análisis del Laboratorio de Espectroscopía de Masas del Instituto de Investigación de Productos Naturales Walter Mors, Universidad Federal de Río de Janeiro (IPPN-UFRJ).

Figura 16: Cromatograma (GC/MS) de la especie *Piper sp.* Recolectada en Dolores, Petén. Caracterizada por presentar hojas ásperas.



Fuente: Datos experimentales obtenidos en el Centro de Análisis del Laboratorio de Espectroscopía de Masas del Instituto de Investigación de Productos Naturales Walter Mors, Universidad Federal de Río de Janeiro (IPPN-UFRJ).

Tabla 40: Compuestos presentes en la especie *Piper sp.* Recolectada en Dolores, Petén. Caracterizada por presentar hojas ásperas.

Tr	Área (%)	IK (C)	IK (A)	Compuesto
5.5	2.8	932	939	α -pineno
6.0	0.4	949	954	canfeno
6.8	1.8	978	979	β -pineno
8.6	9.4	1034	1037	(Z)- β -Ocimeno
9.0	6.7	1044	1050	(E)- β -Ocimeno
11.1	13.8	1101	1096	Linalol
13.0	1.0	1147	1146	Alcanfor
13.7	0.7	1163	1160	Isoborneol
15.7	0.7	1208	1216	trans-Carveol
23.7	0.7	1387	1390	β -elemeno
24.5	1.3	1404	1409	α -Gurjuneno
25.0	4.7	1417	1419	(E)-cariofileno
26.5	1.3	1453	1454	α -humuleno
27.6	2.7	1478	1481	Germacreno D
28.3	18.2	1493	1500	Biciclogermacreno
29.2	1.1	1516	1523	δ -cadineno
31.0	2.1	1560	1563	(E)-Nerolidol
31.6	10.8	1574	1578	Espatuleno

31.8	0.8	1579	1583	Óxido de cariofileno
31.9	0.7	1582	1590	Globulol
32.3	1.1	1591	1592	Viridiflorol
32.7	1.0	1601	1602	Ledol
33.8	1.1	1630	1633	α -acorenol
34.2	0.5	1640	1640	epi- α -cadinol
34.7	1.5	1652	1650	β -eudesmol
35.5	0.5	1672	1675	(Z)- α -santalol
36.2	1.5	1691	1700	Eudesm-7 (11) -en-4-ol
36.8	0.8	1707	1714	Longifolol

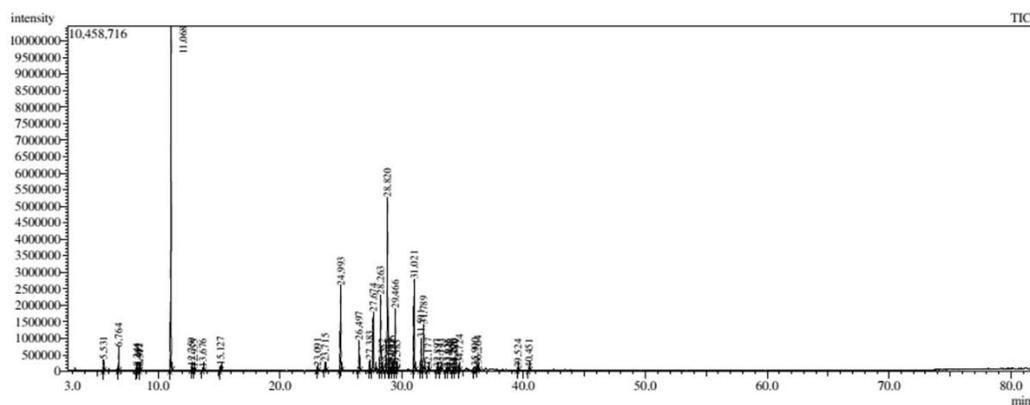
Tr: tiempo de retención experimental.

IK (C): índice de retención de Kovats calculado.

IK (A): índice de retención de Kovats reportado en Adams, 2017.

Fuente: Identificación de compuestos obtenida de Adams, 2017. Datos experimentales obtenidos en el Centro de Análisis del Laboratorio de Espectroscopía de Masas del Instituto de Investigación de Productos Naturales Walter Mors, Universidad Federal de Río de Janeiro (IPPN-UFRJ).

Figura 17: Cromatograma (GC/MS) de la especie *Piper sp.* Recolectada en Concepción Las Minas, Chiquimula. Caracterizada por presentar hojas pubescentes.



Fuente: Datos experimentales obtenidos en el Centro de Análisis del Laboratorio de Espectroscopía de Masas del Instituto de Investigación de Productos Naturales Walter Mors, Universidad Federal de Río de Janeiro (IPPN-UFRJ).

Tabla 41: *Compuestos presentes en la especie Piper sp. Recolectada en Concepción Las Minas, Chiquimula. Caracterizada por presentar hojas pubescentes.*

Tr	Área (%)	IK (C)	IK (A)	Compuesto
5.5	0.5	933	939	α -pineno
6.8	1.3	978	979	β -pineno
11.1	25.3	1101	1096	Linalol
23.7	0.6	1387	1390	β -elemeno
25.0	7.7	1417	1419	(<i>E</i>)-cariofileno
26.5	2.9	1452	1456	(<i>E</i>)- β -farneseno
27.4	0.9	1472	1479	γ -muuroleno
27.7	7.6	1479	1480	α -curcumeno
28.3	7.7	1493	1493	α -Zingibereno
28.8	16.4	1506	1505	β -bisaboleno
29.2	0.5	1516	1523	δ -cadineno
29.5	5.6	1522	1522	β -sesquiphellandreno
31.0	8.0	1560	1563	(<i>E</i>)-nerolidol
31.6	3.1	1574	1578	Espatuleno
31.8	4.5	1579	1583	Óxido de cariofileno
34.7	0.6	1653	1654	α -cadinol
36.0	0.6	1685	1689	2,3-dihidrofarnesol

Tr: tiempo de retención experimental.

IK (C): índice de retención de Kovats calculado.

IK (A): índice de retención de Kovats reportado en Adams, 2017.

Fuente: Identificación de compuestos obtenida de Adams, 2017. Datos experimentales obtenidos en el Centro de Análisis del Laboratorio de Espectroscopía de Masas del Instituto de Investigación de Productos Naturales Walter Mors, Universidad Federal de Río de Janeiro (IPPN-UFRJ).

 31.8 0.7 1578 1583 Óxido de cariofileno

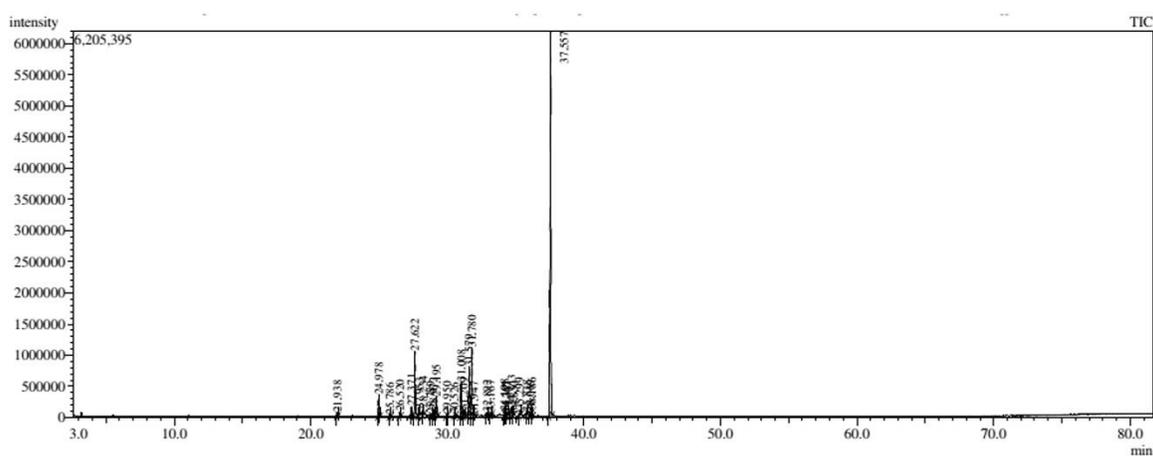
Tr: tiempo de retención experimental.

IK (C): índice de retención de Kovats calculado.

IK (A): índice de retención de Kovats reportado en Adams, 2017.

Fuente: Identificación de compuestos obtenida de Adams, 2017. Datos experimentales obtenidos en el Centro de Análisis del Laboratorio de Espectroscopía de Masas del Instituto de Investigación de Productos Naturales Walter Mors, Universidad Federal de Río de Janeiro (IPPEN-UFRJ).

Figura 19: Cromatograma (GC/MS) de la especie *Stevia serrata*. Recolectada en carretera entre Chichicastenango y Santa Cruz del Quiché, Quiché.



Fuente: Datos experimentales obtenidos en el Centro de Análisis del Laboratorio de Espectroscopía de Masas del Instituto de Investigación de Productos Naturales Walter Mors, Universidad Federal de Río de Janeiro (IPPEN-UFRJ)..

Tabla 43: Compuestos presentes en la especie *Stevia serrata*. Recolectada en carretera entre Chichicastenango y Santa Cruz del Quiché, Quiché.

Tr	Área (%)	IK (C)	IK (A)	Compuesto
25.0	2.5	1417	1419	(E)-cariofileno
26.5	0.6	1452	1454	α -humuleno
27.4	1.1	1472	1479	γ -muuroleno
27.6	8.7	1478	1481	Germacreno D
28.0	0.6	1486	1490	β -selineno
28.2	0.8	1492	1500	Biciclogermacreno
29.0	0.7	1510	1513	γ -cadineno

Tabla 44: *Compuestos presentes en la especie Stevia serrata. Recolectada en carretera a Santa María Chiquimula, Totonicapán.*

Tr	Área (%)	IK (C)	IK (A)	Compuesto
25.0	4.0	1417	1419	(<i>E</i>)-cariofileno
26.5	0.6	1452	1454	α -humuleno
27.4	15.3	1472	1479	γ -muuroleno
27.6	2.3	1478	1481	Germacreno D
28.2	1.0	1492	1500	Biciclogermacreno
29.2	3.9	1515	1523	δ -cadineno
31.0	2.3	1560	1563	(<i>E</i>)-nerolidol
31.6	3.2	1574	1575	Germacreno D-4-ol
34.7	1.0	1653	1654	α -cadinol
37.6	62.5	1728	1731	Camazuleno

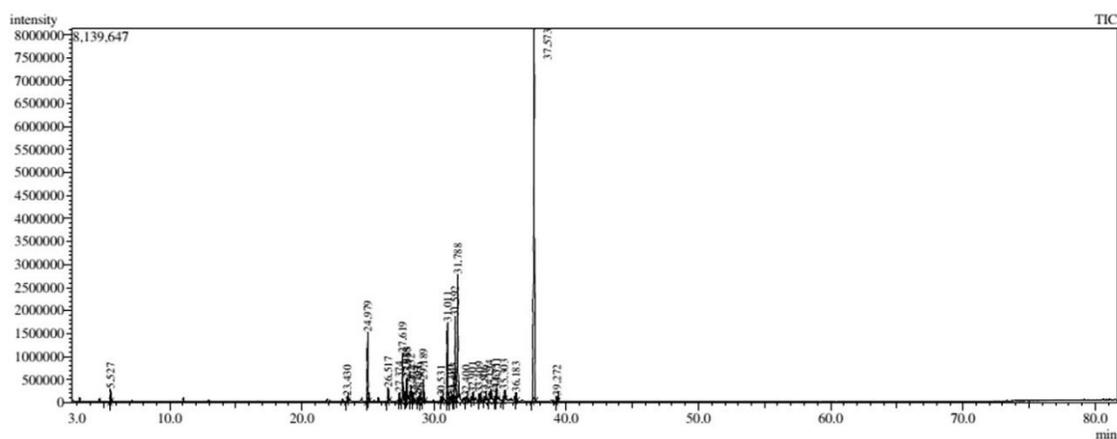
Tr: tiempo de retención experimental.

IK (C): índice de retención de Kovats calculado.

IK (A): índice de retención de Kovats reportado en Adams, 2017.

Fuente: Identificación de compuestos obtenida de Adams, 2017. Datos experimentales obtenidos en el Centro de Análisis del Laboratorio de Espectroscopía de Masas del Instituto de Investigación de Productos Naturales Walter Mors, Universidad Federal de Río de Janeiro (IPPEN-UFRJ).

Figura 21: *Cromatograma (GC/MS) de la especie Stevia serrata. Recolectada en aldea San José Ixcaniche, San Miguel Ixtahuacán, San Marcos.*



Fuente: Datos experimentales obtenidos en el Centro de Análisis del Laboratorio de Espectroscopía de Masas del Instituto de Investigación de Productos Naturales Walter Mors, Universidad Federal de Río de Janeiro (IPPEN-UFRJ).

Tabla 45: *Compuestos presentes en la especie Stevia serrata. Recolectada en aldea San José Ixcaniche, San Miguel Ixtahuacán, San Marcos.*

Tr	Área (%)	IK (C)	IK (A)	Compuesto
5.5	0.6	932	939	α -pineno
25.0	6.6	1416	1419	(<i>E</i>)-cariofileno
26.5	1.2	1452	1454	α -humuleno
27.4	0.7	1472	1479	γ -muuroleno
27.6	4.4	1478	1481	Germacreno D
27.9	1.7	1484	1492	δ -Selineno
28.2	1.6	1492	1500	Biciclogermacreno
28.4	0.5	1496	1500	α -muuroleno
29.0	0.6	1510	1512	δ -amorfenol
29.2	1.8	1515	1523	δ -cadineno
31.0	7.1	1560	1563	(<i>E</i>)-Nerolidol
31.6	7.9	1574	1578	Espatulenol
31.8	11.8	1579	1583	Óxido de cariofileno
32.4	0.6	1594	1600	Guaiol
33.4	1.0	1619	1632	γ -Eudesmol
34.2	0.6	1639	1640	Cedrelanol
34.7	1.1	1653	1654	α -cadinol
35.3	0.9	1668	1669	14-hidroxi-9-epi-(<i>E</i>)-cariofileno
36.2	0.7	1690	1692	Acorenona
37.6	42.9	1727	1731	Camazuleno
39.3	0.6	1773	1780	Guayazuleno

Tr: tiempo de retención experimental.

IK (C): índice de retención de Kovats calculado.

IK (A): índice de retención de Kovats reportado en Adams, 2017.

Fuente: Identificación de compuestos obtenida de Adams, 2017. Datos experimentales obtenidos en el Centro de Análisis del Laboratorio de Espectroscopía de Masas del Instituto de Investigación de Productos Naturales Walter Mors, Universidad Federal de Río de Janeiro (IPPEN-UFRJ).

Figura 22: *Fotografía de aparato de hidrodestilación Clevenyer utilizado.*



Fuente: Laboratorio de la Unidad de Análisis Instrumental, Edificio T-13 primer nivel, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala, zona 12. Ciudad de Guatemala.

Figura 23: *Fotografía de material de Stevia serrata recolectado.*



Fuente: Laboratorio de la Unidad de Análisis Instrumental, Edificio T-13 primer nivel, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala, zona 12. Ciudad de Guatemala.

Figura 24: *Fotografía de material de S. serrata secado en horno.*



Fuente: Laboratorio de la Unidad de Análisis Instrumental, Edificio T-13 primer nivel, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala, zona 12. Ciudad de Guatemala.

Figura 25: *Fotografía de material de S. serrata en aparato de hidrodestilación Clevenyer.*



Fuente: Laboratorio de la Unidad de Análisis Instrumental, Edificio T-13 primer nivel, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala, zona 12. Ciudad de Guatemala.

Figura 26: *Fotografía de aceite esencial de S. serrata extraído por aparato de hidrodestilación Clevenyer.*



Fuente: Laboratorio de la Unidad de Análisis Instrumental, Edificio T-13 primer nivel, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala, zona 12. Ciudad de Guatemala.

Figura 27: Fotografía de tubos de ensayo utilizados para la medición de actividad antioxidante de los diferentes aceites esenciales.



Fuente: Laboratorio de la Unidad de Análisis Instrumental, Edificio T-13 primer nivel, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala, zona 12. Ciudad de Guatemala.

Figura 28: Fotografía desde perspectiva superior de los tubos de ensayo utilizados para la medición de actividad antioxidante de los diferentes aceites esenciales.



Fuente: Laboratorio de la Unidad de Análisis Instrumental, Edificio T-13 primer nivel, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala, zona 12. Ciudad de Guatemala.



Luis Alberto Rizzo Hurtado
Autor



Dr. Juan Francisco Pérez Sabino
Asesor



Dr. Juan Francisco Pérez Sabino
Coordinador



Lic. Bessie Evelyn Oliva Hernández
Directora de Escuela



M.A. Pablo Ernesto Oliva Soto
Decano