

Análisis de terpenos en aceites esenciales obtenidos mediante extracción por microondas

Sánchez Pazos, Y.¹ • Rivera Márquez, J. A.¹ • Luna Guevara, M. L.¹ • Conde Hernández, L. A.^{1*}

Palabras clave: monoterpenos, sesquiterpenos, antimicrobianos
Key words: monoterpenes, sesquiterpenes, antimicrobials

Introducción

Los aceites esenciales (AE) son usualmente una mezcla compleja de compuestos naturales, tanto de compuestos polares como no polares [1]. En general, los constituyentes en los aceites esenciales son terpenos, terpenoides, fenilpropanoides y otros constituyentes. Los compuestos bioactivos que se encuentran en los AE, especialmente los terpenos y los terpenoides, poseen una amplia gama de actividades biológicas [2].

Los terpenos son moléculas químicas sintetizadas a partir del isopreno, 2-metil-1,3 butadieno que se polimerizan, obteniendo así una de las familias de metabolitos secundarios más diversificadas de la naturaleza. Los terpenos son clasificados en base al número y estructura de los átomos de carbono. Estos pueden estar en arreglo lineal y en arreglos cíclicos.

Una sola unidad de isopreno representa a los hemiterpenos (C5), siendo esta la estructura más básica de los terpenos. Los terpenos que presentan dos unidades de isoprenos son llamados monoterpenos (C10); los de tres, sesquiterpenos (C15); los de cuatro, diterpenos (C20); los de cinco, sesterterpenos (C25); los de seis, triperpenos (C30); los de ocho, tetraterpenos (C40) y los de más de diez, politerpenos. Todos estos compuestos bioactivos formados por varias unidades de isopreno son la mayor clase de compuestos orgánicos producidos en los AE de varias plantas. Tienen un papel importante en el tratamiento de varios tipos de enfermedades, en muchos estudios *in vitro* e *in vivo*, como agentes anticancerígenos, antimicrobianos, antiinflamatorios, antioxidantes, antialérgicos,

1 Facultad de Ingeniería Química, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Av. San Claudio s/n, Cd Universitaria, La Hacienda, 72592 Puebla, Puebla, México

* lacondeh@hotmail.com



neuroprotectores, antiagregantes, anticoagulantes, sedantes y analgésicos a través de la actividad de los monoterpenos, sesquiterpenos, diterpenos, triterpenos y tetraterpenos y compuestos glucósidos [3]. Se ha informado de que los terpenos ejercen actividades antimicrobianas tanto contra las bacterias susceptibles a los antibióticos como contra las resistentes a los mismos, principalmente a través de su capacidad para promover la ruptura celular y la inhibición de la síntesis de proteínas y ADN [4]. El carvacrol, la carvona, el eugenol, el geraniol y el timol fueron algunos de los terpenos que demostraron una acción antibacteriana contra el *Staphylococcus aureus* [5].

Dentro de los métodos de extracción de los AE encontramos dos clasificaciones; métodos convencionales o clásicos: hidrodestilación, destilación por arrastre con vapor, extracción con solventes orgánicos y presión en frío; y métodos avanzados o innovadores: extracción con fluidos supercríticos, extracción con líquidos subcríticos, extracción asistida con ultrasonido, extracción por microondas sin disolventes, hidrodifusión de microondas y gravedad, la destilación de vapor por microondas y la difusión de vapor por microondas, la caída de presión controlada al instante y extracción asistida por microondas [6].

Como puede observarse son distintos métodos de obtención de aceites esenciales, por lo que este trabajo se centrará únicamente en la extracción asistida por microondas, ya que este método puede conside-

rarse como una tecnología verde que ofrece importantes ventajas sobre la hidrodestilación convencional: tiempos de extracción más cortos con rendimientos similares, considerable ahorro de energía, técnica respetuosa con el medio ambiente y menor costo.

El propósito de esta revisión es presentar una visión general de los terpenos encontrados en aceites esenciales obtenidos mediante extracción por microondas, haciendo énfasis en su aplicación como antimicrobianos.

Metodología

Toda la información disponible se recopiló (2010-2020) a partir de la base de datos electrónica “Scopus”®, los artículos pertenecen al “Journal Citation Report (JCR)”. La búsqueda se realizó en el año 2021, se utilizaron las siguientes palabras clave: “extracción por microondas”, “aceites esenciales”, “terpenos” y “optimización”. Este artículo presenta una revisión de la literatura que resume los mejores datos avanzados sobre únicamente terpenos (sin incluir a los terpenoides, fenilpropanidos y otros constituyentes) encontrados en los aceites esenciales obtenidos por extracción con microondas, centrándose en la aplicación como antimicrobianos.

Resultados y discusión

En la Tabla 1 se muestran las especies analizadas, así como su nombre científico.

Tabla 1. Aceites esenciales investigados en este estudio.

Nombre científico de la especie	Nombre común
<i>Amomum tsao-ko</i>	Tsaoko, hierba fruta
<i>Amorpha fruticosa</i>	Falso índigo, anil bastardo de Cayena
<i>Cinnamomi cortex</i>	Corteza de cinamomo, teipat
<i>Cinnamomun camphora</i>	Alcanforero
<i>Cinnamomum longepaniculatum</i>	Canela del pinar
<i>Ferulago angulata</i>	Ferulago, chavil
<i>Fructus forsythiae</i>	Lian Qiao
<i>Helichrysum arenarium</i>	Siempre viva del monte, pluma de príncipe
<i>Lavandula angustifolia</i>	Lavanda
<i>Magnolia sieboldii.</i>	Magnolia de oyama o de montaña coreana
<i>Nigella sativa</i>	Ajenuz, agenuz, arañuel, semilla o comino negro
<i>Ocimum basilicum</i>	Albahaca
<i>Pterodon emarginatus</i>	Sucupira- branca
<i>Salvia officinalis</i>	Salvia
<i>Vaccinium uliginosum</i>	Arándano azul o negro o nero, nadius
<i>Cinnamomum japonicum</i>	Canela japonesa
<i>Rosmarinus officinalis</i>	Romero

Después de reunir la información se analizó y se integró en distintas tablas que poseen los siguientes campos: tipo de terpeno, índice de retención, nombre de la especie, técnica de análisis, referencia. 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 dos grandes grupos: monoterpenos y sesquiterpenos. En los artículos analizados no se encontraron diterpenos y sesterterpenos.

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 seneccioico [7]. En los artículos revisados, no se encontró ningún hemiterpeno, ya que principalmente se encuentran en hojas y hierbas de árboles.

En la Tabla 2 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 $C_{10}H_n$. De la tabla 2, 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.

Los sesquiterpenos son el siguiente tipo de terpenos, los cuales están ordenados en la Tabla 3. El sesquiterpeno más común es el cariofileno, contenido en 11 especies de las 18 estudiadas, dicho compuesto es uno de los más utilizado en la industria alimentaria, ya que constituye parte de aditivos; además de tener propiedades antiinflamatorias. Jioa et al. [8] no reportan ningún sesquiterpeno en aceite esencial de *Fructus forsythiae*, únicamente monoterpenos. Mientras que Vila-Verde et al. [9] y Tran et al. [10] solo reportan monoterpenos para el aceite esencial de *Pterodon emarginatu* y de albahaca. Liu et al. [11] reportan valores de índices de retención, de los compuestos del aceite esencial de lavanda, muy diferentes a los reportados por otros autores, lo que podría deberse a que reportan los Índices Kovats a n-alcános (C5-C24) en

una columna HP-INNOWax®.

No todos los autores reportan todos los componentes del aceite esencial, como es el caso de Akhbari et al. [12], quienes solo reportan cuatro compuestos y entre ellos se encontró un monoterpeno.

Los aceites esenciales de lavanda obtenidos mediante hidrodestilación (HD) e hidrodestilación asistida por microondas (HDAM) se probaron contra cinco microorganismos diferentes, que incluían tres bacterias (*Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis* y *Actinomyces viscosus*) y dos hongos (*Aspergillus niger* y *Penicillium* sp.). Los valores de diámetro de la zona de inhibición del aceite esencial se determinaron por el método de difusión en disco de papel, tanto para HD, como para HDAM, los valores estuvieron en el rango de 9.3-10.2 mm y 9.0-10.5 mm, respectivamente. El aceite por HDAM mostró una mayor actividad antimicrobiana contra todos los microorganismos ensayados que el extracto por HD, excepto *Penicillium* sp. Los valores de la determinación de la concentración mínima inhibitoria (CMI) del aceite esencial se determinaron por el método de macrodilución en caldo y se probaron contra cinco microorganismos. Los valores de CMI oscilaron entre 0.125 y 0.250 mg/mL para los aceites obtenidos por el método de HDAM y por el método de HD. Según el valor de la CMI, el aceite HDAM fue más eficaz contra *Actinomyces viscosus* (0.125 mg/mL) y el aceite HD fue más eficaz contra *Penicillium* sp. (0.125 mg/mL), respectivamente.

Por lo general, las propiedades antibacterianas de los aceites esenciales están estrechamente relacionadas con sus componentes más abundantes en ellos. Sin embargo, los estudios que investigan la relación entre la actividad biológica y la composición química de la lavanda no han encontrado ninguna correlación entre el porcentaje de los componentes predominantes y la actividad antimicrobiana. Así, la actividad podría atribuirse a la presencia de componentes menores. Al comparar las muestras de aceite esencial extraídas mediante HDAM y HD no se observaron diferencias notables en cuanto a los compuestos identificados. Sin embargo, las concentraciones de los compuestos variaron mucho con el método de extracción.

Por lo tanto, el aceite esencial de lavanda extraído por diferentes métodos tenía una actividad antimicrobiana diferente, lo que sugiere que la actividad antimicro-

Tabla 2. Monoterpenos encontrados en aceites esenciales

No.	Monoterpeno	Índice de retención	Especie	Referencia
1	α -Tujeno (C ₁₀ H ₁₆)	930	<i>Amomum tsao-ko</i>	[13]
		929	<i>Cinnamomun camphora</i>	[17]
		1011	<i>Fructus forsythiae</i>	[8]
		899	<i>Ferulago angulata</i>	[18]
		925	<i>Cinnamomum longepaniculatum</i>	[19]
2	α -Pinoeno (C ₁₀ H ₁₆)	937	<i>Amomum tsao-ko</i>	[13]
		924	<i>Amorpha fruticosa</i>	[20]
		934	<i>Cinnamomun camphora</i>	[17]
		1023	<i>Fructus forsythiae</i>	[8]
		924	<i>Helichrysum arenarium</i>	[21]
		931	<i>Nigella sativa</i>	[22]
		911	<i>Ferulago angulata</i>	[18]
		940	<i>Rosmarinus officinalis</i>	[12]
		937	<i>Salvia officinalis</i>	[14]
		917	<i>Cinnamomum japonicum</i>	[23]
		937	<i>Cinnamomum longepaniculatum</i>	[19]
3	Camfeno (C ₁₀ H ₁₆)	953	<i>Amomum tsao-ko</i>	[13]
		1058	<i>Fructus forsythiae</i>	[8]
		918	<i>Ferulago angulata</i>	[18]
		943	<i>Nigella sativa</i>	[22]
		1084	<i>Lavandula angustifolia</i>	[11]
		952	<i>Salvia officinalis</i>	[14]
		933	<i>Cinnamomum japonicum</i>	[23]
		952	<i>Cinnamomum longepaniculatum</i>	[19]
4	Sabineno (C ₁₀ H ₁₆)	935	<i>Ferulago angulata</i>	[18]
		1114	<i>Fructus forsythiae</i>	[8]
		975	<i>Helichrysum arenarium</i>	[21]
		964	<i>Nigella sativa</i>	[22]
		969	<i>Amomum tsao-ko</i>	[13]
5	β -Tujeno (C ₁₀ H ₁₆)	1116	<i>Salvia officinalis</i>	[14]
		972	<i>Amomum tsao-ko</i>	[13]
		925	<i>Cinnamomum longepaniculatum</i>	[19]
6	β -Pinoeno (C ₁₀ H ₁₆)	979	<i>Amomum tsao-ko</i>	[13]
		980	<i>Amorpha fruticosa</i>	[20]
		1103	<i>Fructus forsythiae</i>	[8]
		958	<i>Cinnamomun camphora</i>	[17]
		941	<i>Ferulago angulata</i>	[18]
		980	<i>Helichrysum arenarium</i>	[21]
		979	<i>Salvia officinalis</i>	[14]
		961	<i>Nigella sativa</i>	[22]
		974	<i>Cinnamomum japonicum</i>	[23]
		980	<i>Cinnamomum longepaniculatum</i>	[19]
7	β -Mirceno (C ₁₀ H ₁₆)	989	<i>Amomum tsao-ko</i>	[13]
		1158	<i>Fructus forsythiae</i>	[8]
		992	<i>Helichrysum arenarium</i>	[21]
		1178	<i>Lavandula angustifolia</i>	[11]
		975	<i>Cinnamomum longepaniculatum</i>	[19]
8	α -Felandreno (C ₁₀ H ₁₆)	966	<i>Ferulago angulata</i>	[18]
		997	<i>Nigella sativa</i>	[22]
		1003	<i>Cinnamomum japonicum</i>	[23]
	1202	<i>Fructus forsythiae</i>	[8]	
	1006	<i>Amomum tsao-ko</i>	[13]	
	β -Felandreno (C ₁₀ H ₁₆)	984	<i>Ferulago angulata</i>	[18]
		1013	<i>Cinnamomum longepaniculatum</i>	[19]
9	3-Careno (C ₁₀ H ₁₆)	1011	<i>Amomum tsao-ko</i>	[13]
		1007	<i>Amorpha fruticosa</i>	[20]
10	δ -3-Careno (C ₁₀ H ₁₆)	970	<i>Ferulago angulata</i>	[18]
11	β -Ocimeno (C ₁₀ H ₁₆)	998	<i>Ferulago angulata</i>	[18]
		1271	<i>Fructus forsythiae</i>	[8]
		1044	<i>Magnolia sieboldii</i>	[24]
		1044	<i>Cinnamomum japonicum</i>	[23]
		1046	<i>Amomum tsao-ko</i>	[13]

No.	Monoterpeno	Índice de retención	Especie	Referencia		
12	γ- Terpineno (C ₁₀ H ₁₆)	1060	<i>Anomum tsao-ko</i>	[13]		
		1010	<i>Ferulago angulata</i>	[18]		
		1247	<i>Fructus forsythiae</i>	[8]		
		1054	<i>Cinnamomi Cortex</i>	[25]		
		1060	<i>Helichrysum arenarium</i>	[21]		
		1023	<i>Nigella sativa</i>	[22]		
		1062	<i>Magnolia sieboldii.</i>	[24]		
		1061	<i>Salvia officinalis</i>	[14]		
		1060	<i>Vaccinium uliginosum</i>	[26]		
		1064	<i>Cinnamomum japonicum</i>	[23]		
		1054	<i>Cinnamomum longepaniculatum</i>	[19]		
		13	α-Terpineno (C ₁₀ H ₁₆)	1032	<i>Ferulago angulata</i>	[18]
				1087	<i>Anomum tsao-ko</i>	[13]
1080	<i>Cinnamomi cortex</i>			[25]		
1067	<i>Cinnamomun camphora</i>			[17]		
1008	<i>Nigella sativa</i>			[22]		
1178	<i>Fructus forsythiae</i>			[8]		
1017	<i>Salvia officinalis</i>			[14]		
1017	<i>Cinnamomum longepaniculatum</i>			[19]		
14	(-)-Canfeno (C ₁₀ H ₁₆)	951	<i>Cinnamomun camphora</i>	[17]		
15	β -Sabineno (C ₁₀ H ₁₆)	952	<i>Cinnamomun camphora</i>	[17]		
16	α -Mirceno (C ₁₀ H ₁₆)	958	<i>Cinnamomun camphora</i>	[17]		
17	α -Felandreno (C ₁₀ H ₁₆)	966	<i>Ferulago angulata</i>	[18]		
		996	<i>Cinnamomun camphora</i>	[17]		
		998	<i>Cinnamomun camphora</i>	[17]		
18	(+)-2-Careno (C ₁₀ H ₁₆)	998	<i>Cinnamomun camphora</i>	[17]		
19	β-Cimeno (C ₁₀ H ₁₄)	1296	<i>Lavandula angustifolia</i>	[11]		
		1023	<i>Cinnamomun camphora</i>	[17]		
20	β- Felandreno (C ₁₀ H ₁₆)	1213	<i>Fructus forsythiae</i>	[8]		
		1021	<i>Magnolia sieboldii.</i>	[24]		
		1013	<i>Cinnamomum longepaniculatum</i>	[19]		
21	p-Cimeno (C ₁₀ H ₁₄)	978	<i>Ferulago angulata</i>	[18]		
		1025	<i>Nigella sativa</i>	[22]		
		1023	<i>Salvia officinalis</i>	[14]		
		1026	<i>Cinnamomum longepaniculatum</i>	[19]		
22	Ocimeno (C ₁₀ H ₁₆)	1021	<i>Helichrysum arenarium</i>	[21]		
		1021	<i>Cinnamomum japonicum</i>	[23]		
		1044	<i>Cinnamomum longepaniculatum</i>	[19]		
23	Mirceno (C ₁₀ H ₁₆)	952	<i>Ferulago angulata</i>	[18]		
24	Limoneno (C ₁₀ H ₁₆)	1211	<i>Fructus forsythiae</i>	[8]		
		995	<i>Magnolia sieboldii.</i>	[24]		
		1220	<i>Lavandula angustifolia</i>	[11]		
		1032	<i>Salvia officinalis</i>	[14]		
		-	<i>Ocimum Basilicum</i>	[10]		
25	Ocimeno (C ₁₀ H ₁₆)	990	<i>Ferulago angulata</i>	[18]		
		1037	<i>Helichrysum arenarium</i>	[21]		
26	Trans-β-Ocimeno (C ₁₀ H ₁₆)	1032	<i>Cinnamomi cortex</i>	[25]		
		1039	<i>Magnolia sieboldii.</i>	[24]		
		1050	<i>Salvia officinalis</i>	[14]		
		1252	<i>Lavandula angustifolia</i>	[11]		
27	β-Ocimeno (C ₁₀ H ₁₆)	1270	<i>Lavandula angustifolia</i>	[11]		
28	β-Cimeno (C ₁₀ H ₁₄)	1296	<i>Lavandula angustifolia</i>	[11]		
29	Terpinoleno (C ₁₀ H ₁₆)	1308	<i>Lavandula angustifolia</i>	[11]		
		1088	<i>Cinnamomum longepaniculatum</i>	[19]		
30	2,4,6-octatrieno, 2,6-dimetil-, (E, Z)- (C ₁₀ H ₁₆)	1131	<i>Magnolia sieboldii</i>	[24]		
31	1,5,5-trimetil-6-metileno-ciclohexeno (C ₁₀ H ₁₆)	1338	<i>Magnolia sieboldii</i>	[24]		
32	N-decano (C ₁₀ H ₂₂)	1000	<i>Nigella sativa</i>	[22]		
33	(Z)-β-Ocimeno (C ₁₀ H ₁₆)	1038	<i>Salvia officinalis</i>	[14]		

Tabla 3. Sesquiterpenos encontrados en aceites esenciales.

Nº	Sesquiterpeno	Índice de retención	Especie	Referencia
1	γ -Elemeno (C ₁₅ H ₂₄)	1418	<i>Amorpha fruticosa</i>	[20]
		1431	<i>Magnolia sieboldii</i>	[24]
		1436	<i>Pterodon emarginatus</i>	[9]
		1465	<i>Cinnamomum japonicum</i>	[23]
		1347	<i>Ferulago angulata</i>	[18]
2	β -Elemeno (C ₁₅ H ₂₄)	1394	<i>Magnolia sieboldii</i>	[24]
		1391	<i>Helichrysum arenarium</i>	[21]
		-	<i>Ocimum basilicum</i>	[10]
		1441	<i>Cinnamomum japonicum</i>	[23]
		1394	<i>Vaccinium uliginosum</i>	[26]
3	α -Cubebene (C ₁₅ H ₂₄)	1343	<i>Amorpha fruticosa</i>	[20]
4	Ylangene (C ₁₅ H ₂₄)	1364	<i>Amorpha fruticosa</i>	[20]
		1372	<i>Helichrysum arenarium</i>	[21]
		1370	<i>Cinnamomum japonicum</i>	[23]
4	α -Copaeno (C ₁₅ H ₂₄)	1392	<i>Nigella sativa</i>	[22]
		1376	<i>Amorpha fruticosa</i>	[20]
		1376	<i>Pterodon emarginatus</i>	[9]
5	β -Copaeno (C ₁₅ H ₂₄)	1376	<i>Vaccinium uliginosum</i>	[26]
		1376	<i>Cinnamomi Cortex</i>	[25]
		1753	<i>Lavandula angustifolia</i>	[11]
6	β -Cubebeno (C ₁₅ H ₂₄)	1422	<i>Magnolia sieboldii</i>	[24]
		1388	<i>Amorpha fruticosa</i>	[20]
7	α -Gurjuneno (C ₁₅ H ₂₄)	1388	<i>Cinnamomum longepaniculatum</i>	[19]
		1408	<i>Amorpha fruticosa</i>	[20]
8	Cariofileno (C ₁₅ H ₂₄)	1423	<i>Amorpha fruticosa</i>	[20]
		1643	<i>Lavandula angustifolia</i>	[11]
		1423	<i>Cinnamomum longepaniculatum</i>	[19]
		1410	<i>Magnolia sieboldii</i>	[24]
		1417	<i>Helichrysum arenarium</i>	[21]
		1446	<i>Cinnamomum japonicum</i>	[23]
		-	<i>Ocimum basilicum</i>	[10]
		1417	<i>Vaccinium uliginosum</i>	[26]
9	E-Cariofileno (C ₁₅ H ₂₄)	1423	<i>Cinnamomi Cortex</i>	[25]
		1424	<i>Nigella sativa</i>	[22]
10	β -Cariofileno (C ₁₅ H ₂₄)	1494	<i>Pterodon emarginatus</i>	[9]
		1399	<i>Cinnamomum camphora</i>	[17]
11	α -Bergamoteno (C ₁₅ H ₂₄)	1418	<i>Salvia officinalis</i>	[14]
		1433	<i>Amorpha fruticosa</i>	[20]
		1617	<i>Lavandula angustifolia</i>	[11]
12	γ -Gurjuneno (C ₁₅ H ₂₄)	-	<i>Ocimum basilicum</i>	[10]
		1472	<i>Amorpha fruticosa</i>	[20]
		1407	<i>Helichrysum arenarium</i>	[21]
13	Humuleno (C ₁₅ H ₂₄)	1488	<i>Amorpha fruticosa</i>	[20]
		1715	<i>Lavandula angustifolia</i>	[11]
		1452	<i>Cinnamomum longepaniculatum</i>	[19]
		1447	<i>Magnolia sieboldii</i>	[24]
		1454	<i>Pterodon emarginatus</i>	[9]
		1424	<i>Cinnamomum camphora</i>	[17]
		1455	<i>Helichrysum arenarium</i>	[21]
		1453	<i>Salvia officinalis</i>	[14]
14	Biciclosesquifelandreno (C ₁₅ H ₂₄)	1447	<i>Cinnamomi Cortex</i>	[25]
		1498	<i>Amorpha fruticosa</i>	[20]
15	β -Sesquifelandreno (C ₁₅ H ₂₄)	1365	<i>Ferulago angulata</i>	[18]
16	γ -Muroleno (C ₁₅ H ₂₄)	1477	<i>Amorpha fruticosa</i>	[20]
		1457	<i>Magnolia sieboldii</i>	[24]
		1479	<i>Pterodon emarginatus</i>	[9]
17	β -Selineno (C ₁₅ H ₂₄)	1493	<i>Amorpha fruticosa</i>	[20]
		1464	<i>Magnolia sieboldii</i>	[24]
		1484	<i>Helichrysum arenarium</i>	[21]
18	Selineno (C ₁₅ H ₂₄)	1470	<i>Cinnamomum camphora</i>	[17]
		1488	<i>Vaccinium uliginosum</i>	[26]
19	δ -Selineno (C ₁₅ H ₂₄)	1500	<i>Helichrysum arenarium</i>	[21]
20	α -Muroleno (C ₁₅ H ₂₄)	1504	<i>Amorpha fruticosa</i>	[20]
		1472	<i>Magnolia sieboldii</i>	[24]
		1502	<i>Salvia officinalis</i>	[14]
		1504	<i>Vaccinium uliginosum</i>	[26]
		1494	<i>Cinnamomi Cortex</i>	[25]

Nº	Sesquiterpeno	Índice de retención	Especie	Referencia
21	β -Muroloeno (C ₁₅ H ₂₄)	1474	<i>Helichrysum arenarium</i>	[21]
22	γ -Muroloeno (C ₁₅ H ₂₄)	1475	<i>Amomum tsao-ko</i>	[13]
		1478	<i>Salvia officinalis</i>	[14]
23	γ -Cadineno (C ₁₅ H ₂₄)	1524	<i>Amorpha fruticosa</i>	[20]
		1511	<i>Helichrysum arenarium</i>	[21]
		-	<i>Ocimum basilicum</i>	[10]
		1516	<i>Salvia officinalis</i>	[14]
24	δ -Cadineno (C ₁₅ H ₂₄)	1528	<i>Amorpha fruticosa</i>	[20]
		1519	<i>Cinnamomum longepaniculatum</i>	[19]
		1484	<i>Magnolia sieboldii</i>	[24]
		1522	<i>Helichrysum arenarium</i>	[21]
		1522	<i>Cinnamomum japonicum</i>	[23]
		1498	<i>Amomum tsao-ko</i>	[13]
		1525	<i>Salvia officinalis</i>	[14]
		1519	<i>Vaccinium uliginosum</i>	[26]
		1503	<i>Cinnamomi Cortex</i>	[25]
		25	α -Calacoreno (C ₁₅ H ₂₄)	1536
1528	<i>Helichrysum arenarium</i>			[21]
1542	<i>Cinnamomi Cortex</i>			[25]
26	α -Santaleno (C ₁₅ H ₂₄)	1608	<i>Lavandula angustifolia</i>	[11]
27	α -Farneseno (C ₁₅ H ₂₄)	1487	<i>Magnolia sieboldii</i>	[24]
		1545	<i>Vaccinium uliginosum</i>	[26]
28	Cis- β -Farneseno (C ₁₅ H ₂₄)	1685	<i>Lavandula angustifolia</i>	[11]
29	β -Farneseno (C ₁₅ H ₂₄)	1459	<i>Helichrysum arenarium</i>	[21]
		-	<i>Ocimum basilicum</i>	[10]
30	Aloaromandrendeno (C ₁₅ H ₂₄)	1459	<i>Cinnamomum longepaniculatum</i>	[19]
		1454	<i>Magnolia sieboldii</i>	[24]
		1469	<i>Pterodon emarginatus</i>	[9]
		1459	<i>Salvia officinalis</i>	[14]
31	Aromandrendeno (C ₁₅ H ₂₄)	1436	<i>Helichrysum arenarium</i>	[21]
		1449	<i>Cinnamomum japonicum</i>	[23]
		1440	<i>Vaccinium uliginosum</i>	[26]
32	D-Germacreno (C ₁₅ H ₂₄)	1480	<i>Cinnamomum longepaniculatum</i>	[19]
		1442	<i>Magnolia sieboldii</i>	[24]
		1461	<i>Cinnamomum camphora</i>	[17]
		-	<i>Ocimum basilicum</i>	[10]
		1339	<i>Ferulago angulata</i>	[18]
33	β -Germacrene (C ₁₅ H ₂₄)	1535	<i>Cinnamomum camphora</i>	[17]
34	Biciclogermacreno (C ₁₅ H ₂₄)	1496	<i>Cinnamomum longepaniculatum</i>	[19]
		1492	<i>Helichrysum arenarium</i>	[21]
35	α -Guaieno (C ₁₅ H ₂₄)	1439	<i>Magnolia sieboldii</i>	[24]
		-	<i>Ocimum basilicum</i>	[10]
36	β -Bisaboleno (C ₁₅ H ₂₄)	1478	<i>Magnolia sieboldii</i>	[24]
		1506	<i>Vaccinium uliginosum</i>	[26]
		1499	<i>Cinnamomi Cortex</i>	[25]
		1500	<i>Nigella sativa</i>	[22]
37	trans- α -Bisabolol (C ₁₅ H ₂₄)	1531	<i>Pterodon emarginatus</i>	[9]
38	cis-Sesquisabineno	1523	<i>Pterodon emarginatus</i>	[9]
39	γ -Malieno (C ₁₅ H ₂₄)	1435	<i>Helichrysum arenarium</i>	[21]
40	α -Bulneseno (C ₁₅ H ₂₄)	1672	<i>Cinnamomum japonicum</i>	[23]
		-	<i>Ocimum basilicum</i>	[10]
41	Viridifloreno (C ₁₅ H ₂₄)	1495	<i>Salvia officinalis</i>	[14]
42	Curcumeno (C ₁₅ H ₂₂)	1481	<i>Vaccinium uliginosum</i>	[26]
43	α -Curcumeno (C ₁₅ H ₂₂)	1479	<i>Cinnamomi Cortex</i>	[25]
44	Calameneno (C ₁₅ H ₂₂)	1521	<i>Vaccinium uliginosum</i>	[26]
45	Sativen (C ₁₅ H ₂₄)	1396	<i>Cinnamomi Cortex</i>	[25]
46	α -Cedreno (C ₁₅ H ₂₄)	1408	<i>Cinnamomi Cortex</i>	[25]
47	Eremofileno (C ₁₅ H ₂₄)	1486	<i>Cinnamomi Cortex</i>	[25]
48	Cadaleno (C ₁₅ H ₁₈)	1652	<i>Cinnamomi Cortex</i>	[25]
49	α -Longipineno (C ₁₅ H ₂₄)	1353	<i>Nigella sativa</i>	[22]
50	Longifoleno (C ₁₅ H ₂₄)	1432	<i>Nigella sativa</i>	[22]

crobiana no es el resultado de estos compuestos, sino que también puede estar relacionada con las concentraciones de éstos. Además, también se especuló que un efecto sinérgico entre los componentes mayores y menores del aceite esencial contribuyó a la actividad antibacteriana. Estos resultados demostraron que el aceite esencial de lavanda producido por HDAM era relativamente más activo que el aceite HD. Por lo tanto, la HDAM podría ser un buen método alternativo para extraer el aceite esencial para el experimento antimicrobiano [11].

Por otra parte, Cui et al. [13] reportan las actividades antimicrobianas de los AE de *Amomun tsao-ko* contra cinco bacterias gram-positivas y dos gram-negativas. Estas se llevaron a cabo mediante la evaluación de los valores de las CMI y las concentraciones bactericidas mínimas (CBM). Por un lado, los AE de *Amomun tsao-ko* obtenidos por extracción por microondas libre de solventes modificado (EMLSM), poseían un amplio espectro de actividad contra todas las cepas probadas. Por otro lado, entre las cepas ensayadas, los valores de CMI y CBM de *S. epidermidis*, *P. acnes*, *P. aeruginosa* y *C. albicans* oscilaban entre 2.94 mg/ml y 5.86 mg/ml y entre 5.86 mg/ml y 11.73 mg/ml, respectivamente. La actividad antimicrobiana de los AE estaba relacionada con su composición, los grupos funcionales, la naturaleza de las estructuras químicas y sus proporciones. Los componentes químicos de los AE de *Amomun tsao-ko* mostraron que el 1,8-cineol, el α -felandreno, el geraniol, el geranial, el α -terpineol y el β -pineno, eran los componentes principales. El componente α -felandreno y el geranial mostraron un buen efecto inhibidor contra varias bacterias. Se ha descubierto que el geraniol, un terpeno olefínico, inhibe el crecimiento de las cepas de *C. albicans* y *S. cerevisiae*. El predominio del β -pineno y el α -pineno en los AE y su eficacia contra las bacterias gram-positivas y los hongos también se han notificado en otros estudios. Por lo tanto, fue precisamente el alto contenido de monoterpenos oxigenados en los AE de *Amomun tsao-ko* extraídos por EMLSM lo que generó la mayor actividad antimicrobiana.

A su vez Wei et al. [14] evaluaron las actividades antimicrobianas de los aceites esenciales obtenidos por HD, extracción por microondas libre de solventes (EMLS) y EMLS de doble refrigeración. En general, es-

tos aceites esenciales mostraron un amplio espectro de actividad contra los microorganismos probados, y fueron más eficaces contra las bacterias gram-positivas, especialmente, *B. subtilis* y *S. epidermidis*. Esta discrepancia puede atribuirse a las diferencias en las membranas celulares de las cepas bacterianas. Curiosamente, los aceites esenciales obtenidos por EMLS y EMLS de doble refrigeración fueron más activos contra *B. subtilis* y *S. epidermidis* que los obtenidos por HD. Varios estudios han demostrado el potencial antimicrobiano del aceite esencial de *Salvia officinalis*. Delamare et al. [15] atribuyeron su propiedad antimicrobiana a la presencia de tres monoterpenos oxigenados principales (1,8-cineol, tuyona y alcanfor) que abundaban en los aceites esenciales obtenidos por EMLS y EMLS de doble refrigeración. Sin embargo, también es razonable creer que, debido a la complejidad del aceite esencial, es difícil atribuir su efecto antimicrobiano total a uno o unos pocos principios.

Muchos estudios han demostrado que los aceites esenciales mostraron actividades antimicrobianas más pronunciadas que sus componentes principales y los efectos sinérgicos de diferentes componentes en el aceite esencial fueron bien observados. Además, aparte de esos componentes principales, el β -cariofileno, el borneol y el α -pineno, así como otros constituyentes menores que abundaban en el aceite esencial obtenido por HD, también tenían una excelente actividad antimicrobiana [16]. Por lo tanto, era más posible que las actividades más pronunciadas de los aceites esenciales de *Salvia officinalis* obtenidos por EMLS y EMLS de doble refrigeración correspondieran a mejores efectos sinérgicos, aunque fueran más ricos en 1,8-cineol, tuyona y alcanfor.

Conclusión

La mayoría de las especies de plantas estudiadas reflejan la presencia de terpenos de los cuales usualmente más del 50% son sesquiterpenos. Los compuestos más encontrados dentro de los aceites esenciales analizados y clasificados son el α pineno como monoterpeno y el cariofileno como sesquiterpeno.

Es necesario explorar más a fondo la relación entre la composición química y la actividad antimicrobiana de los aceites esenciales, para explicar claramente su actividad.

Referencias

1. Masango P. Cleaner production of essential oils by steam distillation. *J Clean Prod.* 2005;13(8):833-839. doi:10.1016/j.jclepro.2004.02.039
2. Masyita A, Mustika Sari R, Dwi Astuti A, et al. Terpenes and terpenoids as main bioactive compounds of essential oils, their roles in human health and potential application as natural food preservatives. *Food Chem X.* 2022;13. doi:10.1016/j.fochx.2022.100217
3. Zhao DD, Jiang LL, Li HY, Yan PF, Zhang YL. Chemical components and pharmacological activities of terpene natural products from the genus paeonia. *Molecules.* 2016;21(10). doi:10.3390/molecules21101362
4. Álvarez-Martínez FJ, Barrajon-Catalán E, Herranz-López M, Micol V. Antibacterial plant compounds, extracts and essential oils: An updated review on their effects and putative mechanisms of action. *Phytomedicine.* 2021;90. doi:10.1016/j.phymed.2021.153626
5. Gallucci MN, Oliva M, Casero C, et al. Antimicrobial combined action of terpenes against the food-borne microorganisms *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* and *Bacillus cereus*. *Flavour Fragr J.* 2009;24:348-354. doi:10.1002/ffj
6. Conde-Hernández LA, Botello-Ojeda AG, Alonso-Calderón AA, Osorio-Lama MA, Bernabé-Loranca MB, Chavez-Bravo E. optimization of extraction of essential oils using response surface methodology: a review. *Journal of Essential Oil-Bearing Plants.* 2021;24(5):937-982. doi:10.1080/0972060X.2021.1976286
7. Falleh H, ben Jemaa M, Saada M, Ksouri R. Essential oils: A promising eco-friendly food preservative. *Food Chem.* 2020;330. doi:10.1016/j.foodchem.2020.127268
8. Jiao J, Gai QY, Fu YJ, et al. 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
9. Vila Verde GM, Barros DA, Oliveira MS, et al. A Green Protocol for microwave-assisted extraction of volatile oil terpenes from *Pterodon emarginatus* Vogel. (Fabaceae). *Molecules.* 2018;23(3). doi:10.3390/molecules23030651
10. Tran TH, Nguyen HHH, Nguyen DC, et al. Optimization of microwave-assisted extraction of essential oil from Vietnamese basil (*Ocimum basilicum* L.) using response surface methodology. *Processes.* 2018;6(11). doi:10.3390/pr6110206
11. 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
12. 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
13. Cui Q, Wang LT, Liu JZ, et al. Rapid extraction of *Amomum tsaoko* essential oil and determination of its chemical composition, antioxidant and antimicrobial activities. *J Chromatogr B Analyt Technol Biomed Life Sci.* 2017;1061-1062:364-371. doi:10.1016/j.jchromb.2017.08.001
14. Wei ZF, Zhao RN, Dong LJ, et al. 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
15. Longaray Delamare AP, Moschen-Pistorello IT, Artico L, Atti-Serafini L, Echeverrigaray S. Antibacterial activity of the essential oils of *Salvia officinalis* L. and *Salvia triloba* L. cultivated in South Brazil. *Food Chem.* 2007;100(2):603-608. doi:10.1016/j.foodchem.2005.09.078
16. Dahham SS, Tabana YM, Iqbal MA, et al. The anticancer, antioxidant and antimicrobial properties of the sesquiterpene β -caryophyllene from the essential oil of *Aquilaria crassna*. *Molecules.* 2015;20(7):11808-11829. doi:10.3390/molecules200711808
17. 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

18. Mollaei S, Sedighi F, Habibi B, Hazrati S, Asgharian P. Extraction of essential oils of *Ferulago angulata* with microwave-assisted hydrodistillation. *Ind Crops Prod.* 2019;137:43-51. doi:10.1016/j.indcrop.2019.05.015
19. Chen F, Xu M, Yang X, Liu J, Xiao Y, Yang L. An improved approach for the isolation of essential oil from the leaves of *Cinnamomum longepaniculatum* using microwave-assisted hydrodistillation concatenated double-column liquid-liquid extraction. *Sep Purif Technol.* 2018;195:110-120. doi:10.1016/j.seppur.2017.12.013
20. 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
21. 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
22. Abedi AS, Rismanchi M, Shahdoostkhany M, Mohammadi A, Mortazavian AM. 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
23. 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. *Arabian Journal of Chemistry.* 2020;13(1):2041-2052. doi:10.1016/j.arab-jc.2018.03.002
24. 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
25. 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
26. 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