



**BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE  
PUEBLA.**

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA.

PROGRAMA EDUCATIVO: Licenciatura en ingeniería química.

***Análisis de terpenaje en aceites esenciales  
obtenidos mediante extracción por microondas.***

*Octubre 2022*

*Tesis presentada para obtener el grado de Licenciatura en  
Ingeniería Química.*

Presenta: Yanet Sánchez Pazos

Director de tesis: Dra. Lilia Alejandra Conde Hernández.

Asesores de tesis:

Dra. Esmeralda Vidal Robles

Dra. María del Consuelo Mendoza Herrera

### ***Agradecimientos.***

En primera instancia a mi asesora de tesis Dra. Lilia Alejandra Conde Hernández, por el tiempo dedicado a este trabajo y los conocimientos brindados.

Al jurado, Dra. Esmeralda Vidal Robles y Dra. María del Consuelo Mendoza Herrera, que me guiaron y acompañaron durante este proceso.

A mi familia; a mi madre y hermanos por confiar siempre en mí; A mi esposo por su apoyo y paciencia. A mi hijo por ser mi fuerza, mi alegría y mi todo.

## ÍNDICE GENERAL.

Introducción.....	7
Planteamiento del problema.....	8
Justificación.....	9
Objetivos .....	9
Objetivo general .....	9
Objetivo específico.....	9
Hipótesis .....	10
Capítulo 1. Marco teórico .....	10
1.1 Aplicaciones de los aceites esenciales .....	10
1.2 Síntesis de los aceites esenciales.....	100
1.2.1 Vía metabólica del ácido mevalónico .....	13
1.2.2 Vía metabólica del ácido shikímico .....	13
1.2.3 Vía metabólica de biosíntesis de ácidos grasos.....	15
1.2.4 Distribución en estado natural.....	16
1.3 Métodos de extracción de aceites esenciales.....	17
1.3.1 Métodos directos.....	17
1.3.2 Destilación.....	17
1.3.3 Método de extracción por solventes.....	20
1.3.3.1 Extracción con solventes volátiles.....	20
1.3.3.2 Extracción con fluidos súper críticos .....	20
1.3.3.3 Enfloración o enfleurage .....	21
1.4 Clasificación.....	22
1.4.1 Terpenos .....	22
1.4.2 Monoterpenos .....	24
1.4.3 Sesquiterpenos .....	26
1.4.4 Diterpenos.....	26

1.4.5 Esterterpeinodes .....	27
1.4.6 Triterpenos.....	27
1.5 Terpenoides.....	27
1.6 Cromatografía de gases.....	28
1.7 Espectrometría de masas .....	29
1.7.1 Descripción del equipo .....	29
1.8 Cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas.....	30
1.9 Índice de retención.....	31
Capítulo 2. Metodología .....	33
Capítulo 3. Resultados y discusión de resultados.....	34
3.1 <i>Especies investigadas</i> .....	34
3.2 Clasificación de terpenos .....	35
3.3 <i>Amomum tsao-ko</i> .....	49
3.4 <i>Amorpha fruticosa</i> .....	50
3.5 <i>Cinnamomi Cortex</i> .....	51
3.6 <i>Cinnamomum camphora</i> .....	51
3.7 <i>Cinnamomum longepaniculatum</i> .....	52
3.8 <i>Dryopteris fragrans</i> .....	53
3.9 <i>Ferulago angulata</i> .....	53
3.10 <i>Fructus forsythiae</i> .....	54
3.11 <i>Helichrysum arenarium</i> .....	55
3.12 <i>Lavándula</i> .....	55
3.13 <i>Magnolia sieboldii</i> .....	56
3.14 <i>Nigella sativa</i> .....	57
3.15 <i>Ocimum basilicum</i> .....	58
3.16 <i>Pterodon emarginatus</i> .....	58
3.17 <i>Prunus laurocerasus</i> .....	59
3.18 <i>Salvia officinalis</i> .....	60
3.19 <i>Vaccinium uliginosum</i> .....	61
3.20 <i>Cinnamomum japonicum</i> .....	61
3.21 <i>Tribulus terrestres</i> .....	62
3.22 <i>Digitalis purpurea</i> .....	62

4. Conclusiones.....	63
5. Referencias bibliográficas. ....	64

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estomas típicas de una hoja.....	11
Figura 2. Tricoma glandular de una hoja.....	12
Figura 3. Ruta metabólica del ácido shikímico.....	14
Figura 4. Ruta metabólica de los ácidos grasos.....	16
Figura 5. Destilación por arrastre de vapor.....	18
Figura 6. Destilación con agua o hidrodestilación.....	19
Figura 7. Extracción por solventes volátiles.....	20
Figura 8. Principio de extracción por fluidos supercríticos.....	21
Figura 9. Enfloración o enflurange.....	22
Figura 10. Ejemplos monoterpenos.....	24
Figura 11. Ejemplos de sesquiterpenos.....	26
Figura 12. Esqueleto base del oleanano triterpeno pentacíclico.....	27
Figura 13. Estructura básica de lo monoterpenoides, sesquiterpenoides, diterpenoides.....	28
Figura 14. Esquema de equipo de espectrometría.....	30
Figura 15. <i>Esquema del sistema acoplado CGMS</i> .....	31
Figura 16. Clasificación de terpenos del aceite esencial de <i>Amomum tsao-ko</i> .....	49
Figura 17. Clasificación de terpenos del aceite esencial de <i>Amomum fruticoso</i> .....	50
Figura 18. Clasificación de terpenos del aceite esencial de <i>Cinnamomi Cortex</i> .....	51
Figura 19. Clasificación terpenos de la especie <i>Cinnamomum amorpho</i> .....	52
Figura 20. Clasificación de terpenos en la especie <i>Cinnamomum longepaniculatum</i> .....	53
Figura 21. Clasificación de terpenos de la especie <i>Ferulago angulata</i> .....	54
Figura 22. Clasificación de terpenos de la especie <i>Helichrysum arenarium</i> .....	55
Figura 23. Clasificación de terpenos de la especie <i>Lavándula</i> .....	56
Figura 24. Clasificación de terpenos de la especie <i>Magnolia sieboldii</i> .....	57
Figura 25. Clasificación de terpenos de la especie <i>Nigella sativa</i> .....	57

Figura 26. Clasificación de terpenos de la especie <i>Pterodon emarginatus</i> .....	59
Figura 27. Clasificación de terpenos de la especie <i>Prunus laurocerasus</i> .....	60
Figura 28. Clasificación de terpenos de la especie <i>Salvia officinalis</i> .....	60
Figura 29. Clasificación de terpenos de la especie <i>Vaccinium uliginosum</i> .....	61
Figura 30. Clasificación de terpenos de la especie <i>Cinnamomum japonicum</i> .....	62

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Aplicaciones de los aceites esenciales en la industria. ....	10
Tabla 2. Clasificación de los terpenos.....	23
Tabla 3. Especies investigadas. ....	34
Tabla 4. Clasificación de monoterpenos en especies vegetales. ....	36
Tabla 5. Clasificación de sesquiterpenos en especies vegetales.....	40
Tabla 6. Clasificación de sesterterpenos en especies vegetales.....	48

## **Introducción**

Un aceite esencial, es aquel que se obtiene de una planta o fruto a partir de distintos métodos, principalmente tiene la funcionalidad de proteger a la planta.

Desde un punto de vista biológico se define como metabolitos secundarios de las plantas que no son imprescindibles para desempeñar sus funciones vitales (*Ríos et al., 2007*). Sin embargo, estos pueden servirles de protección frente a virus, bacterias, hongos y una amplia variedad de herbívoros, o incluso disminuir el efecto negativo que pueden originar las fluctuaciones de temperatura sobre las plantas. Además, repelen a insectos dañinos y pueden estar involucrados en la atracción de polinizadores con el fin de incrementar la dispersión del polen e incluso la de las semillas (*Bakkali et al., 2008*).

Desde un punto de vista químico, los aceites esenciales son las fracciones líquidas volátiles que sintetizan algunas plantas, y que son responsables del olor característico de éstas. Son mezclas naturales complejas que pueden contener entre 20 y 60 componentes a concentraciones muy variables. Éstos suelen ser hidrocarburos alifáticos de bajo peso molecular, monoterpenos, sesquiterpenos y fenilpropanos. Generalmente hay dos o tres componentes principales en una concentración más elevada (20-70%), mientras que los restantes pueden llegar a estar representados únicamente por trazas (*Martínez, 2001*).

La norma ISO 9235 dice que un aceite esencial es un producto obtenido de una materia prima natural de origen vegetal por destilación al vapor, hidrodestilación, destilación seca o por proceso mecánico del pericarpio de frutos cítricos, separando, si es necesario, la fase acuosa por proceso físico (decantación).

Sin embargo, el término de aceite esencial fue utilizado hasta el siglo XVI, por un médico y farmacéutico llamado Paracelso, quien se basó en la teoría de Aristóteles propuesta dos mil años atrás. Cabe señalar que Paracelso usó estos aceites como medicamentos, señalándolos así como la quinta esencia. A partir de ello la producción a pequeña escala de aceites esenciales, fue una realidad, tanto que para el siglo XVII, estos eran preparados en farmacias.

Con la llegada de mayor tecnología, la medicina moderna fue en aumento, entonces llegaron las vacunas y antibióticos que actualmente conocemos, esto provocó que poco a poco los remedios tradicionales se sustituyeran. Pese a esto, los aceites esenciales se abrieron paso a nuevas ramas de la industrialización, y fue así que para el siglo XIX, se empleaban en perfumes y saborizantes alimenticios. Más adelante se dio el descubrimiento y desarrollo de la química orgánica en 1850, con ello se sintetizaron algunos aceites aromáticos que imitaban los naturales.

En la actualidad se pueden hacer análisis exhaustivos para conocer su composición, lo que abre nuevas oportunidades para la investigación de ellos, sumado a esto, se ha reanudado la investigación de aceites esenciales como medicamentos en países desarrollados. Además de ser importantes para la industria cosmética y alimentaria que se apegan cada vez más a los productos naturales, y menos contaminantes. En esta tesis se analizará la composición de aceites esenciales de distintas plantas obtenidos a partir de extracción por microondas, dedicando el estudio principalmente en examinar el terpenaje de cada uno de ellos.

### **Planteamiento del problema.**

Los aceites esenciales juegan un papel importante en la vida del ser humano desde hace muchos años, sin embargo, a lo largo del tiempo la manera en la que estos se obtienen, así como la forma de utilizarlos, dentro de la cotidianidad como en la ciencia, se ha ido adaptando al avance tecnológico de los instrumentos. Se tienen distintos datos, pero la mayoría de estos señalan que los aceites esenciales son utilizados desde la antigüedad, como perfumes, cosméticos y medicinas. Siendo las civilizaciones más antiguas en utilizarlos la china y egipcia, según manuscritos; además se hace un gran referente a ellos dentro de los textos de la biblia.

En los últimos años los estudios sobre aceites esenciales han aumentado de forma considerable. Existen diversos métodos de obtención de aceites esenciales, tanto métodos convencionales como métodos innovadores, siendo el más común

el proceso de extracción supercrítica, incluso existe un número muy grande de publicaciones que abarca los distintos terpenos en los aceites esenciales. Sin embargo, hasta ahora no hay una investigación que recopile los diversos terpenos en aceites esenciales obtenidos a partir de plantas aromáticas mediante el proceso de extracción por microondas.

### **Justificación**

Esta investigación se enfoca en el estudio de los principales componentes como lo son los terpenos, sustancias que tienen efectos médicos, alimentarios y cosméticos, que se apegan cada vez más a la demanda de productos naturales. Además, es preciso señalar que los terpenos son metabolitos secundarios presentes en las plantas a bajas concentraciones, por lo que para determinar su presencia y aprovechar sus propiedades deben de ser extraídos, y analizados por medio de procesos difíciles y costosos, lo que hace complicado su uso a nivel industrial. En el proceso de extracción por microondas usualmente se determinan las condiciones óptimas para realizar el proceso y la composición química de los aceites esenciales, sin embargo, no se tiene una recopilación de todos los terpenos encontrados en los aceites esenciales mediante este proceso.

### **Objetivos**

#### **Objetivo general**

Analizar los terpenos de distintos aceites esenciales de plantas aromáticas, obtenidos por extracción en microondas reportados en la bibliografía del año 2010 – 2020.

#### **Objetivo específico**

- Clasificar los terpenos de los aceites esenciales reportados en la revisión bibliográfica realizada.
- Determinar la técnica cromatográfica utilizada en el análisis de los aceites esenciales reportados en la revisión bibliográfica realizada.

## Hipótesis

Los aceites esenciales poseen un 20% de sesquiterpenos y el resto de los demás terpenos (hemiterpenos, monoterpenos, diterpenos, sesterpenos.)

## Capítulo 1. Marco teórico

### 1.1 Aplicaciones de los aceites esenciales

Anteriormente se mencionaron algunos usos de los aceites esenciales, de formas muy generales, sin embargo, el uso de los aceites esenciales no se limita solamente a estas utilidades. Todos los días, sin saberlo, estamos haciendo uso de algún producto o material derivado de estas sustancias (*Weiss, 1997*). La Tabla 1, muestra las aplicaciones de los aceites en distintas industrias.

*Tabla 1. Aplicaciones de los aceites esenciales en la industria.*

INDUSTRIA	APLICACIÓN
<b>Adhesivos</b>	Pegamento para porcelana y caucho.
<b>Alimentaria animal</b>	Comida preparadas y piensos
<b>Automovilística</b>	Limpiaparabrisas y ambientadores.
<b>Repostería</b>	Condimentos, saborizantes y aromatizantes.
<b>Chicles</b>	Saborizantes
<b>Condimentos</b>	Saborizantes
<b>Dentífricos</b>	Saborizantes y colorantes
<b>Insecticidas</b>	Repelentes, aromatizantes.
<b>Alimentaria</b>	Aromatizantes, saborizantes, bebidas, sopas, adobos.
<b>Productos de limpieza</b>	Aromatizantes
<b>Pintura</b>	Disolventes, barnices
<b>Perfumería y cosmética</b>	Aromatizantes, colorantes.
<b>Tabaquera</b>	Aromatizantes.

### 1.2 Síntesis de los aceites esenciales

Respecto a la planta, los aceites esenciales no solo sirven como antibacterianos, sino que también ayudan a está para la polinización; sin embargo, en el proceso de vida vegetal, los aceites esenciales se encuentran en distintas formas y distintas partes de las mismas.

La estructura del filoma de los vegetales ha sufrido grandes cambios y adaptaciones a lo largo de la evolución, según los hábitats donde viven. De forma general, podemos decir que un nomófilo consta de: cutícula o capa fina de

sustancias secretadas por la planta; epidermis, constituida por una capa de células, o en ocasiones por varias, y mesófilo diferenciado a su vez en parénquima en empalizada, constituido por células más engrosadas colocadas ordenadamente por debajo de la epidermis, y parénquima esponjoso que consta de gran cantidad de células cloroplásticas, que mediante su distribución dejan espacios de aire entre las distintas células (Bowes, 1996).

El tejido epidérmico o epidermis, que se muestra en la Figura 1, comprende las células epidérmicas, las estomas y el indumento (pelos o tricomas). Es el tejido primario más externo de la planta, cumple funciones de: protección, intercambio gaseoso a través de las estomas e impermeabilidad.

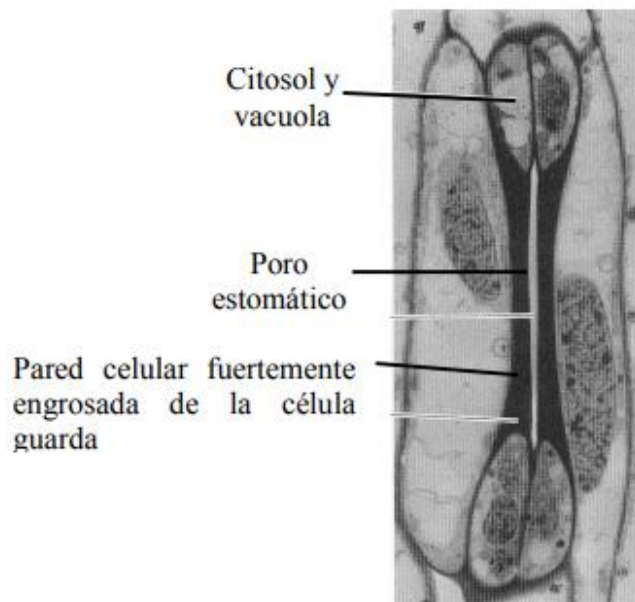


Figura 1. Estomas típicas de una hoja (Lincoln et al., 2003)

El estudio de los tricomas suele ser más variado, ya que este clasifica distintos tipos de morfología, como peltados, estrellados, ramificados, lineales, etc. Y con respecto a sus funciones algunos de ellos son secretores de sustancias y otros acumuladores de ellas, justamente en esta clasificación se encuentran los aceites esenciales, al ser acumuladas en los tricomas o secretadas. Se habla de “plantas

acumuladoras” como es el caso de *Bupleurum sp.* (Gouan), *Cistus sp* (*jaras*), o *Pinus sp* (*pino*, entre otros o de “plantas no acumuladoras” como es el caso de *Arbutus sp* (Madroño), *Quercus sp.* (Roble) (Lluisa et al., 2000)

La acumulación o biosíntesis de estas sustancias generalmente se dan como ya se describió, dependiendo de la familia o género de la planta se pueden dar también en el tallo, flores, raíces, o frutos. Aunque una misma especie puede presentar distintos tipos de tricomas con distintas funciones, en el caso de los tricomas glandulares (Figura 2) de especies aromáticas, siempre se utilizan para el almacenamiento de los compuestos volátiles que caracterizan su fragancia (Brun et al., 1991).

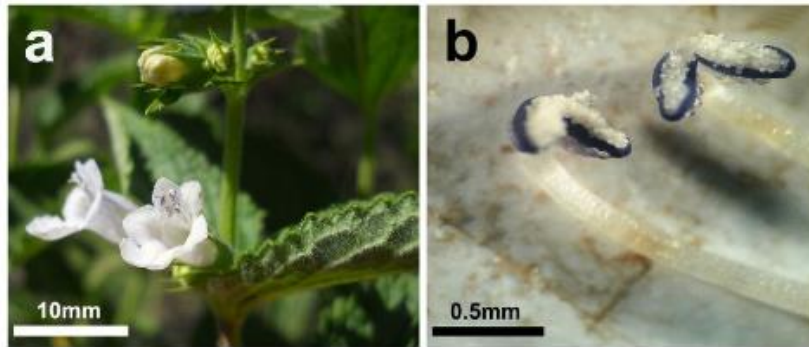


Figura 2. Tricoma glandular de una hoja (*Camina et al., 2018*)

Como ya se dijo desde hace ya varios siglos existe un gran interés en los aceites esenciales, tanto que este condujo a las estrategias y métodos para caracterizar y aislar este tipo de compuestos. Existen tres rutas metabólicas por las cuales una planta sintetiza estos compuestos, y de acuerdo a estas se sabe que pueden ser formados por componentes volátiles o por metabolitos secundarios, lo cual nos da un parámetro para clasificar, estas sustancias.

Las rutas metabólicas mencionadas anteriormente, son:

- Vía metabólica del ácido mevalónico: Terpenoides.
- Vía metabólica del ácido siquímico: Fenil propanoides.
- Vía metabólica de biosíntesis de ácidos grasos: Compuestos alicíclicos.

Como se puede observar análogamente, cada vía nos llevará a un destino diferente, es decir cada ruta nos dará un producto natural distinto, que a su vez nos llevará a un aceite esencial para cada hierba, fruto u hoja.

### **1.2.1 Vía metabólica del ácido mevalónico**

Para la síntesis del ácido mevalónico son necesarias elevadas cantidades de acetil coenzima A (Acetil-CoA) además de que se tiene una relación de gas dióxido de carbono y oxígeno ( $\text{CO}_2/\text{O}_2$ ) alto y mantenido, la cual aparece como consecuencia de tres reacciones de la glucólisis en adición al ciclo de Krebs. Dos de ellas son descarboxilaciones oxidativas (formación de acetil-CoA y succinil-CoA de los ácidos pirúvico y oxalacético, y la otra es una descarboxilación no oxidativa (formación de ácido aceto glutámico oxal-acético a partir del oxal-acético gracias a la oxal-acético descarboxilasa).

La transferencia del radical malonilo sobre el acetilo (con liberación del  $\text{CO}_2$  activador) da lugar al aceto-acetil-CoA, se realiza sobre una molécula portadora llamada ACP por sus siglas en inglés “*acyl carrier protein*”, que en realidad es un conjunto multienzimático sobre el que se forman los ácidos grasos. Una vez conseguida la reducción completa del grupo “oxo” presente en este ácido de 4 átomos de carbono (se utilizan nicotinamida adenina dinucleótido fosfato y flavín adenín dinucleótido, liberándose agua), el butiril-CoA resultante comienza un nuevo ciclo, al interactuar con otra molécula de ácido malónico, con lo cual se justifica el porqué, en general, los ácidos grasos presentan un número par de átomos de carbono (Rittenberg et al., 1945).

### **1.2.2 Vía metabólica del ácido shikímico**

La ruta del ácido shikímico, como se observa en la Figura 3, está formada por un conjunto de reacciones metabólicas con gran importancia en la biosíntesis de los tres aminoácidos proteicos aromáticos: fenilalanina, tirosina y triptófano, además de una extensa rama de metabolitos secundarios.

A este proceso biosintético se le llama así, ya que en él interviene el ácido shikímico, aislado de plantas de la especie *Illicium*, que agrupa a algunos ejemplares tóxicos como el *I. religiosum* o *anisatum*. La fenilalanina y la tirosina son la base de los fenilpropanoides, compuestos en los cuales es posible

identificar unidades de C<sub>6</sub>C<sub>3</sub> de fenilpropano presentes en una inmensa cantidad de productos (ácido cinámico, cumarinas, líganos y flavonoides); por otra parte, el triptófano se encuentra ligado a la formación de una significativa cantidad de alcaloides. En adición, a partir de este proceso se forman derivados de ácido benzoico como los ácidos gálicos y *p*-amino benzoico o PABA.

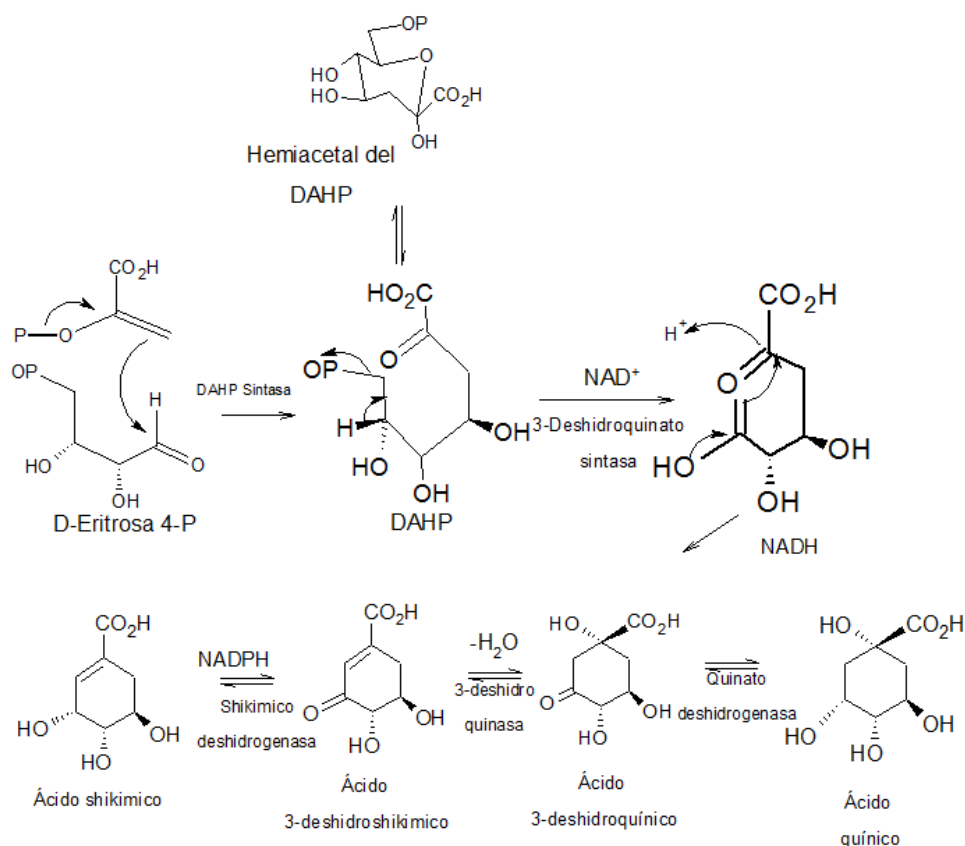


Figura 3. Ruta metabólica del ácido shikímico.

La ruta del ácido shikímico se comienza con una condensación entre el fosfoenolpiruvato (PEP) y la D-eritrosa-4-fosfato para generar el ácido 3-desoxi-D-arabino-heptulosónico 7-fosfato (DAHP por su nombre en inglés). Después el DAHP sufre una oxidación, y a continuación una pérdida de fosfato y nuevamente una reducción con NAD<sup>+</sup> para generar el intermediario A, la conversión de DHAP a A puede visualizarse como una β-eliminación de ácido fosfórico. Seguidamente se hace cíclico y se transforma en ácido 3-deshidroquinico. El ácido 3-deshidroquinico puede entonces reducirse con la ayuda de NADH, a una sustancia que se encuentra ampliamente distribuida en la naturaleza llamado

ácido clorigénico, ya sea como tal o formando parte de algún sustrato (ésteres, alcaloides como la quinina, etc.). El ácido 3-deshidroquínico, se deshidrata para transformarse en ácido 3-deshidroshikímico, el cual se transforma en shikímico debido a una reacción de oxidación.

### **1.2.3 Vía metabólica de biosíntesis de ácidos grasos.**

Los ácidos grasos son compuestos de gran importancia para la vida ya que estos desempeñan funciones clave en los sistemas biológicos, algunas de ellas son reserva energética, componentes de las membranas biológicas, etc.

En todos los sistemas biológicos la síntesis de ácidos grasos tiene la misma ruta metabólica, aunque algunas veces la variación está en las enzimas involucradas. Esta síntesis, ocurre en el citosol, a partir de Acetil-Coenzima A (Acetil-CoA), la cual también es un subproducto de la degradación de ácidos grasos.

La síntesis de ácidos grasos (Figura 4) se da al enlazar dos átomos de carbono y reducirlos para formarlos, esto se lleva a cabo en tres etapas:

- Salida del Acetil-CoA desde la mitocondria al citosol
- Activación del Acetil-CoA a Malonil-CoA.
- Síntesis de los ácidos grasos

En la Etapa 2, la carboxilación de Acetil-CoA dará como producto Malonil-CoA mediante la reacción catalizada por la enzima Acetil-CoA carboxilasa, que es el paso limitante en la biosíntesis de ácidos grasos.

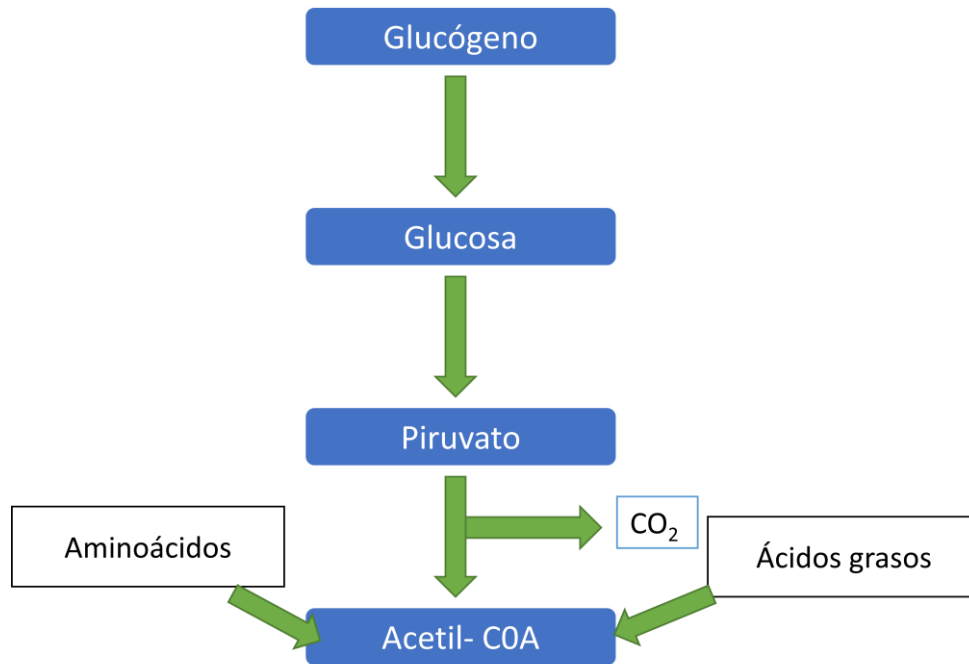


Figura 4. Ruta metabólica de los ácidos grasos.

#### 1.2.4 Distribución en estado natural

Según Martínez (2003) los aceites esenciales se encuentran ampliamente distribuidos en unas 60 familias de plantas que incluyen las Compuestas, Labiadas, Lauráceas, Mirtáceas, Pináceas, Rosáceas, Rutáceas, Umbelíferas, etc. Se les puede encontrar en diferentes partes de la planta: en las hojas (ajenjo, albahaca, buchú, cidrón, eucalipto, hierbabuena, limoncillo, mejorana, menta, pachulí, quenopodio, romero, salvia, toronjil, etc.), en las raíces (angélica, asaro, azafrán, cálamo, cúrcuma, galanga, jengibre, sándalo, sasafrás, valeriana, vetiver, etc.), en el pericarpio del fruto (limón, mandarina, naranja, etc.), en las semillas (anís, cardamomo, eneldo, hinojo, comino, etc.), en el tallo (canela, caparrapí3, etc.), en las flores (arnica, lavanda, manzanilla, piretro, tomillo, clavo de olor, rosa, etc.) y en los frutos (alcaravea, cilantro, laurel, nuez moscada, perejil, pimienta, etc.).

Los monoterpenoides se encuentran principalmente en plantas de los órdenes Ranunculales, Violales y Primulales, mientras que son escasos en Rutales,

Cornales, Lamiales y Asterales. Por el contrario, los sesquiterpenoides abundan en Magnoliales, Rutales, Cornales y Asterales.

Aunque en los aceites esenciales tanto los monoterpenos, los sesquiterpenos y los fenilpropanos se les encuentran en forma libre, más recientemente se han investigado los que están ligados a carbohidratos, ya que se considera que son los precursores inmediatos del aceite como tal.

### **1.3 Métodos de extracción de aceites esenciales**

#### **1.3.1 Métodos directos.**

Los métodos directos de extracción de aceites esenciales, son principalmente utilizados en los cítricos, ya que en estos es donde se pueden extraer fácilmente los aceites por medio de la acción de exprimir.

El aceite de estos cítricos está envuelto por el epicarpio, al romper la corteza tales celdas son divididas y estas liberan el aceite.

Las etapas de liberación del aceite son divididas como sigue:

- Laceración de la epidermis y de la esencia que contiene el fruto.
- Generación de presión a la cascara la cual fluye a las áreas circundantes, para que a su vez el aceite fluya al exterior.

#### **1.3.2 Destilación**

Es el proceso físico que separa, concentra, y/o purifica en mayor o menor grado los componentes de una mezcla líquida en base a sus diferentes puntos de ebullición o presiones de vapor. En esencia el proceso depende de la posibilidad de generar vía ebullición, una fase vapor de composición diferente a la de la fase líquida. La condensación de esta fase vapor produce una fase líquida enriquecida en el o los componentes más volátiles de la mezcla original (*Iñiguez, 2010*).

Comúnmente los instrumentos para destilar aceites esenciales son:

Fuente de energía.

Destilador.

Intercambiador de calor.

Decantador.

Se tienen varios tipos de destilación siendo una de ellas la destilación por arrastre de vapor que en principios básicos se trata de generar vapor en una caldera, para luego ser inyectado al tanque extractor, por medio de tubos que se encuentran por debajo de una parrilla en donde está la masa vegetal, entonces el vapor entra en contacto con la materia, y se libera la esencia, que luego será condensada, como se puede apreciar en la Figura 5. Cabe mencionar que no es aplicable para flores o materia que se suele pegar entre ella y que regularmente la materia vegetal debe estar molida para entrar en proceso. Este proceso es eficiente, y se tiene un mayor control sobre las variables de estado; sin embargo se pueden tener efectos colaterales tales como formación de resina o polimerización de los terpenos.



Figura 5. Destilación por arrastre de vapor (Noguera, 2020)

Por otra parte tenemos a la hidrodestilación (Figura 6) que radica fundamentalmente en poner a hervir agua, por medio de contacto directo con fuego o a través del intercambio de calor con un fluido, que funciona mediante un serpentín en donde fluye agua o aceite. Cabe señalar que la materia vegetal debe estar totalmente triturada, antes de ser agregada al tanque de extracción.

Similar al método anterior, el vapor de agua sube y al ponerse en contacto con la masa vegetal, este extrae la esencia. A partir de ello, el vapor con esencia pasa a condensarse y separarse.

La ventaja de este tipo de hidrodestilación es que puede producir aceites esenciales a bajos costos, no obstante la mayoría de las plantas al ser sometidas a temperaturas tan altas, pierden algunas propiedades, además de que no todos los compuestos son solubles en agua por lo cual la remoción de ellos es parcial.

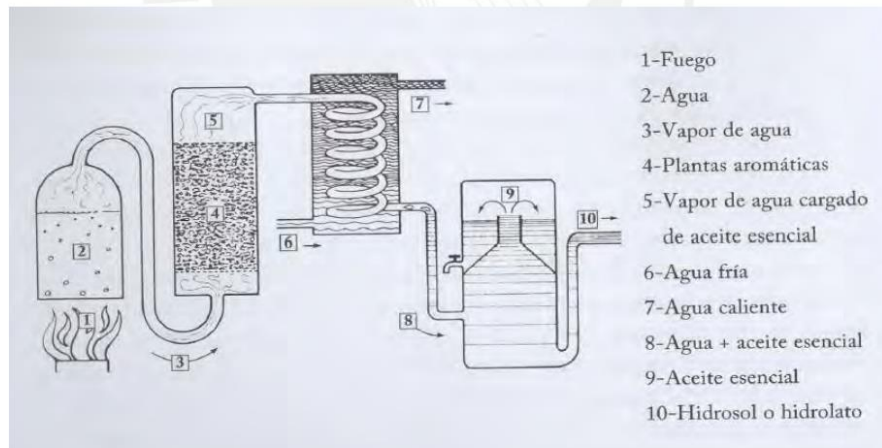


Figura 6. Destilación con agua o hidrodestilación (Baudoux, 2018)

Además se tiene también el método de destilación agua-vapor o vapor húmedo, se lleva a cabo con las bases del concepto de cohobación, un proceso en el cual se destilada repetitivamente, extrayendo aceite una y otra vez de la materia vegetal.

Al ser basado en el concepto anteriormente definido, este tipo de destilación se ejecuta colocando agua dentro de un tanque, en la parte media hasta un poco antes de llegar a las hierbas o frutos. Cuando el vapor sube, al igual que en los métodos anteriores, pasa a condensarse, el líquido resultante volverá a ser recirculado al tanque de extracción cumpliendo así un ciclo en repetidas ocasiones, hasta que la materia vegetal sea totalmente agotada.

Con este método se busca que la concentración y calidad del aceite sea mucho mejor que con el método de hidrodestilación, a pesar de ello es calificado como un método artesanal, poco conveniente para la comercialización industrial.

### 1.3.3 Método de extracción por solventes

#### 1.3.3.1 Extracción con solventes volátiles

La extracción con solventes, mostrada en la Figura 7, se basa principalmente en la diferencia que existe entre los puntos de ebullición de estos con los de los aceites esenciales de las plantas, mediante temperaturas bajas, por lo tanto no afecta demasiado la estructura vegetal de la planta. Es utilizada a escala laboratorio, ya que el costo es alto para industrias.

Los solventes ocupados en dicha extracción son alcohol, éter de petróleo, pentano, cloroformo; estos se ponen en contacto con la materia vegetal seca y molida.



Figura 7. Extracción por solventes volátiles

#### 1.3.3.2 Extracción con fluidos súper críticos

Se trata de utilizar los fluidos supercríticos, como material de arrastre en condiciones de temperatura y presión controladas (Figura 8).

El procedimiento que se sigue es el colocar la materia vegetal molida, en una cámara por donde después se hará circular el fluido. Los aceites esenciales se solubilizan, y entonces el fluido se elimina por descompresión hasta igualar las condiciones del ambiente.

Es conveniente decir que la extracción por fluidos súper críticos, es la más utilizada en la industria, ya que tiene distintas aplicaciones dirigidas a la conservación de alimentos, además es eficiente al obtener mayor cantidad de

aceites, ser ecológicamente limpio, reutilizar los solventes y no modificar químicamente los componentes en la esencia.

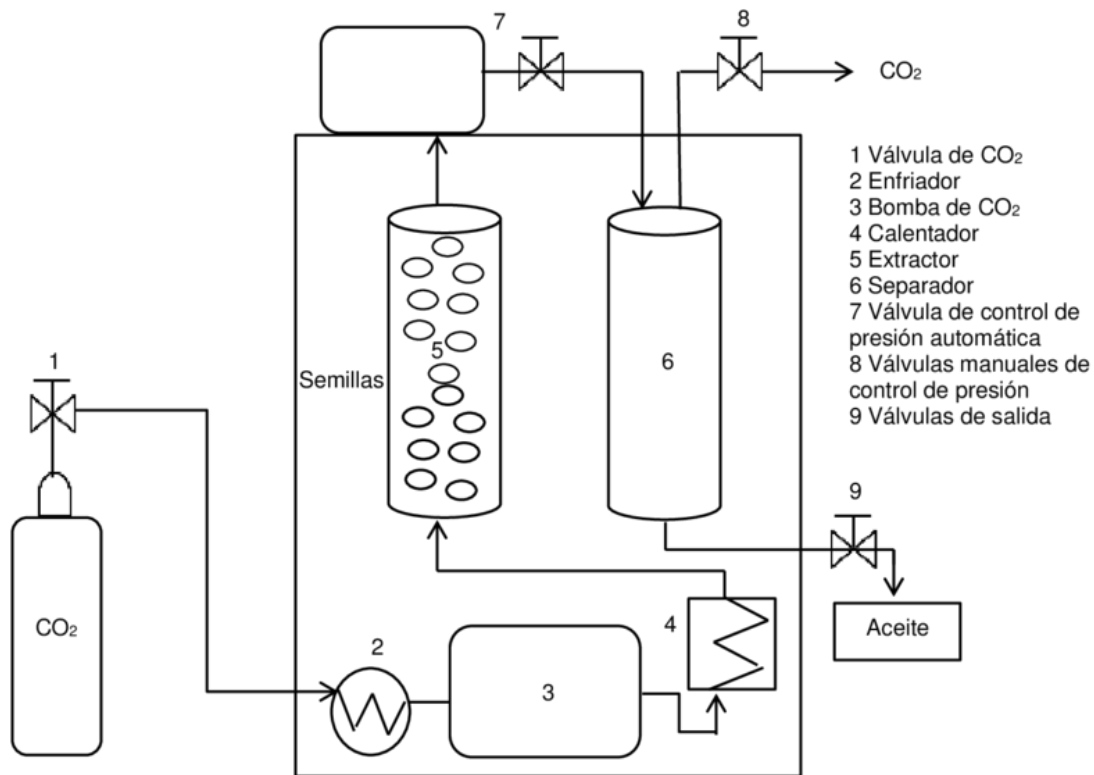


Figura 8. Principio de extracción por fluidos supercríticos (*Pantoja et al., 2017*)

### 1.3.3.3 Enfloración o enfleurage

Esta técnica es conocida de hace tiempo, utilizada principalmente para flores o material muy delicado, que a altas temperaturas podría sucumbir.

Consiste en poner una capa gruesa de grasa sobre los pétalos, para que esta absorba el perfume de las flores, estas capas se van haciendo de forma periódica hasta pasar los tres meses, como se muestra en la Figura 9, donde son tratadas con alcohol para después ser destiladas. Pero este proceso suele ser muy costoso, y solicita bastante mano de obra, es por ello que ha sido sustituido por la extracción con hexano ligero, pese a ello se utiliza en plantas demasiado frágiles para no destruir su esencia.



Figura 9. Enfloración o enflurange (Pearlstine, 2011)

#### **1.4 Clasificación.**

La clasificación de aceites esenciales, se puede dar por origen como naturales, artificiales o sintéticos. Los naturales son obtenidos de la planta, sin modificaciones o alteraciones químicas; los artificiales se obtienen a través de enriquecimientos de la misma esencia con uno o varios de sus componentes y agentes químicos. Por último los sintéticos, que como su nombre lo indica son producidos por combinaciones de componentes sintéticos, obtenidos en laboratorios; y que al ser los más fáciles de producir también son los más comercializados.

Otra clasificación es la química; que se basa en las rutas metabólicas, mencionadas anteriormente, con lo cual se toma en cuenta las sustancias que lo componen mayoritariamente dando lugar a dos grandes grupos los terpenos y terpenoides, a continuación se habla de estos así como de sus diferencias.

##### **1.4.1 Terpenos**

Los terpenos son bastante numerosos y se encuentran en diversos productos naturales. Son un grupo de compuestos naturales que incluyen todas aquellas sustancias químicas que derivan biosintéticamente del ácido mevalónico (AMV) y que origina el isopentenil pirofosfato (*Porter et al., 1981*).

La palabra terpeno, fue formulada en 1987 por Wallah, desarrollada a partir de la raíz etimológica de la palabra inglesa “terpene” la cual significa trementina, y es el

principal componente de algunos hidrocarburos, además de ser el primer aceite del que hay registro. Por otra parte el sufijo –en, indica la presencia de anillos olefínicos.

Los terpenos son clasificados en base al número y estructura de los átomos de carbono; estos pueden estar en arreglo lineal o en arreglos cíclicos.

Una sola unidad de isopreno representa a los hemiterpenos, siendo esta la estructura más básica de los terpenos. Los terpenos que presentan dos unidades son llamados monoterpenos, los de tres sesquiterpenos y así sucesivamente como se muestra en la Tabla 2.

*Tabla 2. Clasificación de los terpenos (Wallach, 1987).*

<b>GRUPO</b>	<b>Nº DE CARBONOS</b>	<b>Nº DE UNIDADES DE ISOPRENO.</b>
<i>Hemiterpenos</i>	5	1
<i>Monoterpenos</i>	10	2
<i>Sesquiterpenos</i>	15	3
<i>Diterpenos</i>	20	4
<i>Sesterpenos</i>	25	5
<i>Triterpenos</i>	30	6
<i>Tetraterpenos</i>	40	8
<i>Politerpenos</i>	5n	N

Por lo general, la mayoría de monoterpenos, sesquiterpenos, diterpenos y triterpenos son compuestos cíclicos, con estructuras típicas de cada uno de estos grupos como:  $\beta$ -pineno,  $\alpha$ -cadineno o ácido dextropimárico. Los tetraterpenos difieren del resto de grupos de compuestos isoprenoides en que no presentan ciclación del esqueleto de carbono principal, salvo excepciones, como en el caso de  $\beta$ -caroteno (Sirisoma et al., 2001).

### 1.4.2 Monoterpenos

Compuestos formados por 10 átomos de carbono, es decir dos unidades de isopreno. Se presentan en gran variedad de estructuras tales como aldehídos, alcoholes e hidrocarburos. Con aparición de isómeros funcionales, geométricos y de posición. Los monoterpenos (Figura 10) son una de las familias más grandes de productos naturales, encontrados principalmente en plantas de las familias angiospermas, plantas con flores, algunos ejemplos se encuentran insertados en los siguientes ordenes: Amborellaceae, Nymphaeales y Austrobaileyales.

Se han descrito también en hongos y plantas no vasculares, aunque en menor medida, y en organismos animales como el coleóptero de la familia Silphidae, *Necrodes surinamensis* Fabricius, que excreta un compuesto monoterpénico por su glándula anal que repele a posibles competidores y depredadores (*García et al., 1994*).

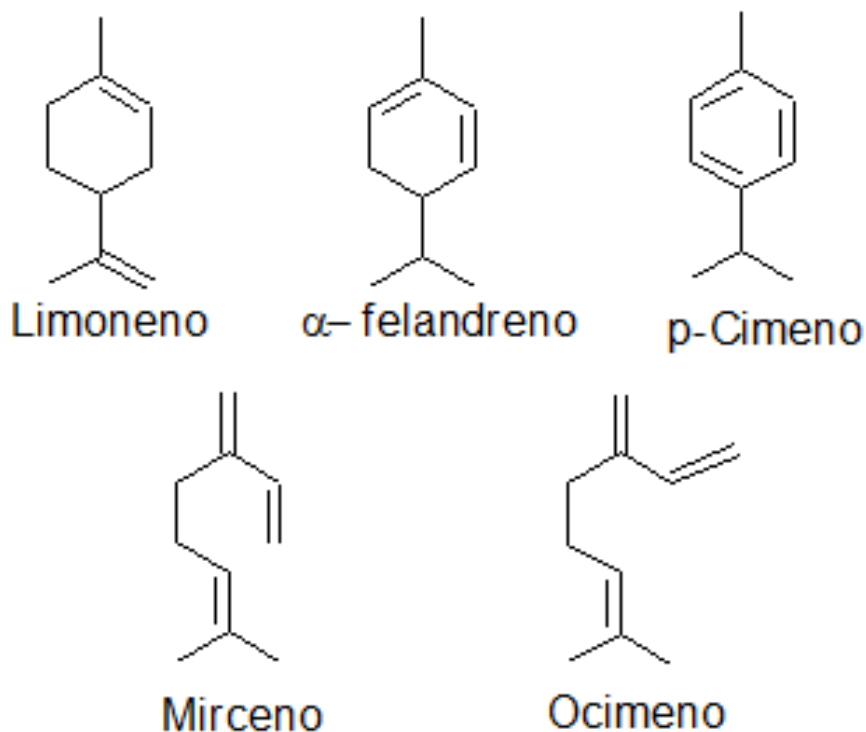


Figura 10. Ejemplos de monoterpenos.

Por otra parte, este tipo de compuestos se pueden subclasificar, por el tipo de estructura que presentan, es decir, las uniones que se dan entre sus átomos. Es así que cuando las uniones son “cabeza- cola”, hablamos de monoterpenos regulares, esto se da enlazando el 1 carbono de la primera unidad, con el carbono 4 de la segunda. Asimismo, se denominan monoterpenos irregulares, cuando el arreglo está basado, en el carbón 1 de la primera unidad y el carbono 2 o 3 de la segunda, arreglo “cabeza-mitad”.

Además, se pueden subdividir, por el número de ciclos que presentan, entonces pueden ser monocíclicos, acíclicos, bicíclicos y tricíclicos.

### **1.4.3 Sesquiterpenos.**

Son definidos por tener 15 átomos de carbono, es decir 3 unidades de isoterpenos. Regularmente se encuentran en la naturaleza con menor cantidad en plantas, aun así es muy posible encontrarlos en hongos, en plantas no vasculares, o en algunas bacterias como el *streptomyces*. Este grupo tiene gran variabilidad en productos, tanto como los monoterpenos, algunos de ellos son aldehídos cetonas, esterres y derivados. Generalmente, los sesquiterpenos tienen una estructura por regla, la cual es la unión llamada “cabeza-cola”, sin embargo algunas veces existe la posibilidad de transposiciones, lo cual puede resultar en distintas estructuras, como se observa en la Figura 11.

Aunque se les han atribuido diversas funciones como hormonas vegetales (ácido abscísico o fitoalexinas) y como antibióticos de origen fúngico, al igual que los monoterpenos pueden actuar como alelopáticos (*Abraham et al., 2000*).

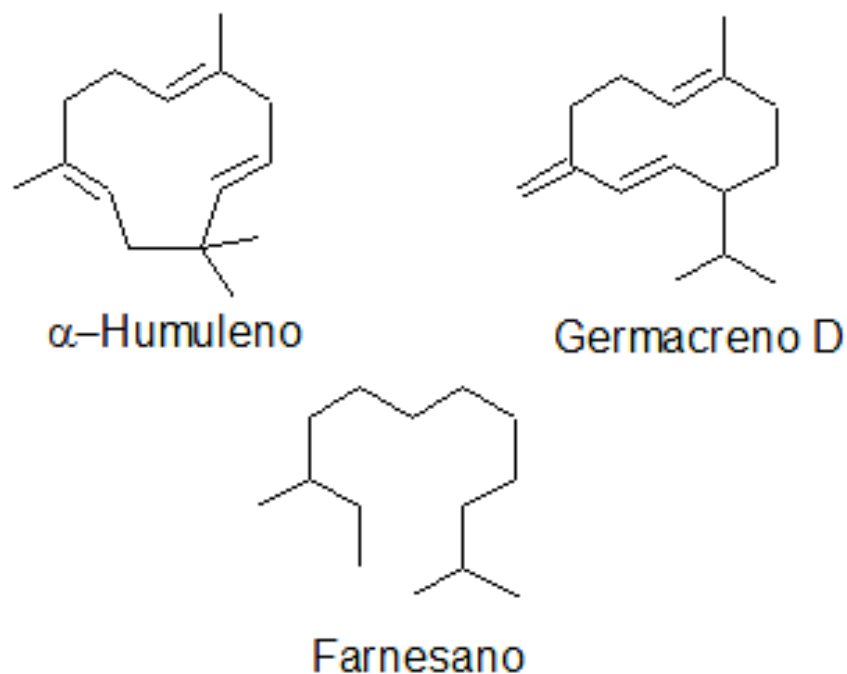


Figura 11. Ejemplo de sesquiterpenos

#### 1.4.4 Diterpenos

Los diterpenos son otro grupo de terpenos los cuales están constituidos a partir de 20 átomos de carbono, por lo tanto su base estructural son cuatro unidades de isopreno. Debido a esto tienen un mayor peso molecular, pero menor volatilidad. Pueden ser clasificados, por su estructura como lineales, bicíclicos, tricíclicos, tetracíclicos, pentacíclicos, y macrocíclicos. Regularmente los aceites esenciales de los diterpenos, no pueden ser totalmente extraídos por destilación de vapor, sin embargo estos comúnmente son encontrados en la naturaleza, en grupos keto e hidroxil y tienen diversos usos.

La mayoría de los diterpenos han sido extraídos de plantas vasculares, y de algunos talófitos, principalmente algas y hongos. Pueden actuar, en algunos casos, como sustancias repelentes, también como feromonas atrayentes de insectos e incluso como compuestos citotóxicos frente a células tumorales (*Iguchi et al., 2002*).

Además otro grupo representativo es el de los ginkgólidos, de los cuales el más conocido es el Ginkgo biloba, encontrado solamente en ese árbol, su funcionalidad

se centra principalmente en aumentar la vitalidad mental, favorecer el flujo sanguíneo, especialmente del sistema nervioso central. Asimismo tiene propiedades antioxidantes.

#### 1.4.5 Esterterpenos

Este grupo está conformado por 25 carbonos, es decir tiene 5 unidades de isopreno, hay distintas variedades de estructuras dentro de ellos, como cíclicas, bicíclicas, tricíclicas, tetracíclicas y macrocíclicas.

#### 1.4.6 Triterpenos

Los triterpenos (Figura 12) son compuestos formados por seis unidades de isopreno, es decir tiene 30 carbonos. Regularmente sostienen una unión cabeza-cola de dos cadenas.

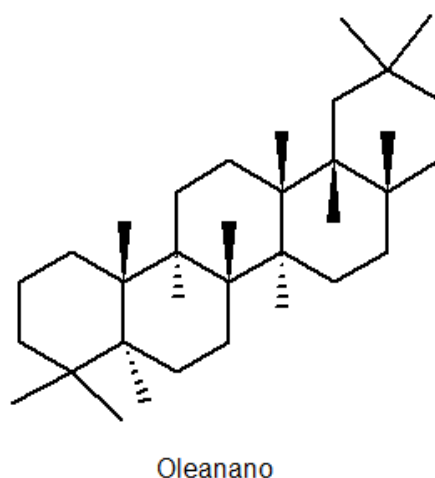


Figura12. Esqueleto base del oleanano triterpeno pentacíclico

#### 1.5 Terpenoides.

Los terpenoides (Figura 13) son otro tipo de constituyentes de los aceites esenciales, este grupo se caracteriza por tener estructuras parecidas a los terpenos, sin embargo estas sustancias contienen moléculas de oxígeno, supliendo y removiendo grupos metilos, a través de modificaciones bioquímicas. Los terpenoides se dividen en hemiterpenoides, monoterpenoides,

sesquiterpenoides, diterpenoides, etc. Y pueden ser alcoholes, aldehídos, ésteres, éteres, epóxidos cetonas y fenoles.

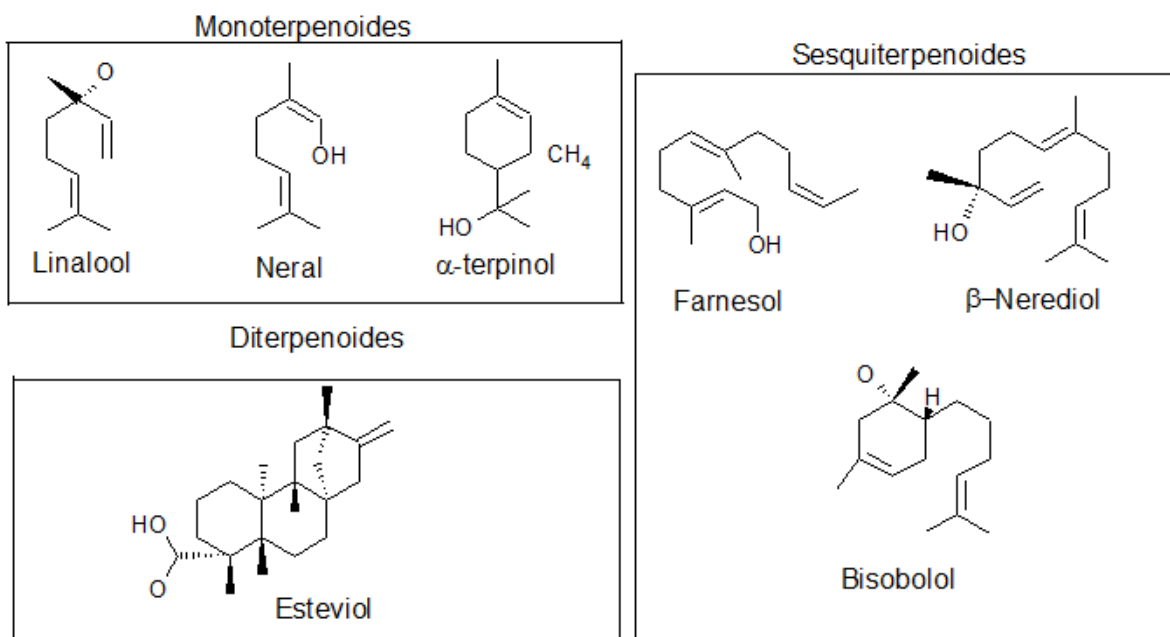


Figura 13. Estructuras de monoterpenoides, sesquiterpenoides y diterpenoides

### 1.6 Cromatografía de gases

La cromatografía de gases (CG), es posiblemente la técnica cromatográfica más utilizada para la separación de sustancias, esto debido a su gran sensibilidad, sencillez y rapidez, además de aportar información exacta, si se maneja adecuadamente. El primer registro de la CG se dio para finales del año de 1952, por los químicos Martín y James.

La cromatografía está basada en una fase móvil y una fase estacionaria, donde la muestra se hace pasar dentro de la fase estacionaria siendo desplazada mediante la fase móvil. Las dos fases se unen de forma que los componentes de la muestra se distribuyan entre ambas. Los componentes que son retenidos en la fase estacionaria se mueven lento por el flujo de la fase móvil y los componentes que se unen débilmente se mueven con rapidez. Como consecuencia de la distinta movilidad, los componentes de la muestra se separan en bandas que pueden identificarse.

Para separar una mezcla mediante esta metodología, una pequeña porción de la muestra es inyectada en una corriente de gas inerte a alta temperatura, debido a esto la muestra se volatiliza, llegando con el gas a una columna cromatográfica la cual separará la mezcla por medio de un mecanismo de partición o de absorción, o la mezcla de ambos. Los componentes separados, emergerán y estos pasaran a un sistema de detención (*Davies, 1990*).

### **1.7 Espectrometría de masas**

La espectrometría de masas (EM), fue utilizada en el estudio de moléculas en principios de los años 70, es una técnica de análisis cualitativa que tiene el fin de identificar moléculas o compuestos orgánicos. Utiliza los componentes de la muestra para convertirlos en iones gaseosos, a partir de esto los iones son separados respecto a su masa-carga, mediante equipo magnético.

La EM es una herramienta química altamente eficaz al identificar una gran variedad de componentes cualitativa y cuantitativamente; aunque su fundamento de medición es relativamente sencillo, la instrumentación es un poco complicada (*Adams, 1989*).

En cuanto a su fundamento, la espectrofotometría de masas se basa en la relación masa-carga de iones, es decir se busca obtener iones a partir de moléculas en fase gaseosa, para después separarlos según su masa y carga. Por lo tanto un espectro representa la abundancia de un ion o de diferentes iones en relación al parámetro ya mencionado.

#### **1.7.1 Descripción del equipo**

Dentro del proceso de la espectrometría de masas existen diversas etapas y equipos tales como (Figura 14):

- Sistema de generación de moléculas, es decir introducción de la muestra.
- Ionización.
- Separación en función de su relación masa-carga.
- Detector de iones.

Cada uno de los elementos, tienen características que componen de forma integral el equipo, por esa razón se describirán de la siguiente forma:

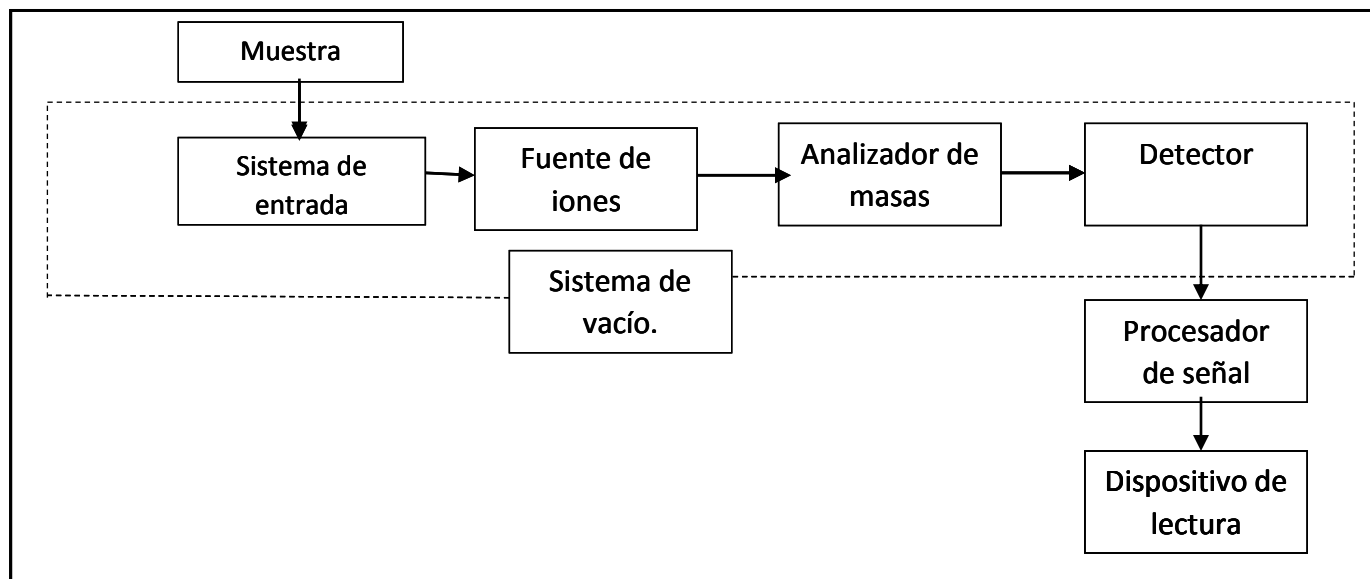


Figura 14. Esquema de equipo de espectrometría.

### 1.8 Cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas.

El acoplamiento de la cromatografía de gases y de la espectrometría de masas (Figura 15), es causado debido, a las limitaciones que tiene cada método en el estudio y análisis de mezclas, la cromatografía como ya se explicó anteriormente es una técnica que enfoca su utilidad a la separación de sustancias, no obstante esta por si sola arrojará datos pocos precisos, para identificar los componentes de la muestra. Por otra parte la espectrometría, puede analizar cada componente y responder de forma eficaz a la identificación, sin embargo esta técnica no lee muestras compuestas, es decir mezclas. Es por ello que la CG-MS, por sus siglas en inglés Gas Chromatography and Mass Spectrometry, es una opción realmente aceptable. Además de que tienen en común la característica de que trabajan con muestras gaseosas, en poca cantidad. Lo que realmente es un tanto problemático es el acoplamiento del equipo como tal, y es que la cromatografía es realizada a presión atmosférica, mientras que la espectrometría necesita trabajar a presión de vacío.

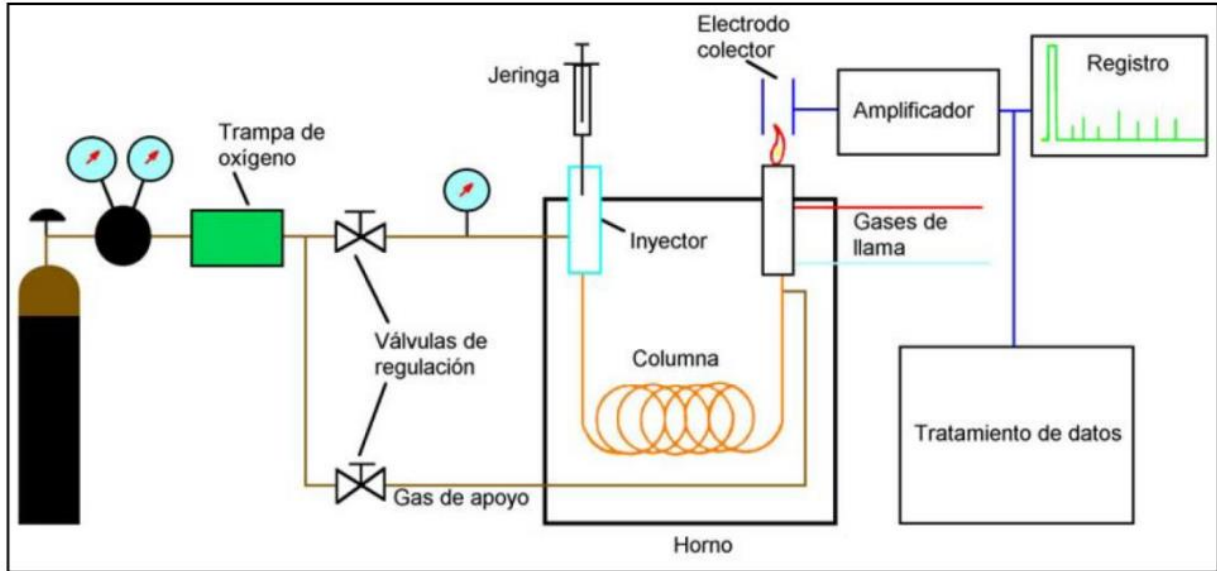


Figura 15. Esquema del sistema acoplado CG-MS (Gargallo, 2018)

El resumen del proceso a seguir para el estudio de terpenos, considerando la CG-MS como un todo, comienza con la inserción de una muestra del aceite esencial, la cual se separará en la columna cromatográfica; dando como resultado la elución de los componentes aislados del aceite, que pasaran al espectrómetro de masas, para obtener el pico cromatográfico de cada componente y con ello identificar el espectro.

### 1.9 Índice de retención

Como ya se mencionó en cromatografía la separación de sustancias se basa en las diferencias de sus constantes de distribución,  $K_D$ , entre las dos fases, móvil y estacionaria. Es por ello que para aumentar el grado de confiabilidad en la comparación de los datos de retención cromatográfica y permitir la identificación tentativa de los analitos, hace un medio siglo, el científico húngaro, E. Kovàts introdujo un sistema de índices de retención, llamados por su nombre “los índices de Kovàts” (KI), que se basan en la medición de tiempos de retención relativos con respecto a los de una serie homóloga de n-parafinas, corridas bajo las mismas condiciones cromatográficas experimentales que las de la muestra. No obstante,

hoy en día los índices de retención son calculados en base a la siguiente ecuación:

$$LRI = 100n + 100 \frac{t_{Rx} - t_{Rn}}{t_{RN} - t_{Rn}}$$

Donde: **n** es el número de átomos de carbono en la n-parafina que eluye antes del compuesto de interés (su tiempo de retención es **tRx**); **tRn** y **tRN** son tiempos de retención de las n-parafinas con los números de átomos de carbono n y N, respectivamente, que eluyen inmediatamente antes y después del analito de interés (*Stashenko et al., 2010*).

En resumidas palabras el índice de retención muestra un coeficiente de los tiempos de elución de la sustancia analizada comparada con el patrón utilizado; tomando en cuenta el número de carbonos que estos poseen.

## **Capítulo 2. Metodología**

En este trabajo se analizaron 20 artículos dedicados al estudio de terpenaje en aceites esenciales de distintas especies de plantas (*Amomum tsao-ko*, *Amorpha fruticosa*, *Cinnamomi Cortex*, *Cinnamomun camphora*, *Cinnamomum longepaniculatum*, *Dryopteris fragrans*, *Ferulago angulata*, entre otras); publicados del 2010 al 2020 y recabados de revistas pertenecientes al Journal Citation Reports (JCR). Es importante destacar que el parámetro, para que dichos artículos fueran seleccionados, es que los aceites esenciales se obtuvieran mediante la técnica de extracción por microondas.

Después de reunir la información se analizó y se integró en una tabla que posee los siguientes campos: tipo de terpeno, índice de retención, nombre de la especie, técnica de análisis, referencia. Para así determinar la técnica más utilizada en la separación de terpenos y el grupo de terpenos más encontrado dentro de las especies estudiadas.

Cabe destacar que la clasificación se en base del articulo Terpenos y terpenoides como principales compuestos bioactivos de los aceites esenciales, su papel en la salud humana y su potencial aplicación como conservadores naturales de alimentos, de la revista food chemistry: x.

## **Capítulo 3. Resultados y discusión de resultados**

### **3.1 Especies investigadas**

Este apartado ha sido dividido en distintas tablas, para facilitar su exposición. Dichas tablas contienen datos recabados de diferentes bibliografías confiables y serias, que dan un panorama amplio del estudio llevado a cabo en distintas especies de plantas (Tabla 3).

Tabla 3. Especies investigadas.

<b>Nombre científico de la especie.</b>	<b>Nombre común</b>	<b>Bibliografía</b>
<i>Amomum tsao-ko</i>	Tsaoko, hierba fruta	<i>Cui et al., 2017</i>
<i>Amorpha fruticosa</i>	Falso índigo, anil bastardo de Cayena, mangle de Luisiana	<i>Chen et al., 2017</i>
<i>Cinnamomi cortex</i>	Corteza de cinamomo, tejpat,	<i>Chen et al., 2016</i>
<i>Cinnamomun camphora</i>	Alcanforero	<i>Liu, 2018</i>
<i>Cinnamomum longepaniculatum</i>	Canela del pinar	<i>Chen et al., 2018</i>
<i>Dryopteris fragrans</i>	Helecho fragante, helecho de la grosella	<i>Li et. al., 2012</i>
<i>Ferulago angulata</i>	Ferulago, chavil,	<i>Mollaei, et al., 2019</i>
<i>Fructus forsythiae</i>	Lian Qiao	Jiao et al., 2013
<i>Helichrysum arenarium</i>	Siempre viva del monte, pluma de príncipe	<i>Liu et al., 2019</i>
<i>Lavandula</i>	Lavanda	<i>Liu et al., 2018</i>
<i>Magnolia sieboldii.</i>	Magnolia de oyama, magnolia de montaña coreana	<i>Chen et. al., 2015</i>
<i>Nigella sativa</i>	Ajenuz, abésoda, agenuz, arañuel, semilla negra, comino	<i>Abedi et. al., 2017</i>

	negro	
<i>Pterodon emarginatus vogel</i>	Sucupira- branca	<i>Nguyen et al., 2018</i>
<i>Prunus laurocerasus</i>	Laurel	<i>Karabegovic et al., 2013</i>
<i>Salvia officinalis</i>	Salvia	<i>Wei et al., 2018</i>
<i>Vaccinium uliginosum</i>	Arándano azul, arándano negro, nadius, arándano nero	<i>Chen et al., 2015</i>
<i>Cinnamomum japonicum</i>	Canela japonesa	<i>Zhao et al., 2018</i>
<i>Tribulus terrestris</i>	Abrojo	<i>Pereo, 2015</i>
<i>Digitalis purpurea</i>	Dedalera, digital, cartucho, chupamieles, San Juan, bilicroques, guantera	<i>Pérez, 2013</i>

### 3.2 Clasificación de terpenos

Es importante destacar que se realizó la clasificación de terpenos, por lo tanto, la separación de las especies dependerá de ello, siendo el parámetro las unidades de isopreno con las que cuenta cada terpeno; es así como se clasifican en 5 grandes grupos: hemiterpenos, monoterpenos, sesquiterpenos, diterpenos y sestertepenos.

### 3.3 Hemiterpenos

Los hemiterpenos son una parte menor de los terpenos que se encuentran en los AE. El más destacado es el isopreno, que emiten las hierbas y las hojas de muchos árboles, como las coníferas, los robles, los álamos y los sauces. Algunos

ejemplos de hemiterpenos son los ácidos angélicos, tiglico, isovalérico y senecioico (Falleh *et al.*, 2020). En los artículos revisados, no se encontró ningún hemiterpeno, ya que principalmente se encuentran en hojas y hierbas de árboles.

### 3.4 Monoterpenos.

Por otra parte, la Tabla 4 clasifica a los monoterpenos de distintas especies según la bibliografía consultada, recordemos que este tipo de terpenos poseen diez unidades de carbono y su forma química general es  $C_{10}H_{16}$ .

Tabla 4. Clasificación de monoterpenos en especies vegetales

Nº	Monoterpeno	Fórmula molecular	Índice de retención	Especie	Referencia
1	$\alpha$ -tujeno	$C_{10}H_{16}$	930	Amomum tsao-ko	<i>Cui et al., 2017</i>
			929	Cinnamomun camphora	<i>Liu, 2018</i>
			1011	Fructus forsythiae	Jiao et al., 2013
			899	Ferulago angulata	<i>Mollaei, et al., 2019</i>
			920	Cinnamomum longepaniculatum	<i>Chen et al., 2018</i>
2	$\alpha$ pineno	$C_{10}H_{16}$	937	Amomum tsao-ko	<i>Cui et al., 2017</i>
			924	Amorpha fruticosa	<i>Chen et al., 2017</i>
			934	Cinnamomun camphora	<i>Liu, 2018</i>
			1023	Fructus forsythiae	Jiao et al., 2013
			924	Helichrysum arenarium	<i>Liu et al., 2019</i>
			931	Nigella sativa	<i>Abedi et al., 2017</i>
			911	Ferulago angulata	<i>Mollaei, et al., 2019</i>
			940	Rosmarinus officinalis	<i>Akhbari et al., 2018</i>
			937	Salvia officinalis	<i>Wei et al., 2018</i>
			917	Cinnamomum japonicum	<i>Zhao et al., 2018</i>
			930	Cinnamomum longepaniculatum	<i>Chen et al., 2018</i>
3	Canfeno	$C_{10}H_{16}$	953	Amomum tsao-ko	<i>Cui et al., 2017</i>

			1058	Fructus forsythiae	Jiao et al., 2013
			918	Ferulago angulata	Mollaei, et al., 2019
			943	Nigella sativa	Abedi et. al., 2017
			1084	Lavandula	Liu et al., 2018
			952	Salvia officinalis	Wei et al., 2018
			933	Cinnamomum japonicum	Zhao et al., 2018
			950	Cinnamomum longepaniculatum	Chen et al., 2018
<b>4</b>	Sabineno	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	935	Ferulago angulata	Mollaei, et al., 2019
			1114	Fructus forsythiae	Jiao et al., 2013
			975	Helichrysum arenarium	Liu et al., 2019
			964	Nigella sativa	Abedi et. al., 2017
			969	Amomum tsao-ko	Cui et al., 2017
<b>5</b>	β tujeno	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	1116	Salvia officinalis	Wei et al., 2018
			972	Amomum tsao-ko	Cui et al., 2017
<b>6</b>	β pineno	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	979	Amomum tsao-ko	Cui et al., 2017
			980	Amorpha fruticosa	Chen et al., 2017
			1103	Fructus forsythiae	Jiao et al., 2013
			958	Cinnamomun camphora	Liu, 2018
			941	Ferulago angulata	Mollaei, et al., 2019
			980	Helichrysum arenarium	Liu et al., 2019
			979	Salvia officinalis	Wei et al., 2018
			961	Nigella sativa	Wei et al., 2018
			974	Cinnamomum japonicum	Zhao et al., 2018
			98	Cinnamomum longepaniculatum	Chen et al., 2018
<b>7</b>	β mirceno	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	989	Amomum tsao-ko	Cui et al., 2017
			1158	Fructus forsythiae	Jiao et al., 2013
			992	Helichrysum arenarium	Liu et al., 2019
			1178	Lavandula	Liu et al., 2018
<b>8</b>	α Felandreno	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	966	Ferulago angulata	Mollaei, et al., 2019

			997	Nigella sativa	<i>Wei et al., 2018</i>
			1003	Cinnamomum japonicum	<i>Zhao et al., 2018</i>
			1006	Amomum tsao-ko	<i>Cui et al., 2017</i>
<b>9</b>	3-careno	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	1011	Amomum tsao-ko	<i>Cui et al., 2017</i>
			1007	Amorpha fruticosa	<i>Chen et al., 2017</i>
<b>10</b>	4-careno	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	1015	Amomum tsao-ko	<i>Cui et al., 2017</i>
			1060	Amomum tsao-ko	<i>Cui et al., 2017</i>
			1010	Ferulago angulata	<i>Mollaei, et al., 2019</i>
			1247	Fructus forsythiae	<i>Jiao et al., 2013</i>
			1054	Cinnamomi Cortex	<i>Chen et al., 2016</i>
<b>11</b>	Y terpineno	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	1060	Helichrysum arenarium	<i>Liu et al., 2019</i>
			1023	Nigella sativa	<i>Wei et al., 2018</i>
			1062	Magnolia sieboldii.	<i>Chen et al., 2015</i>
			1061	Salvia officinalis	<i>Wei et al., 2018</i>
			1060	Vaccinium uliginosum	<i>Chen et al., 2015</i>
			1064	Cinnamomum japonicum	<i>Zhao et al., 2018</i>
<b>12</b>	Terpineno	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	1032	Ferulago angulata	<i>Mollaei, et al., 2019</i>
			1087	Amomum tsao-ko	<i>Cui et al., 2017</i>
<b>13</b>	P cimeno	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	978	Ferulago angulata	<i>Mollaei, et al., 2019</i>
			1025	Nigella sativa	<i>Wei et al., 2018</i>
			1023	Salvia officinalis	<i>Wei et al., 2018</i>
			26	Cinnamomum longepaniculatum	<i>Chen et al., 2018</i>
<b>14</b>	Cimeno	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	1021	Helichrysum arenarium	<i>Liu et al., 2019</i>
			1021	Cinnamomum japonicum	<i>Zhao et al., 2018</i>
			44	Cinnamomum longepaniculatum	<i>Chen et al., 2018</i>
<b>15</b>	Mirceno	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	952	Ferulago angulata	<i>Mollaei, et al., 2019</i>
<b>16</b>	α-3- careno	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	970	Ferulago angulata	<i>Mollaei, et al., 2019</i>
<b>17</b>	Limoneno	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	1211	Fructus	<i>Jiao et al., 2013</i>

				forsythiae	
			995	Magnolia sieboldii.	<i>Chen et al., 2015</i>
			714	lavandula	<i>Liu et al., 2018</i>
			1032	Salvia officinalis	<i>Wei et al., 2018</i>
			990	Ferulago angulata	<i>Mollaei, et al., 2019</i>
18	Terpinoleno	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	1308	lavandula	<i>Liu et al., 2018</i>
			1146	Nigella sativa	<i>Wei et al., 2018</i>
			1087	Salvia officinalis	<i>Wei et al., 2018</i>
			1284	Fructus forsythiae	<i>Jiao et al., 2013</i>
19	δ-limoneno	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	1178	lavandula	<i>Liu et al., 2018</i>
20	trans-β-ocimeno	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	1032	Cinnamomi Cortex	<i>Chen et al., 2016</i>
			1039	Magnolia sieboldii.	<i>Chen et al., 2015</i>
			1050	Salvia officinalis	<i>Wei et al., 2018</i>
			1252	lavandula	<i>Liu et al., 2018</i>
21	β-Ocimeno	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	1270	lavandula	<i>Liu et al., 2018</i>
22	n-decano	C <sub>10</sub> H <sub>22</sub>	1000	Nigella sativa	<i>Wei et al., 2018</i>
23	Cis-β-ocimeno	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	1038	Salvia officinalis	<i>Wei et al., 2018</i>
24	Naftaleno	C <sub>10</sub> H <sub>8</sub>	1179	Vaccinium uliginosum	<i>Chen et al., 2015</i>

De la tabla 4, podemos examinar que los monoterpenos más comunes dentro de las especies estudiadas, son α-pineno y γ-terpineno, los cuales dan a la planta la propiedad de antiinflamatoria, además cabe mencionar que sus estructuras aportan un olor característico a pino.

### 3.5 Sesquiterpenos.

Los sesquiterpenos son el siguiente tipo de terpenos, los cuales están ordenados en la Tabla 5, mostrada a continuación. Es importante recordar que un

sesquiterpenos es aquel que cuenta con 15 carbonos, es decir tres unidades de isopreno.

*Tabla 5. Clasificación de sesquiterpenos en especies vegetales.*

Nº	Sesquiterpeno	Fórmula molecular	Índice de retención	Especie	Referencia
1	Ylangeno	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	1364	Amorpha fruticosa	<i>Chen et al., 2017</i>
			1372	Helichrysum arenarium	<i>Liu et al., 2019</i>
2	α-copaeno	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	1376	Ocimum basilicum	<i>Tran et al., 2018</i>
			1376	Amorpha fruticosa	<i>Chen et al., 2017</i>
3	Germacreno A	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	1260	Ferulago angulata	<i>Mollaei, et al., 2019</i>
4	Germacreno D	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	1339	Ferulago angulata	<i>Mollaei, et al., 2019</i>
5	α-cubeneno	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	1343	Amorpha fruticosa	<i>Chen et al., 2017</i>
6	Bcubeneno	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	1388	Amorpha fruticosa	<i>Chen et al., 2017</i>
7	α-Gurjuneno	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	88	Cinnamomum longepaniculatum	<i>Chen et al., 2018</i>
			1408	Amorpha fruticosa	<i>Chen et al., 2017</i>
			1407	Helichrysum arenarium	<i>Liu et al., 2019</i>
8	Cariofileno	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	1423	Amorpha fruticosa	<i>Chen et al., 2017</i>
			1367	Dryopteris	<i>Li et. al., 2012</i>

				fragrans	
			1417	Helichrysum arenarium	<i>Liu et al., 2019</i>
			1423	Cinnamomi Cortex	<i>Chen et al., 2016</i>
			1410	Magnolia sieboldii.	<i>Chen et. al., 2015</i>
			1424	Nigella sativa	<i>Wei et al., 2018</i>
			1740	Ocimum basilicum	<i>Tran et al., 2018</i>
			1643	lavandula	<i>Liu et al., 2018</i>
			1417	Vaccinium uliginosum	<i>Chen et al., 2015</i>
			1446	Cinnamomum japonicum	<i>Zhao et al., 2018</i>
			23	Cinnamomum longepaniculatum	<i>Chen et al., 2018</i>
<b>9</b>	γ-Gurjuneno	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	1472	Amorpha fruticosa	<i>Chen et al., 2017</i>
<b>10</b>	Humuleno	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	1488	Amorpha fruticosa	<i>Chen et al., 2017</i>
			1455	Helichrysum arenarium	<i>Liu et al., 2019</i>
			1447	Cinnamomi Cortex	<i>Chen et al., 2016</i>
			1447	Magnolia sieboldii.	<i>Chen et. al., 2015</i>
			1715	lavandula	<i>Liu et al., 2018</i>
<b>11</b>	Biciclosesquifelandreno	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	1498	Amorpha fruticosa	<i>Chen et al.,</i>

					2017
12	γ-Muuroleno	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	1479	Pterodon emarginatus Vogel.	Nguyen et al., 2018
			1478	Prunus laurocerasus.	Karabegovic et al., 2013
			1477	Amorpha fruticosa	Chen et al., 2017
13	β-Selineno	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	1484	Helichrysum arenarium	Liu et al., 2019
			1464	Magnolia sieboldii.	Chen et al., 2015
			1493	Amorpha fruticosa	Chen et al., 2017
14	α-Muuroleno	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	1475	Amomum tsao-ko	Cui et al., 2017
			1504	Amorpha fruticosa	Chen et al., 2017
			1472	Magnolia sieboldii.	Chen et al., 2015
			1504	Vaccinium uliginosum	Chen et al., 2015
			1494	Cinnamomi Cortex	Chen et al., 2016
			1475	Amomum tsao-ko	Cui et al., 2017
15	γ-Cadineno	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	1510	Dryopteris fragrans	Li et al., 2012
			1511	Helichrysum arenarium	Liu et al., 2019
			1908	Ocimum basilicum	Tran et al., 2018

			1502	Prunus laurocerasus.	<i>Karabegovic et al., 2013</i>
			1506	Vaccinium uliginosum	<i>Chen et al., 2015</i>
			1524	Amorpha fruticosa	<i>Chen et al., 2017</i>
<b>16</b>	$\delta$ -Cadineno	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	1498	Amomum tsao-ko	<i>Chen et al., 2017</i>
			1528	Amorpha fruticosa	<i>Chen et al., 2017</i>
			1522	Helichrysum arenarium	<i>Liu et al., 2019</i>
			1484	Magnolia sieboldii.	<i>Chen et al., 2015</i>
			1525	Prunus laurocerasus.	<i>Karabegovic et al., 2013</i>
			1519	Vaccinium uliginosum	<i>Chen et al., 2015</i>
			1140	nigella sativa	<i>Wei et al., 2018</i>
			1522	Cinnamomum japonicum	<i>Zhao et al., 2018</i>
			1503	Cinnamomi Cortex	<i>Chen et al., 2016</i>
<b>17</b>	$\alpha$ -calacoreno	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	1536	Amorpha fruticosa	<i>Chen et al., 2017</i>
			1528	Helichrysum arenarium	<i>Liu et al., 2019</i>
<b>17</b>	$\alpha$ -calacoreno	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	1542	Cinnamomi Cortex	<i>Chen et al., 2016</i>
<b>18</b>	Ciclosativeno	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	1370	Vaccinium	<i>Chen et al.,</i>

				uliginosum	2015
			1362	Cinnamomi Cortex	Chen et al., 2016
19	Copaeno	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	1376	Vaccinium uliginosum	Chen et al., 2015
			1376	Cinnamomi Cortex	Chen et al., 2016
20	Sativeno	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	1396	Cinnamomi Cortex	Chen et al., 2016
21	α Cedreno	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	1408	Cinnamomi Cortex	Chen et al., 2016
22	Cumarina	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	1432	Cinnamomi Cortex	Chen et al., 2016
23	Eremofileno	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	1486	Cinnamomi Cortex	Chen et al., 2016
24	β- bisaboleno	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	1478	Magnolia sieboldii.	Chen et al., 2015
			1500	Nigella sativa	Wei et al., 2018
			1506	Vaccinium uliginosum	Chen et al., 2015
			1499	Cinnamomi Cortex	Chen et al., 2016
25	Cadaleno	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	1652	Cinnamomi Cortex	Chen et al., 2016
26	Elemeno	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	1545	Amomum tsao-ko	Chen et al., 2017
27	β- cariofileno	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	1418	Salvia officinalis	Wei et al., 2018
			1399	Cinnamomun camphora	Liu, 2018

28	D- Germacreno	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	1461	Cinnamomun camphora	<i>Liu, 2018</i>
			1854	Ocimum basilicum	<i>Tran et al., 2018</i>
			80	Cinnamomum longepaniculatum	<i>Chen et al., 2018</i>
29	Selineno	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	1470	Cinnamomun camphora	<i>Liu, 2018</i>
30	β- Germacreno		1535	Cinnamomun camphora	<i>Liu, 2018</i>
31	Biclclogermacreno	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	96	Cinnamomum longepaniculatum	<i>Liu, 2018</i>
32	Cedreno	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	1252	Dryopteris fragrans	<i>Li et. al., 2012</i>
33	Y-elemeno	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	1431	Magnolia sieboldii.	<i>Chen et. al., 2015</i>
			1436	Pterodon emarginatus Vogel	<i>Nguyen et al., 2018</i>
			1465	Cinnamomum japonicum	<i>Zhao et al., 2018</i>
			1347	Ferulago angulata	<i>Mollaei, et al., 2019</i>
34	β-Sesquifelandreno	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	1365	Ferulago angulata	<i>Mollaei, et al., 2019</i>
35	β elemeno	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	1394	Magnolia sieboldii.	<i>Chen et. al., 2015</i>
			1680	Ocimum basilicum	<i>Tran et al., 2018</i>
35	β elemeno	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	1394	Vaccinium uliginosum	<i>Chen et al., 2015</i>
			1441	Cinnamomum	<i>Zhao et al.,</i>

				japonicum	2018
			1391	Helichrysum arenarium	Liu et al., 2019
36	$\gamma$ -Maaleno	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	1435	Helichrysum arenarium	Liu et al., 2019
37	Aromandendreno	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	1440	Vaccinium uliginosum	Chen et al., 2015
			1449	Cinnamomum japonicum	Zhao et al., 2018
			1436	Helichrysum arenarium	Liu et al., 2019
38	$\beta$ -Farneseno	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	1860	Ocimum basilicum	Tran et al., 2018
			1459	Helichrysum arenarium	Liu et al., 2019
39	$\gamma$ -Muurole	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	1474	Helichrysum arenarium	Liu et al., 2019
40	Biciclogermacreno	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	1492	Helichrysum arenarium	Liu et al., 2019
41	$\delta$ -Selinene	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	1500	Helichrysum arenarium	Liu et al., 2019
42	$\alpha$ -Santaleno	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	1608	lavandula	Liu et al., 2018
43	Cis- $\beta$ -farneseno	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	1685	lavandula	Liu et al., 2018
44	$\beta$ -copaeno	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	1422	Magnolia sieboldii.	Chen et al., 2015
			1753	lavandula	Liu et al., 2018
45	$\alpha$ -Guaieno	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	1439	Magnolia sieboldii.	Chen et al., 2015
46	Germacreno D	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	1442	Magnolia sieboldii.	Chen et al., 2015

47	Alloaromadendreno	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	1454	Magnolia sieboldii.	<i>Chen et al., 2015</i>
48	Y-Muuroleno	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	1457	Magnolia sieboldii.	<i>Chen et al., 2015</i>
49	α-Farneseno	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	1495	Magnolia sieboldii.	<i>Chen et al., 2015</i>
50	Muurola-4,9-dieno	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	1353	Nigella sativa	<i>Wei et al., 2018</i>
51	α-Longipineno	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	1392	Nigella sativa	<i>Wei et al., 2018</i>
52	α-Ylangeno	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	1432	Nigella sativa	<i>Wei et al., 2018</i>
53	Longifoleno	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	1495	Magnolia sieboldii.	<i>Chen et al., 2015</i>
54	2-Tridecanona	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	1481	Nigella sativa	<i>Wei et al., 2018</i>
55	2-fenildodecane	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	1791	Nigella sativa	<i>Wei et al., 2018</i>
56	Biformeno	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	1962	Nigella sativa	<i>Wei et al., 2018</i>
57	Guaieno	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	1800	Ocimum basilicum	<i>Tran et al., 2018</i>
58	α-cariofileno	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	1812	Ocimum basilicum	<i>Tran et al., 2018</i>
59	α-bulneseno	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	1896	Ocimum basilicum	<i>Tran et al., 2018</i>
60	Cis-sesquisabineno	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	1523	Pterodon emarginatus Vogel	<i>Nguyen et al., 2018</i>
61	Longifoleno	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	1403	Prunus laurocerasus	<i>Karabegovic et al., 2013</i>
62	Curcumeno	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	1481	Vaccinium	<i>Chen et al.,</i>

				uliginosum	2015
63	$\alpha$ -selineno	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	1488	Vaccinium uliginosum	Chen et al., 2015

Respecto a la tabla anterior, podemos analizar que el sesquiterpeno más común es el cariofileno, enumerado en la fila 8, contenido en 11 especies de las 200 estudiadas, dicho compuesto es uno de los más utilizado en la industria alimentaria, ya que constituye parte de aditivos; además de tener propiedades antiinflamatorias.

### 3.6 Diterpenos

Los diterpenos están constituidos por 20 carbonos, es decir cuatro unidades de isopreno, sin embargo en la bibliografía analizada no se poseen estos compuestos como parte de los AE. Uno de los diterpenos más destacados es el fitano que se encuentra principalmente en especies de coníferas y legumbres, es altamente utilizado por la industria de los hidrocarburos como marcador.

### 3.7 Sesquiterpenos.

Por otra parte los denominados sesterterpenos son un tipo de terpenos no muy comunes, no obstante se presentan algunos ejemplos (Tabla 6).

Tabla 6. Clasificación de sesterterpenos en especies vegetales.

Nº	Sesterterpenos	Índice de retención	Especie	Técnica	Referencia
1	Testosterona	2320	<i>Tribulus terrestris</i>	CG-MS	[19]
2	Cortisol	1564	<i>Digitalis purpurea</i>	CG-MS	[20]

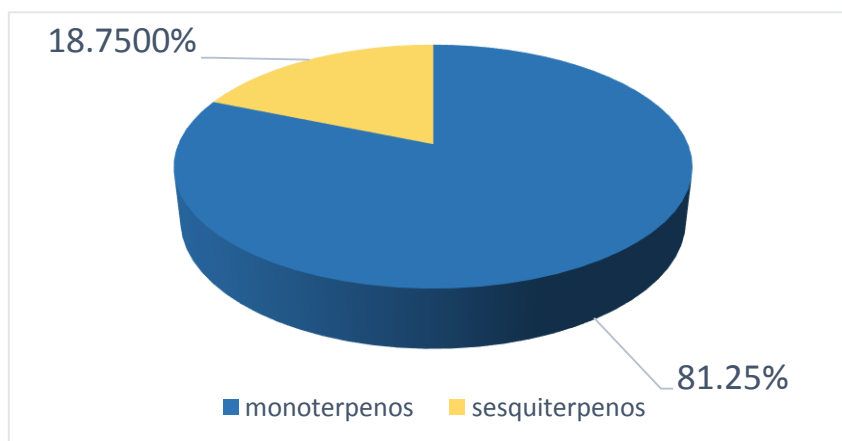
Estos dos ejemplos de sesterterpenos son sustancias de las cuales escuchamos muy regularmente, pero que son difíciles de sintetizar o conseguir a través de sus fuentes. Los sesterterpenos también son conocidos como esteroides, que son sustancias que en su mayoría se utilizan como medicamentos controlados.

En este apartado se llevará a cabo el análisis y discusión de datos respecto a las fuentes consultadas, es decir por especies vegetales. Cabe señalar que se dará un poco de información sobre cada una de ellas, sus propiedades y los datos recabados con los resultados, así como un gráfico circular que dará la información sobre, el tipo de terpeno que más contiene la planta.

### **3.8 *Amomum tsao-ko***

Es una planta originaria de Vietnam, muy parecida al jengibre tiene un color café intenso, altamente utilizada como especia dentro de la cocina. Utilizada regularmente para sintomatología relacionada al estómago. Tiene como componentes principales monoterpenos; sin embargo, parte de su composición también son sesquiterpenos, en la Figura 16 se muestran los datos recabados en forma de porcentaje, para tener un mejor análisis (*Cui et al., 2017*).

Figura 16. Clasificación de terpenos del aceite esencial de *Amomum tsao-ko*



En la figura anterior se puede observar que el aceite esencial de esta especie está principalmente constituido por monoterpenos en un 81.25% de los cuales los principales compuestos encontrados son:  $\beta$ -cimeno, felandreno y terpiloneno, siendo este último el más abundante, además de poseer el resto (18.75%) en sesquiterpenos.

### 3.9 *Amorpha fruticosa*

La especie *Amorpha fruticosa* se refiere a la planta falso índigo, se da especialmente en el norte de América, aunque hay lugares de Europa en donde también es cultivada.

Tiene efectos bio-farmacéuticos relevantes al ser una especie que ayuda a regular la glucosa dentro del cuerpo humano, es antiinflamatorio y además posee propiedades anticancerígenas. Todo esto debido a la presencia de sustancias y compuestos tales como los terpenos; que en este caso en relación con los resultados de las tablas anteriores, podemos especificar el porcentaje de cada tipo de terpeno que contiene esta planta, en la Figura 17 (Chen et al., 2017).

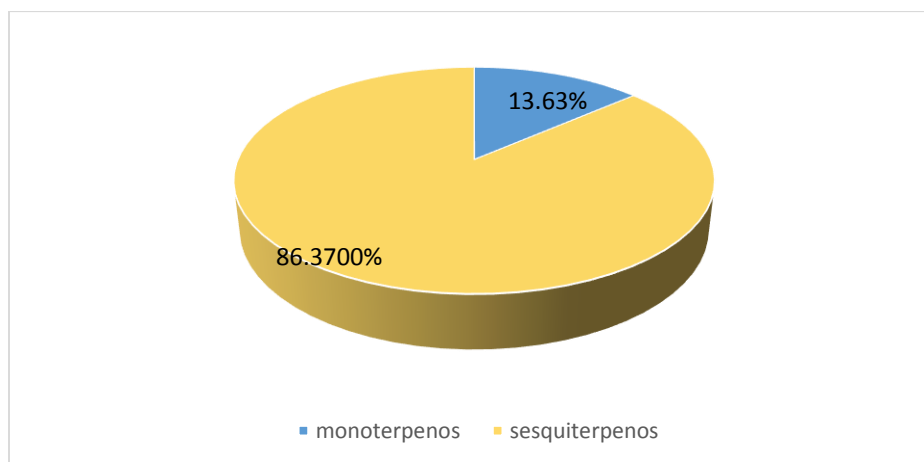


Figura 17. Clasificación de terpenos del aceite esencial de *Amorpha fruticosa*.

Respecto al análisis de terpenos en la especie *Amorpha fruticosa*, se puede comentar que el 86.3% pertenecen al grupo de los sesquiterpenos siendo los más

abundantes: el calacoreno y el cadineno. Por otra parte los monoterpenos que simbolizan el 13.63%, están representados por : 3- careno,  $\beta$  pineno y  $\alpha$  pineno.

### 3.10 *Cinnamomi cortex*.

*Cinnamomi cortex* es una especie de origen chino, conocida como Rougi chino obtenida de la corteza de un árbol perteneciente a la familia de los laureles, muy parecida a la canela. Tiene gran influencia en la medicina tradicional de países asiáticos, la literatura reporta que posee propiedades antiinflamatorias, antibacterianas, y antipiréticas. Por otra parte es altamente utilizada en la industria alimentaria y cosmética, por ser un saborizante y aromatizante natural.

Al ser una especie bastante importante, el estudio de ella se hace vital para esta investigación, por ello se muestra en la Figura 18 la distribución de terpenos (Chen et al., 2016).

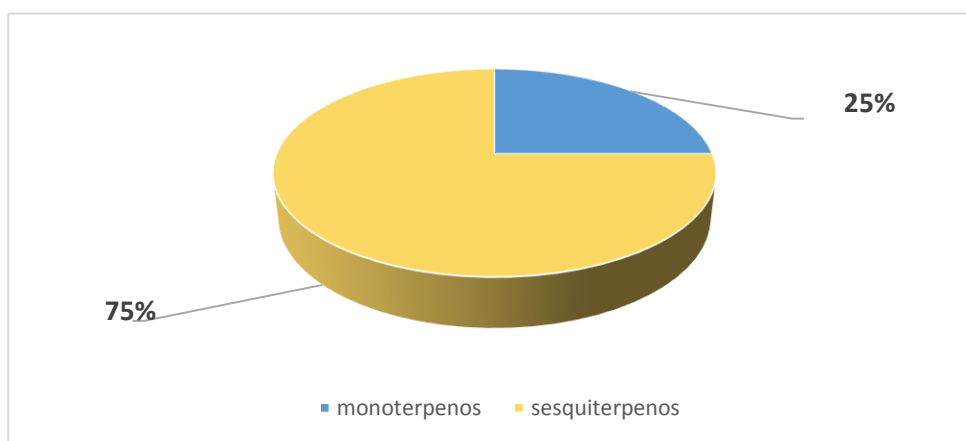


Figura 18. Clasificación de terpenos del aceite esencial de *Cinnamomi cortex*.

La especie *Cinnamomi cortex* presenta un porcentaje de monoterpenos del 25% y un 75% de sesquiterpenos como se muestra en la Figura -, de donde destacan las sustancias conocidas como trans- $\beta$ -ocimeno y cadaleno respectivamente.

### 3.11 *Cinnamomum camphora*

Parecida a la especie anterior la *Cinnamomum camphora* es una planta originaria del sur de china, de la familia de los laureles con hojas tipo perenne de apariencia

ancha y larga. Es utilizada como remedio natural para tratar distensiones musculares, reumatismos y bronquitis (Liu, 2018).

Es importante decir que su aceite esencial posee porcentajes altos de bioactividad por ello es utilizado dentro de la rama farmacéutica, por otra parte dentro de la industria alimenticia es utilizada como saborizante y aromatizante natural.

Por las razones anteriores el aceite esencial de esta especie tiene un costo monetario bastante valorable. A continuación se presenta la distribución de terpenos perteneciente a esta especie.

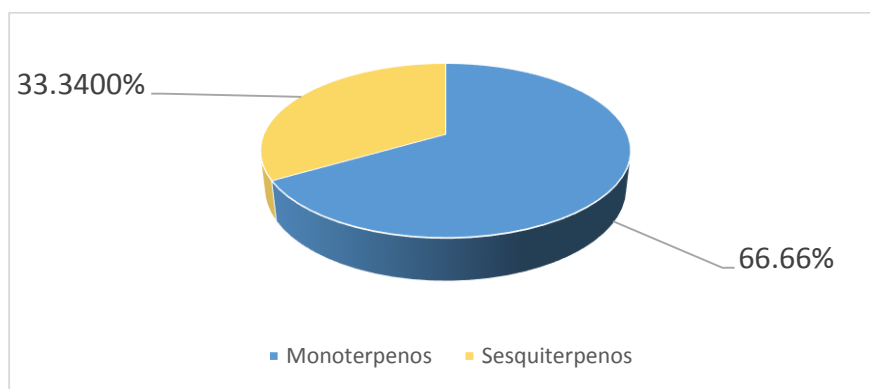


Figura 19. Clasificación terpenos de la especie *cinnamomum camphora*.

En la figura 19 se puede observar que el aceite esencial de esta planta contiene un 66.6% de monoterpenos entre los que se encuentran el tujeno y pineno. Lo que respecta a los sesquiterpenos (33.34%) podemos decir que dentro de las especies encontradas están el cariofileno y germacreno.

### **3.12 *Cinnamomum longepaniculatum*.**

*C. longepaniculatum* es una planta endémica china, perteneciente a la familia de los laureles, tiene hojas tipos perenes. Esta especie es utilizada ampliamente en la industria sobre todo para industria alimentaria y farmacéutica al poseer ciertas propiedades antimicrobianas, por lo tanto puede ayudar muy bien como conservador, o en caso dado como antibacteriano (Chen et al., 2018).

Debido a su rico aroma, también es muy utilizada en cosméticos sobre todo en perfumería y jabones. Como se puede leer, el aceite esencial de esta especie tiene varios usos, por lo cual se ha sido analizado, encontrando que tiene un

porcentaje más alto de monoterpenos, respecto a las demás clasificaciones de terpenos Figura 20.

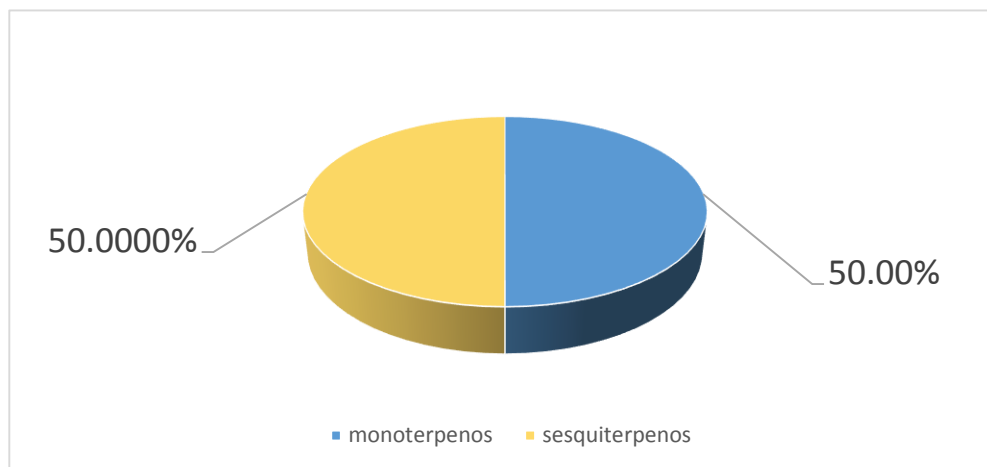


Figura 20. Clasificación de terpenos en la especie *Cinnamomum longepaniculatum*.

### 3.13 *Dryopteris fragrans*

Esta planta es conocida comúnmente como helecho fragante, se da principalmente en china sin embargo también puede ser encontrada en parte de Europa. Perteneciente a un grupo de plantas con bastantes especies, es una planta que esta normalmente en lugares cercanos a zonas geológicas,

Tiene una larga historia dentro de la medicina tradicional china, usualmente es utilizada para problemas relacionados a la piel como acné, dermatitis. Tiene un alto valor inmune, debido a la presencia de sesquiterpenos (*Li et. al., 2012*).

En este caso no fue necesario el ilustrar la distribución de terpenos en estas especies, debido a que el total de ellos pertenecen al grupo de los sequiterpenos.

### 3.14 *Ferulago angulata*.

La planta *Ferulago angulata* es una especie de hierba con hojas perenes, que crece aproximadamente de 1.5- 1.6 m de alto, es altamente utilizada en el sur de Irán , debido a sus propiedades farmacéuticas.

Dentro de la industria alimentaria su aceite esencial, se usa como aromatizante de distintos productos, como la carne y el queso. También puede ser aplicado a otros aceites como conservador; por ejemplo con aceite de palma, soya o girasol.

A continuación se muestra el análisis de terpenos (Figura 21) de esta especie de forma porcentual (Mollaei, et al., 2019).

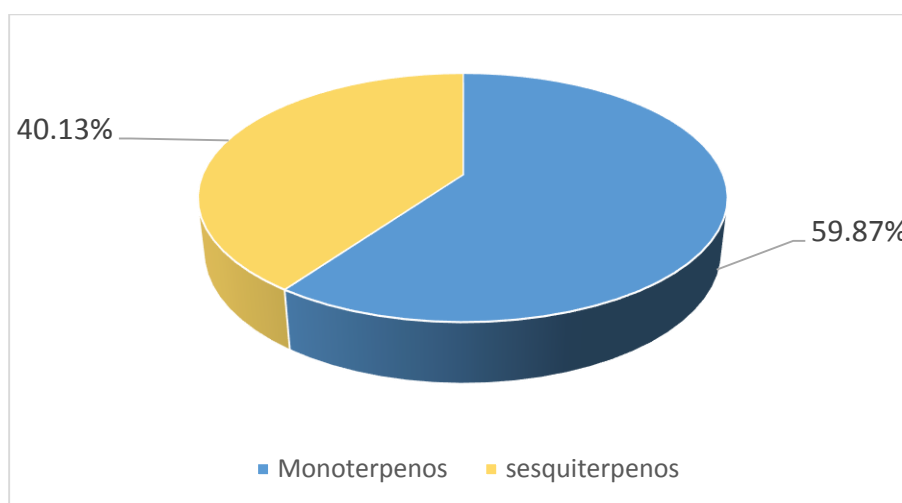


Figura 21. Clasificación de terpenos de la especie *Ferulago angulata*

En el gráfico anterior se puede observar que el porcentaje de los monoterpenos dentro de la planta *Ferulago angulata* sobrepasa el 50 %, mientras que para el caso de los sesquiterpenos se tiene un 40.13%.

### 3.15 *Fructus forsythiae*

La especie *Fructus forsythiae*, es un fruto de la planta *Forsythia suspensa*, el cual es comúnmente utilizado en la medicina tradicional china, en malestares relacionados a infecciones.

Es por ello que el aceite esencial de este fruto tiene un gran valor dentro de la medicina, ya que su bioactividad es alta debido a sus componentes que le dan propiedades antivirales, antimicrobianas y antioxidantes (Jiao et al., 2013).

Respecto al análisis del aceite esencial no será necesario ilustrar bajo algún gráfico, debido que de los terpenos encontrados el total son monoterpenos.

### 3.16 *Helichrysum arenarium*

Esta planta está distribuida principalmente por Europa y Asia, pertenece a la familia asteraceae, tiene forma perenne. Además de que es utilizada dentro de la industria farmacéutica, gracias a que su aceite esencial posee grandes propiedades biológicas, tales como antimicrobianas, antioxidantes, antirradicales, hepatoprotectoras y desintoxicantes. Las investigaciones señalan que todos los beneficios anteriores, se deben a la presencia de flavonoides (*Liu et al., 2019*).

Por otra parte es importante señalar, que el aroma de dicha planta también es exquisito, por lo cual es utilizada en la industria cosmética. A continuación se presenta en la Figura 22, el análisis de distribución de terpenos dentro de esta especie.

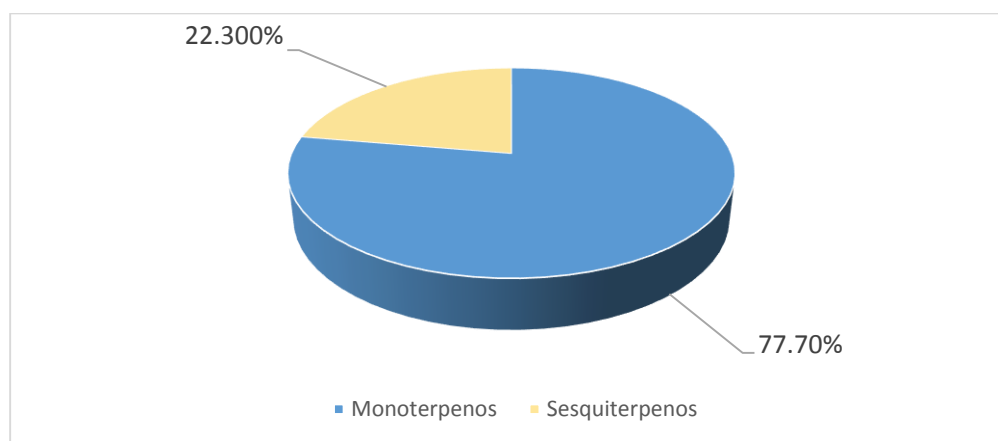


Figura 22. Clasificación de terpenos de la especie *Helichrysum arenarium*.

Respecto al AE de la especie *Helichrysum arenarium* el porcentaje se encuentra en mayor parte apuntado hacia los monoterpenos con un 77.7 %, es decir más de una tercera parte de los terpenos componentes, de donde las sustancias más relevantes son el sabineno y el pineno, que pueden ser utilizados como tratamiento para la salmonella.

### 3.17 *Lavanda (lavándula)*

Esta especie es una de las más importantes en el mundo, ya que se comercializa como planta y aceite, de manera realmente prominente. La *lavándula* es aquella planta que comúnmente es llamada lavanda, conocida en la industria cosmética y perfumería gracias a su increíble aroma, sin embargo también es altamente

utilizada en la industria alimenticia como parte de panes, helados, dulces y bebidas.

Por otra parte su aceite esencial, es señalado como antiespasmódico, sedante, antiséptico y antiinflamatorio. Cabe señalar que la composición de la lavándula, es un tanto complicada, y puede generar conflictos a la hora de analizarla, en función a ello se realiza el análisis en la Figura 23, donde se muestra la composición general en materia de terpenos (Liu et al., 2018).

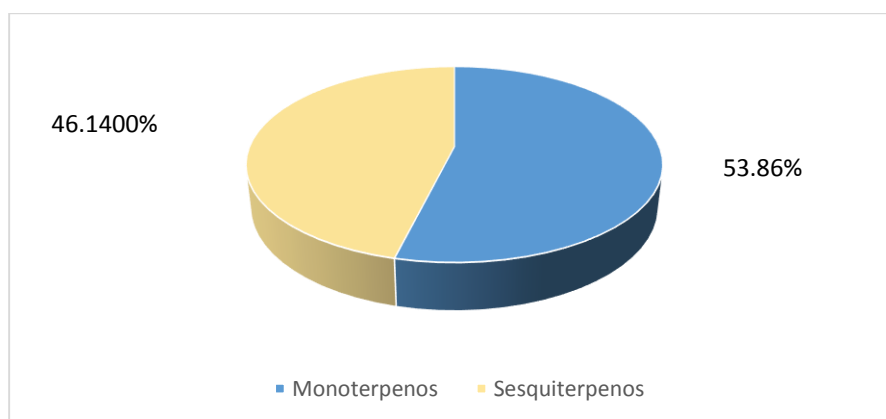


Figura 23. Clasificación de terpenos de la especie *Lavanda*.

La lavanda es una especie como ya se dijo bastante conocida sobre todo por sus propiedades aromáticas, mediante la clasificación de terpenos realizada se puede determinar que dicha especie posee más del 50% de monoterpenos dentro de los cuales se tienen al canfeno y el limoneno, además es importante resaltar que esta planta cumple la hipótesis establecida en este trabajo por sí sola.

### 3.18 *Magnolia sieboldii*

La especie *Magnolia sieboldii* es originaria de países asiáticos, donde es considerada una planta de gran valor medicinal para la cultura; debido a sus propiedades farmacológicas antibacteriales aplicadas a infecciones estomacales, y antiinflamatorias. Además el aceite esencial de dicha planta ha sido altamente estudiado, por ello se sabe que este contiene terpenos, de los cuales a continuación se presenta el análisis a través de la Figura 24 (Chen et. al., 2015).

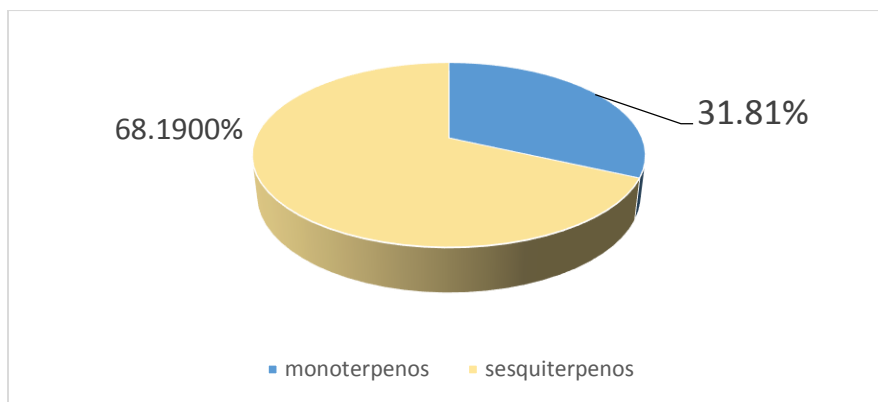


Figura 24. Clasificación de terpenos de la especie *Magnolia sieboldii*.

En la figura anterior se puede observar que el aceite esencial de la especie está principalmente constituido por sesquiterpenos en un 68.19% de los cuales los principales compuestos encontrados son: cariofileno, y humuleno, además de poseer el resto (31.81%) en monoterpenos como el  $\gamma$  terpineno y el limoneno.

### 3.19 *Nigella sativa*

Esta planta es originaria de países asiáticos, es muy usada en la industria de alimentos como conservador, ya que tiene la característica de mantener al alimento en óptimas condiciones durante años, sin embargo en los pueblos de la cultura asiática también es utilizada como especie y remedio debido a propiedades que la hacen única.

Varios estudios han mostrado que la *Nigella sativa*, contiene altos niveles de monoterpenos presentes en sus aceites esenciales, por ello se presenta a continuación el análisis cuantitativo en la Figura 25 (Abedi et. al., 2017).

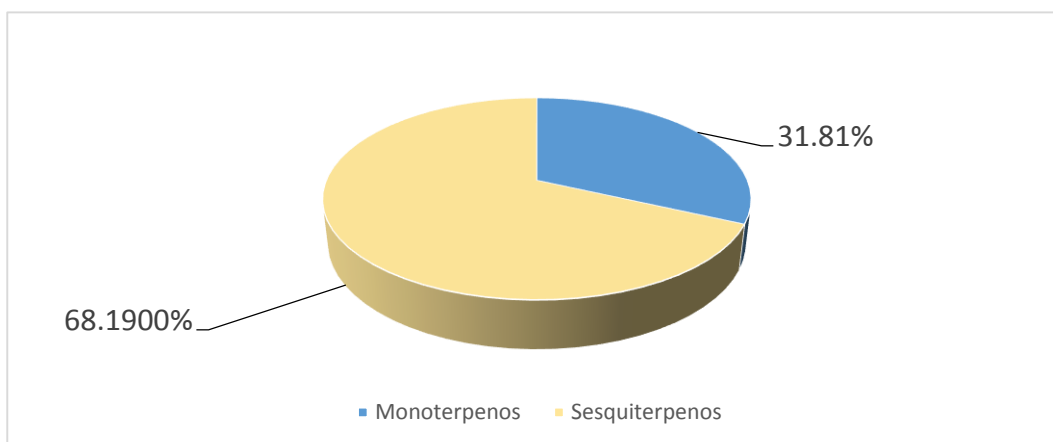


Figura 25. Clasificación de terpenos de la especie *Nigella sativa*.

Respecto al análisis de terpenos en la especie *Nigella sativa*, se puede comentar que el 68.19% pertenecen al grupo de los sequiterpenos:  $\delta$ -Cadineno y cariofileno. Por otra parte los monoterpenos que simbolizan el 31.81%, están representados por  $\alpha$  pineno,  $\beta$  pineno y  $\gamma$  terpineno.

### **3.20 *Ocimum basilicum***

Es una planta que se cultiva principalmente en territorio asiático y africano, aunque puede crecer también en zonas como Brasil; sin embargo normalmente las condiciones climáticas tropicales no lo permiten.

Dentro de la zona es empleada como remedio natural, para estimular la digestión, la respiración y el sistema circulatorio. Es aprovechada principalmente en industrias alimentarias y médicas, como especie y por sus diferentes propiedades antiinflamatorias y antioxidantes (*Tran et al., 2018*).

Cabe mencionar que esta especie está conformada en su mayoría por sustancias catalogadas como terpenoides, por lo que no se hace nombramiento de esta especie para su clasificación dentro de las tablas 4 y 5.

### **3.21 *Pterodon emarginatus***

Es una planta originaria de Brasil, perteneciente a la familia de los Pterodones (Figura 26). Localmente es utilizada como antiinflamatorio para infecciones de la piel. Además tiene propiedades que ayudan a controlar la diabetes, reumatismo, y anti microbiológicas (*Nguyen et al., 2018*).

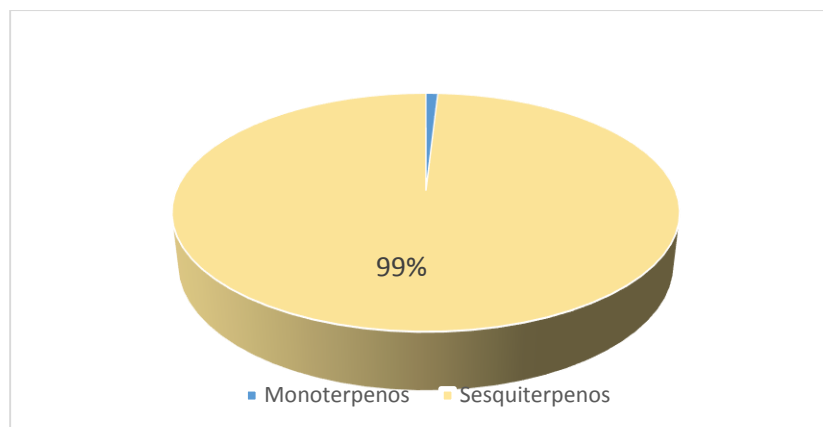


Figura 26. Clasificación de terpenos de la especie *Pterodon emarginatus*

En la figura 26 se puede observar que el aceite esencial de esta planta contiene un 1% de monoterpenos lo cual es un porcentaje bastante bajo con respecto a la composición de otras especies. Lo que respecta a los sesquiterpenos (99%) podemos decir que dentro de las especies encontradas están Y-elemeno y Y-elemeno.

### 3.22 *Prunus laurocerasus*

El *Prunus laurocerasus* comúnmente llamado laurel cerezo, es originario de Asia menor e Irán. Es la hoja de un árbol pequeño de tipo perenne, culturalmente es utilizado para tratar úlceras de estómago y malestares digestivos. Pero debido a sus compuestos fenólicos, y terpenos, es utilizada dentro de la industria farmacéutica como complemento en medicamentos antipiréticos, analgésicos y sedantes. Es por ello que a continuación se presenta la clasificación de terpenos en la Figura 27 (Karabegovic et al., 2013).

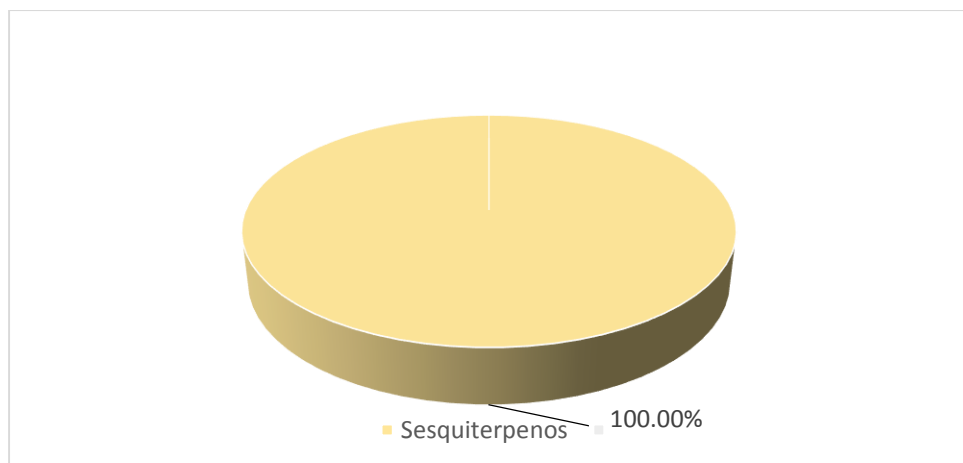


Figura 27. Clasificación de terpenos de la especie *Prunus laurocerasus*.

### 3.23 *Salvia officinalis*.

Es una planta muy antigua por lo tanto es muy utilizada al nivel mundial, ya que tiene variados usos y propiedades, yendo desde lo aromático gracias a sus compuestos fenólicos tales como ácido carnósico, ácido rosmarínico y carnosol, etc. (Figura 28). Hasta lo farmacéutico por sus propiedades antisépticas, antihidrópicas, y antiinflamatorias (Wei et al., 2018).

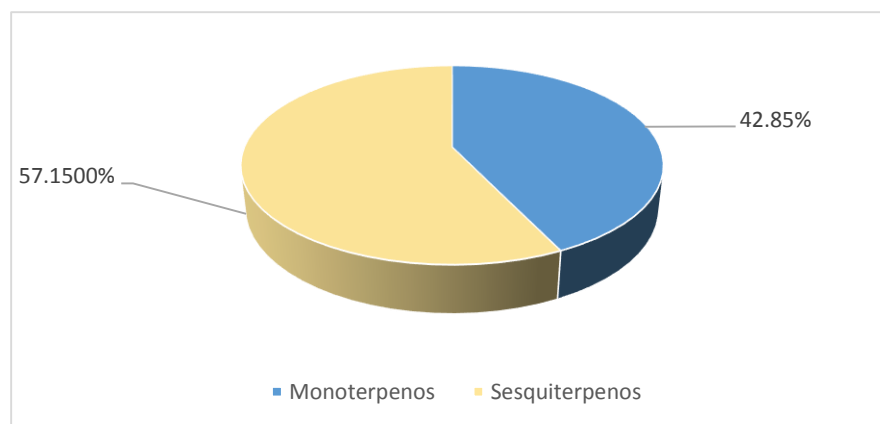


Figura 28. Clasificación de terpenos de la especie *Salvia officinalis*.

La especie *Salvia officinalis* presenta un porcentaje de monoterpenos del 42.85% ( $\alpha$  pineno, canfeno) y un 57.15% de sesquiterpenos como se muestra en la Figura -, de donde destaca la sustancia conocida como  $\beta$ -cariofileno.

### 3.24 *Vaccinium uliginosum*

Esta planta originaria de china, es un pequeño arbusto donde crecen bayas parecidas a los arándanos, que tienen propiedades antioxidantes y antiinflamatorios, sin embargo el análisis profundo se realiza sobre todo a sus hojas, ya que el aceite esencial extraído de ellas es usado por la industria farmacéutica y cosmética.

Es importante destacar que en la Figura 30 se muestra la distribución de los compuestos de acuerdo al terpenaje de esta planta (*Chen et al., 2015*).

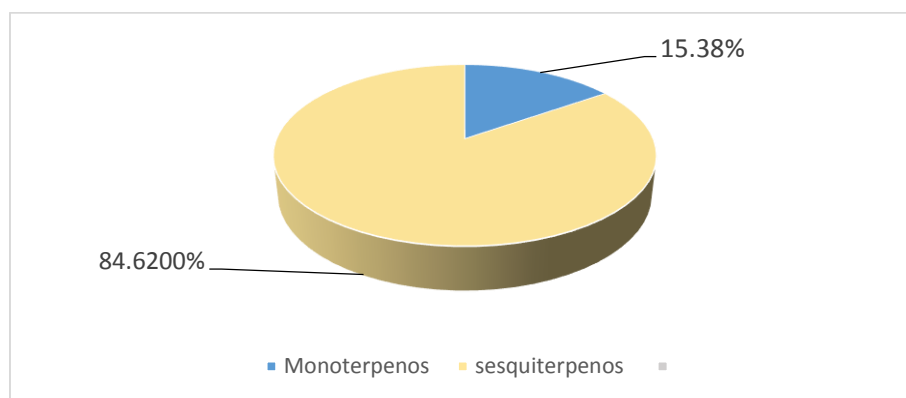


Figura 30. Clasificación de terpenos de la especie *Vaccinium uliginosum*.

En la figura 34 se puede observar que el aceite esencial de esta planta contiene un 15.38% de monoterpenos entre los que se encuentran el  $\gamma$ -terpineno y nafteleno. Lo que respecta a los sesquiterpenos (86.62%) podemos decir que dentro de las especies encontradas están el cariofileno y  $\delta$ -Cadineno.

### 3.25 *Cinnamomum japonicum*.

Esta especie es una de las más importantes dentro de la cultura oriental, ya que es cultivada principalmente en china, corea y Japón. Por lo cual la cultura de estos países la ha adoptado como un remedio natural, y los estudios realizados mediante la extracción de su aceite esencial señalan que contienen altos niveles de componentes bioactivos. En Figura 31, se muestra la clasificación de terpenos (*Zhao et al., 2018*).

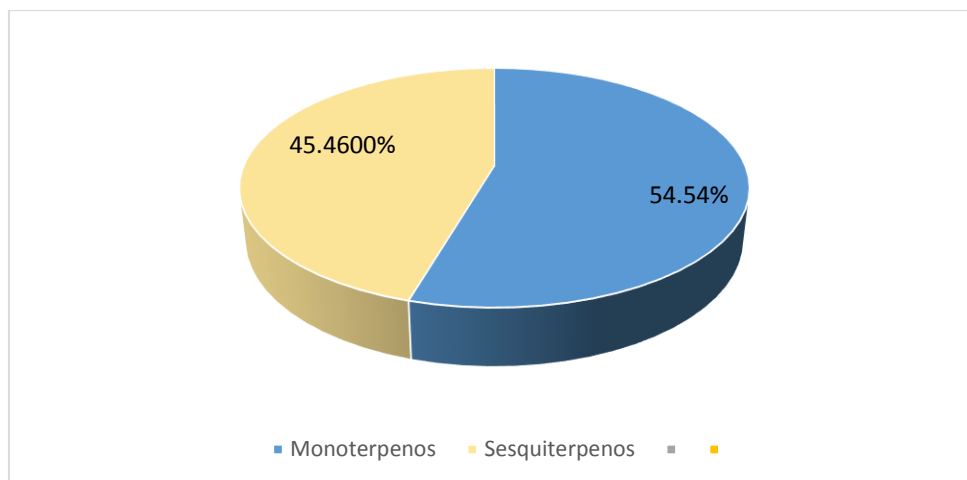


Figura 31. Clasificación de terpenos de la especie *Cinnamomum japonicum*

Respecto al AE de la especie *Cinnamomum japonicum* el porcentaje se encuentra en mayor parte apuntado hacia los monoterpenos con un 54.54%, es decir más de la mitad de los terpenos componentes, de donde las sustancias más relevantes son el  $\beta$  pineno y canfeno.

### 3.26 *Tribulus terrestris*.

Es una planta perenne comúnmente llamada abrojo creciente en climas fríos, como planta de temporada sobre todo en Europa, Asia, y África.

Su aceite esencial tiene diversos usos sobre todo como herbicida y suplemento alimenticio, sin embargo también es conocida por producir testosterona, que es una sustancia clasificada como sesterpeno, sustancias que son difíciles de encontrar dentro de la naturaleza (Pereo, 2015).

### 3.27 *Digitalis purpurea*

Es una planta que se encuentra en medios montañosos, tiene hojas alargadas y anchas, no suele pasar de 30 cm de tamaño, es cultivada en Europa y el noroeste de África esta especie, posee cantidades significativas de cortisol sustancia clasificada como sestertepeno que es utilizada para nivelar medicamente, padecimientos relacionados al hígado y al estado emocional (Pérez, 2013).

#### **4. Conclusiones**

- La mayoría de las especies de plantas estudiadas reflejan la presencia de terpenos de los cuales usualmente más del 50% son sesquiterpenos y el resto pertenece a los demás grupos de dichos componentes; por lo que se comprueba la hipótesis establecida.
- Podemos encontrar a los monoterpenos en un 43%, a los hemiterpenos y sestertepenos en un 1% y a los diterpenos en un 5%.
- Las sustancias más encontradas dentro de los aceites esenciales analizados y clasificados son  $\alpha$  pineno como monoterpeno, siendo parte de 12 especies de plantas y el cariofileno como sesquiterpeno integrando el AE de 10 especies.
- La técnica más utilizada para el análisis de terpenos es la cromatografía de gases acoplada a la espectrofotometría de masas (CG-MS).
- Por lo cual en comparación con estudios que se enfocan a examinar una sola especie, se puede definir que el alcance de esta investigación propone un conocimiento integrado, y de fácil acceso para consulta.

## 5. Referencias bibliográficas.

- Abedi, A. S.; Rismanchi, M.; Shahdoostkhany, M.; Mohammadi, A.; Mortazavian, A. M. Microwave-Assisted Extraction of *Nigella sativa* L. Essential Oil and Evaluation of Its Antioxidant Activity. *J. Food Sci. Technol.* 2017, 54 (12), 3779–3790. DOI: 10.1007/s13197-017-2718-1.
- Adams, R. Identification of Essential Oils by Ion Trap Mass Spectroscopy. *A. Press.* 1989, 3, 2-29. DOI: 10.1016/B978-0-12-044230-0.50001-0.
- Akhbari, M.; Masoum, S.; Aghababaei, F.; Hamed, S. Optimization of Microwave Assisted Extraction of Essential Oils from *Iranian Rosmarinus officinalis* L. Using RSM. *J. Food Sci. Technol.* 2018, 55 (6), 2197–2207. DOI: 10.1007/s13197-018-3137-7.
- Asante, K.; Brophy, J.; Doran, J.; Goldsack, R.; Hibbert, D.; Larmour, J. A comparative study of the seedling leaf oils of the spotted gums: Species of the *Corymbia* (*Myrtaceae*). *A. J. Botany*, 2001, 49 (1), 55-66. DOI: 10.1071/BT00006.
- Bouton, F.; Durand, M.; Nardello, V.; Serry, M.; Aubry, J. Classification of terpene oils using the fish diagrams and the Equivalent Alkane Carbon (EACN) scale. *Coll. Surf. A: Physicochemical and Eng. Asp.* 2009, 338 (1-3), 142-147. DOI: 10.1016/j.colsurfa.2008.05.027.
- Bozan, B; Temelli, F. Chemical composition and oxidative stability of flax, safflower and *poppy seed* and *seed oils*. *Bior Tech.* 2008, 99 (14), 6354-6359. DOI: 10.1016/j.biortech.2007.12.009.
- Chen, F.; Du, X.; Zu, Y.; Yang, L. A New Approach for Preparation of Essential Oil, Followed by Chlorogenic Acid and Hyperoside with Microwave-Assisted Simultaneous Distillation and Dual Extraction (MSDDE) from *Vaccinium uliginosum* Leaves. *Ind. Crops Prod.* 2015, 77, 809–826. DOI: 10.1016/j.indcrop.2015.09.058. Zhao, C.; Yang, X.; Tian, H.; Yang, L. An Improved Method to Obtain Essential Oil, Flavonols and Proanthocyanidins from Fresh *Cinnamomum japonicum* Sieb. Leaves Using Solvent-Free Microwave-Assisted Distillation Followed by Homogenate

- Extraction. *Arab. J. Chem.* 2020, 13 (1), 2041–2052. DOI: 10.1016/j.arabjc.2018.03.002.
- Chen, F.; Du, X.; Zu, Y.; Yang, L.; Wang, F. Microwave-Assisted Method for Distillation and Dual Extraction in Obtaining Essential Oil, Proanthocyanidins and Polysaccharides by One-Pot Process from *Cinnamomi Cortex*. *Sep. Purif. Technol.* 2016, 164, 1–11. DOI: 10.1016/j.seppur.2016.03.018.
  - Chen, F.; Jia, J.; Zhang, Q.; Gu, H.; Yang, L. A Modified Approach for Isolation of Essential Oil from Fruit of *Amorpha fruticosa* Linn Using Microwave-Assisted Hydrodistillation Concatenated Liquid-Liquid Extraction *J. Chromatogr. A.* 2017, 1524, 254–265. DOI: 10.1016/j.chroma.2017.10.008.
  - Chen, F.; Zu, Y.; Yang, L. A Novel Approach for Isolation of Essential Oil from Fresh Leaves of *Magnolia sieboldii* Using Microwave-Assisted Simultaneous Distillation and Extraction. *Sep. Purif. Technol.* 2015, 154, 271–280. DOI: 10.1016/j.seppur.2015.09.066.
  - Chen, Q.; Hu, Z.; Yao, F. Y. D.; Liang, H. Study of Two-Stage Microwave Extraction of Essential Oil and Pectin from Pomelo Peels. *LWT-Food Sci. Technol.* 2016, 66, 538–545. DOI: 10.1016/j.lwt.2015.11.019.
  - Choe, E.; Min, D. Mechanisms and factors for edible oil oxidation. *C. Reviews F. Sci. and F. Saf.* 2002,5 ,169-186. DOI: 10.1111/j.1541-4337.2006.00009.x.
  - Cui, Q.; Wang, L. T.; Liu, J. Z.; Wang, H. M.; Guo, N.; Gu, C. B.; Fu, Y. J. Rapid Extraction of *Amomum tsao-ko* Essential Oil and Determination of Its Chemical Composition, Antioxidant and Antimicrobial Activities. *J. Chromatogr. B.* 2017, 1061–1062, 364–371. DOI: 10.1016/j.jchromb.2017.08.001.
  - Dao, T. P.; Nguyen, D. C.; Tran, T. H.; Van Thinh, P.; Hieu, V. Q.; Vo Nguyen, D. V.; Nguyen, T. D.; Bach, L. G. Modeling and Optimization of the Orange Leaves Oil Extraction Process by Microwave-Assisted Hydro-Distillation: The Response Surface Method Based on the Central Composite

Approach (RSM-CCD Model). *Rasayan J. Chem.* 2019, 12 (2), 666–676. DOI: 10.31788/RJC.2019.1225107.

- Dao, T.; Trần, H.; Nguyen, D.; Le, N.; Sy, D.; Huong, N.; Bui Le, M. *Application of Response Surface Methodology for the Optimization of Essential Oils from Pomelo [Citrus grandis (L.) Osbeck] Leaves Using Microwave-Assisted Hydrodistillation Method.* *Asian J. Chem.* 2019, 31, 1639–1642. DOI: 10.14233/ajchem.2019.21768.
- Davies, N. Gas chromatography retention indices of monoterpenes and sesquiterpenes on methyl silicone and carbowax 20M phases. *J. Chromatogr.* 1990, 503, 1-24. DOI: 10.1016/S0021-9673(01)81487-4
- Fullana, A.; Carbonell, A.; Sidhu, S. Volatile aldehyde emissions from heated cooking oils, *J. Sci. Food and Agri.*, 2004, 84, 2015-2021. DOI: 10.1002/jsfa.1904.
- Hien, T.; Nhan, N.; Nguyen, T.; Ho, V.; Bach, L. Optimizing the Pomelo Oils Extraction Process by Microwave-Assisted Hydro-Distillation Using Soft Computing Approaches. *Solid State Phenom.* 2018, 279, 217–221. DOI: 10.4028/www.scientific.net/SSP.279.217.
- Jiao, J.; Gai, Q. Y.; Fu, Y. J.; Zu, Y. G.; Luo, M.; Zhao, C. J.; Li, C. Y. Microwave-Assisted Ionic Liquids Treatment Followed by Hydro-Distillation for the Efficient Isolation of Essential Oil from *Fructus forsythiae* Seed. *Sep. Purif. Technol.* 2013, 107, 228–237. DOI: 10.1016/j.seppur.2013.01.009.
- Jiao, J.; Gai, Q. Y.; Fu, Y. J.; Zu, Y. G.; Luo, M.; Zhao, C. J.; Li, C. Y. Microwave-Assisted Ionic Liquids Treatment Followed by Hydro-Distillation for the Efficient Isolation of Essential Oil from *Fructus forsythiae* Seed. *Sep. Purif. Technol.* 2013, 107, 228–237. DOI: 10.1016/j.seppur.2013.01.009.
- Karabegović, I. T.; Stojičević, S. S.; Veličković, D. T.; Nikolić, N. Č.; Lazić, M. L. Optimization of Microwave-Assisted Extraction and Characterization of Phenolic Compounds in Cherry Laurel (*Prunus laurocerasus*) Leaves. *Sep. Purif. Technol.* 2013, 120, 429–436. DOI: 10.1016/j.seppur.2013.10.021.
- Khalili, G.; Mazloomifar, A.; Larijani, K.; Tehrani, M.; Azar, P. Solvent-Free Microwave Extraction of Essential Oils from *Thymus vulgaris* L. and *Melissa*

*officinalis* L. *Ind. Crops Prod.* 2018, 119, 214–217. DOI: 10.1016/j.indcrop.2018.04.021.

- Kusuma, H.; Altway A; Mahfud, M. An Optimization of Microwave Hydrodistillation Extraction of Vetiver Oil Using a Face-Centered Central Composite Design. *J. Chem. Technol. Metall.* 2019, 54 (4), 803–809.
- Kusuma, H.; Altway, A.; Mahfud, M. The Application of Face-Centered Central Composite Design for the Optimization of Patchouli Oil Extraction from Pogostemon Cablin Benth Dried Leaves Using Microwave Hydrodistillation Method. *J. Chem. Technol. Metall.* 2019, 54 (4), 787–792.
- Li, X. J.; Wang, W.; Luo, M.; Li, C. Y.; Zu, Y. G.; Mu, P. S.; Fu, Y. J. Solvent-Free Microwave Extraction of Essential Oil from *Dryopteris fragrans* and Evaluation of Antioxidant Activity. *Food Chem.* 2012, 133 (2), 437–444. DOI: 10.1016/j.foodchem.2012.01.056.
- Li, X. J.; Wang, W.; Luo, M.; Li, C. Y.; Zu, Y. G.; Mu, P. S.; Fu, Y. J. Solvent-Free Microwave Extraction of Essential Oil from *Dryopteris fragrans* and Evaluation of Antioxidant Activity. *Food Chem.* 2012, 133 (2), 437–444. DOI: 10.1016/j.foodchem.2012.01.056.
- Lincoln T.; Zeiger E. *Plant Physiology*. Benj. Cumm. Publishing Comp. Inc. 2003, 3, 690. DOI: 10.1093/ AOB/MG079.
- Lira, M.; Bandonil, L.; Baren, M.; Retta, D. ¿Son realmente útiles los aceites esenciales?. *Redalyc.* 2009, 8 (5), 317-322.
- Liu, B.; Fu, J.; Zhu, Y.; Chen, P. Optimization of Microwave-Assisted Extraction of Essential Oil from Lavender Using Response Surface Methodology. *J. Oleo Sci.* 2018, 67 (10), 1327–1337. DOI: 10.5650/jos.ess18019.
- Liu, B.; Fu, J.; Zhu, Y.; Chen, P. Optimization of Microwave-Assisted Extraction of Essential Oil from Lavender Using Response Surface Methodology. *J. Oleo Sci.* 2018, 67 (10), 1327–1337. DOI: 10.5650/jos.ess18019.
- Liu, X.; Jing, X.; Li, G. A Process to Acquire Essential Oil by Distillation Concatenated Liquid-Liquid Extraction and Flavonoids by Solid-Liquid

Extraction Simultaneously from *Helichrysum arenarium* (L.) Moench Inflorescences under Ionic Liquid-Microwave Mediated. *Sep. Purif. Technol.* 2019, 209, 164–174. DOI: 10.1016/j.seppur.2018.07.028.

- Liu, Z.; Deng, B.; Li, S.; Zou, Z. Optimization of Solvent-Free Microwave Assisted Extraction of Essential Oil from *Cinnamomum camphora* Leaves. *Ind. Crops Prod.* 2018, 124, 353–362. DOI: 10.1016/j.indcrop.2018.08.016.
- Márquez, C.; Contreras, J.; Ruiz, J.; Monroy, L. Comparación de dos métodos de extracción para el aceite esencial de la cáscara de pomelo (*Citrus maxima*). *Ing-Nova.* 2022, 1(1), 85–98. DOI: <https://doi.org/10.32997/rin-2022-3729>.
- Moure, A.; Cruz, D.; Domínguez, J.; Hermini, B.; Núñez, M.; Parajo, C. Natural antioxidants from residual sources. *F. Chem.* 2001, 72 (2), 145-171. DOI: 10.1016/S0308-8146(00)00223-5.
- Nabet, N.; López, G.; Madani, K.; Herrero, M.; Ibáñez, E.; Mendiola, J. Optimization of microwave-assisted extraction recovery of bioactive compounds from *Origanum glandulosum* and *Thymus fontanesii*. *Ind. Crops Prod.* 2019, 129, 395–404. DOI: 10.1016/j.indcrop.2018.12.032.
- Pereo, G. Actividad antibacteriana in vitro del extracto butanólico del tallo de *yucca baccata* e identificación de sus fracciones con saponinas. *CIED*, 2015, 9 (3), 1-20. Ciad: [jspui/handle/1006/74](http://jspui/handle/1006/74)
- Pérez, A. Plantas útiles de Colombia. *Arco.* 1978, (2), 843. ISBN: 9789589129418.
- Qi, X. L.; Li, T. T.; Wei, Z. F.; Guo, N.; Luo, M.; Wang, W.; Zu, Y. G.; Fu, Y. J.; Peng, X. Solvent-Free Microwave Extraction of Essential Oil from Pigeon Pea Leaves [*Cajanus Cajan* (L.) Millsp.] and Evaluation of Its Antimicrobial Activity. *Ind. Crops Prod.* 2014, 58, 322–328. DOI: 10.1016/j.indcrop.2014.04.038.
- Robert, S. Production and engineering of terpenoids in plant cell culture. *Nat Chem Biol.* 2007, 3, 387–395. DOI: 10.1038/nchembio.2007.8.
- Tran, T. H.; Nguyen, H. H. H.; Nguyen, D. C.; Nguyen, T. Q.; Tan, H.; Nhan, L. T. H.; Nguyen, D. H.; Tran, L. D.; Do, S. T.; Nguyen, T. D. Optimization of

Microwave-Assisted Extraction of Essential Oil from *Vietnamese Basil* (*Ocimum basilicum* L.) Using Response Surface Methodology. *Processes*. 2018, 6 (11), 206. DOI: 10.3390/pr6110206.

- Vila, G.; Barros, D.; Oliveira, M.; Aquino, G.; Santos, D; Paula J.; Dias, L. Oil Terpenes from *Pterodon Emarginatus* Vogel. (*Fabaceae*). *Molecules*. 2018, 23(3), 651. DOI: 10.3390/molecules23030651.
- Wagner, K.; Elmadfa, I. Biological Relevance of Terpenoids. *Karger A.G.* 2003, 47 (3-4), 95-106. DOI: 10.1159/000070030
- Wei, Z. F.; Zhao, R. N.; Dong, L. J.; Zhao, X. Y.; Su, J. X.; Zhao, M.; Li, L.; Bian, Y. J.; Zhang, L. J. Dual-Cooled Solvent-Free Microwave Extraction of *Salvia officinalis* L. Essential Oil and Evaluation of Its Antimicrobial Activity. *Ind. Crops Prod.* 2018, 120, 71–76. DOI: 10.1016/j.indcrop.2018.04.058.
- Zhao, C.; Yang, X.; Tian, H.; Yang, L. An Improved Method to Obtain Essential Oil, Flavonols and Proanthocyanidins from Fresh *Cinnamomum japonicum* Sieb. Leaves Using Solvent-Free Microwave-Assisted Distillation Followed by Homogenate Extraction. *Arab. J. Chem.* 2020, 13 (1), 2041–2052. DOI: 10.1016/j.arabjc.2018.03.002.
- Zhao, C.; Yang, X.; Tian, H.; Yang, L. An Improved Method to Obtain Essential Oil, Flavonols and Proanthocyanidins from Fresh *Cinnamomum japonicum* Sieb. Leaves Using Solvent-Free Microwave-Assisted Distillation Followed by Homogenate Extraction. *Arab. J. Chem.* 2020, 13 (1), 2041–2052. DOI: 10.1016/j.arabjc.2018.03.002.