

ACEITES ESENCIALES DE ORIGEN NATURAL:

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS

TÉCNICAS DE EXTRACCIÓN

POTENCIAL APLICACIÓN BIOLÓGICA

/// BÁRBARA J. GONZÁLEZ-MORENO¹, ANDRÉS M. PIÑA BARRERA², LUIS A. PÉREZ LÓPEZ¹, SERGIO A. GALINDO-RODRÍGUEZ³, ROCÍO ÁLVAREZ-ROMAN¹.



RESUMEN

Los aceites esenciales son una mezcla compleja de más de 100 componentes, cuya función es crucial en la supervivencia de las plantas, ya que, por un lado, atraen a determinados insectos que participan en su polinización y, por el otro lado, debido a su olor, ahuyentan a otros animales depredadores. Gracias a su variedad química, se les han atribuido un gran número de actividades biológicas que han sido aprovechadas en la industria cosmética, alimentaria y farmacéutica. El presente trabajo aborda los aceites esenciales como productos naturales bioactivos, las técnicas más comunes para su extracción y sus principales aplicaciones en el área biológica.

INTRODUCCIÓN

¿QUÉ SON LOS ACEITES ESENCIALES Y CÓMO HA SIDO SU USO EN LA HISTORIA DEL HOMBRE?

Los aceites esenciales (AE's) son líquidos aceitosos que presentan un aroma característico que es percibido fácilmente por el sentido del olfato. Estos son producidos en pequeñas cantidades, en determinadas partes de las plantas, tales como flores, tallos, raíces, hojas, frutos y semillas (Figura 1) (Reyes-Jurado *et al.*, 2016; Argote-Vega *et al.*, 2017). Adicionalmente, la FDA (Food & Drug Administration, agencia de los Estados Unidos de América) considera a los AE's, como sustancias del tipo Generalmente Reconocido Como Seguro (GRAS, por sus siglas en inglés: *Generally Recognized As Safe*) que pueden ser adicionado a productos cosméticos, farmacéuticos y alimentarios (Farrar y Farrar, 2020).



Palabras clave: aceite esencial, extracción, actividad biológica, antimicrobiano, antioxidante.

¹ Depto. de Química Analítica, Facultad de Medicina, Universidad Autónoma de Nuevo León, CP 64460, Monterrey, Nuevo León, México.

² Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad de Montemorelos, CP 67515, Montemorelos, Nuevo León, México.

³ Laboratorio de Nanotecnología, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León, CP 66451, San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México.



Figura 1. Aceites esenciales obtenidos de diferentes plantas como: (A) *Lavandula dentata*; (B) *Thymus vulgaris*; (C) *Oreganum vulgare*; (D) *Laurus nobilis*. (Adaptado del sitio electrónico de Botanicals: <https://www.botanicals.es/6-aceites>)

Los AE's han sido utilizados durante siglos por muchas culturas en todo el mundo para diferentes propósitos, según cada cultura (Watabane *et al.*, 2015). Los antiguos egipcios han utilizado los AE's desde el 4500 a.C. en cosméticos y ungüentos (Figura 2A). Solían hacer una mezcla de diferentes fuentes de preparaciones a base de hierbas como anís, cedro, mirra y uvas en perfumes o medicinas.

Por otro lado, el uso de AE's se registró por primera vez en la medicina tradicional china e india entre el 3000 y el 2000 a.C. En particular, en la historia registrada sobre China e India, se enumeró más de 700 sustancias, entre las que se incluyen canela, jengibre, mirra y sándalo (Figura 2B). Además, la historia griega documentó el uso de diferentes AE's por primera vez entre el 500 y el 400 a.C., incluidos el tomillo, el azafrán, la mejorana, el comino y la menta (Figura 2C) (Baser y Buchbauer, 2010; Pauli y Schilche, 2009). En los siglos XVIII y XIX, los químicos documentaron los componentes activos de las plantas medicinales e identificaron muchas sustancias que desempeñaban un papel importante en sus efectos biológicos (Ali *et al.*, 2015).

PRODUCCIÓN DE LOS ACEITES ESENCIALES EN LAS PLANTAS

Los AE's constituyen la clase más grande de metabolitos secundarios o especializados de las plantas. Desempeñan papeles ecológicos cruciales como atrayentes polinizadores, ya que atraen a determinados insectos que ayudan a la fertilización de las plantas con su desplazamiento de una flor a otra. También, los AE's son agentes defensivos, con su olor, ayudan a protegerse de los depredadores, al disuadir la aproximación de insectos y otros animales (Requejo, 2020), así mismo, los AE's tienen importantes funciones fisiológicas como hormonas vegetales y pigmentos fotosintéticos (Tetali, 2018). Además, los AE's suelen ser producidos y liberados por algunas plantas, para actuar como agentes antifúngicos y antibacterianos contra una amplia gama de organismos que pueden poner en peligro su supervivencia (Requejo, 2020).

Los AE's son producidos por diversas estructuras diferenciadas que se encuentran en uno o más órganos de la planta y se localizan en el citoplasma de células vegetales tales como: tricomas secretores, células epidérmicas, células secretoras basales y las bolsas o cavidades de almacenamiento (Arumugan *et al.*, 2016) (Figura 3).

COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS ACEITES ESENCIALES

La composición química de los AE's depende de diferentes factores como la fisiología de la planta, las características climáticas o, incluso, las condiciones del suelo donde crece la planta. Según esto, dentro de una misma especie vegetal, o incluso en sus diferentes órganos, la composición química puede



Figura 2. Uso de los aceites esenciales obtenidos a partir de las plantas por diferentes culturas a través de la historia; (A) cultura egipcia; (B) cultura china e india; (C) cultura griega. (Adaptado del sitio electrónico de la Biblioteca Histórica Marqués de Valdecilla: <https://biblioteca.ucm.es/historica/materia-medicalina> y del Museo Nacional de Historia Natural, Chile: https://publicaciones.mnhn.gob.cl/668/articulos-87521_archivo_01.pdf)

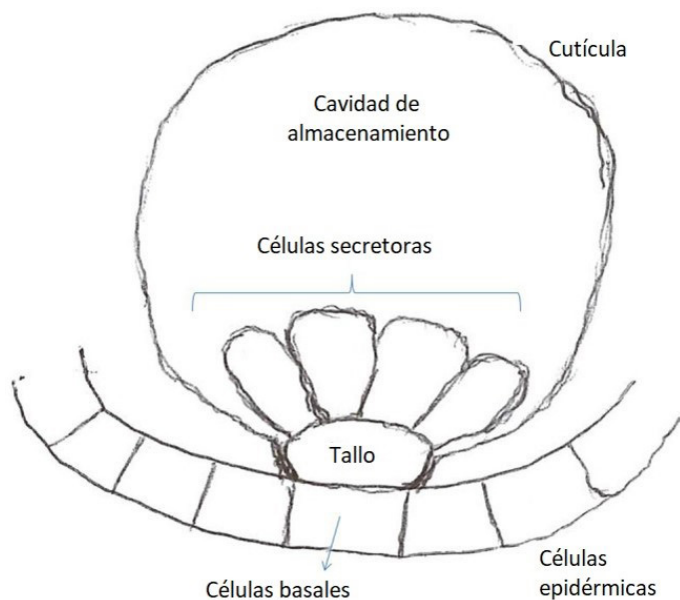


Figura 3. Representación esquemática del tricoma secretor encontrado en plantas productoras de aceites esenciales. (Adaptado de *Frontiers Plant Science*, 19 Jul 2021; <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.699157>).

variar, además también puede verse influenciada por la salud de la planta o el momento de la cosecha. También se ha observado que, los componentes que presentan una relación estructural dentro del mismo grupo químico, suelen convertirse sin dificultad entre sí mediante procesos químicos específicos (Alonso-Gato *et al.*, 2021).

Los AE's son una mezcla compleja de más de 100 componentes, producto del metabolismo secundario de las plantas, cuya composición se encuentran los terpenos y terpenoides. Estos componentes, a su vez contienen diferentes grupos de hidrocarburos, ácidos, alcoholes, aldehídos, ésteres, éteres y cetonas que les confieren características físicas específicas (Zhang y Lu, 2017).

Así, los terpenos representan el grupo más diverso de compuestos volátiles, los cuales se clasifican de acuerdo con el número de carbonos en su cadena, incluidos hemiterpenos (C5), monoterpenos (C10) (Figura 4), sesquiterpenos (C15), homoterpenos (C11 y C16), algunos diterpenos (C20) y triterpenos (C30), también están los compuestos de azufre orgánicos volátiles como el dimetilsulfuro y el metanotiol (Vivaldo *et al.*, 2017). Por otro lado, los terpenoides, llamados también isoprenoides, son una amplia familia de compuestos naturales derivados del isopreno (Bergman *et al.*, 2019). Estos compuestos son el resultado de la modificación química (oxidación o reorganización del esqueleto hidrocarbonado) de los terpenos. Aproximadamente el 60% de los productos naturales conocidos son terpenoides (Zhang y Lu, 2017).

Los AE's tienen presente en su composición química diferentes terpenoides, los cuales contienen dos unidades de isopreno (lineales o cíclicas). Un ejemplo de estos, son el mirceno, mentol, limoneno o linalol (Figura 4). Otros componentes importantes de los AE's son los sesquiterpenos (Figura 5), que constan de tres unidades de isopreno (C15) (Leyva-López *et al.*, 2017).

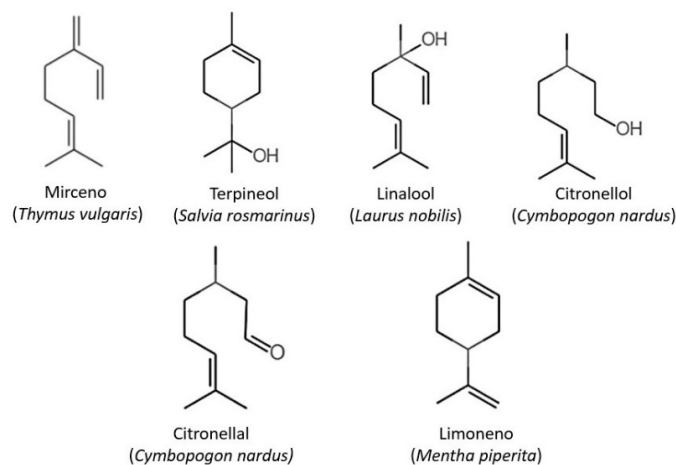


Figura 4. Estructura química de algunos monoterpenos encontrados en las plantas.

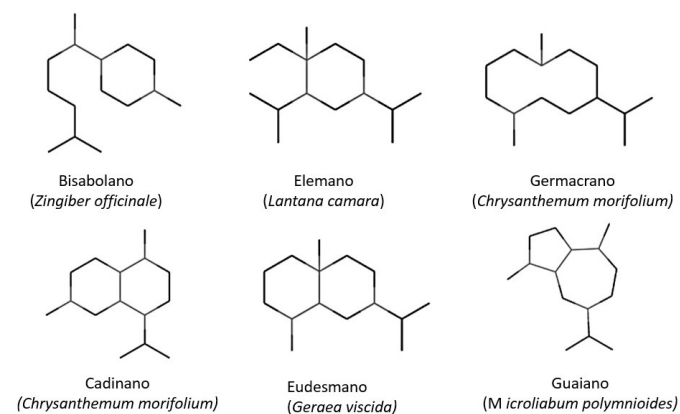


Figura 5. Estructura química de algunos sesquiterpenos encontrados en las plantas.

OBTENCIÓN DE LOS ACEITES ESENCIALES

Para la obtención de los AE's, se ha empleado diversas técnicas de extracción convencional (Figura 6 A-C) tales como: hidrodestilación, hidrodifusión y extracción con disolventes, así como técnicas modernas (Figura 6 D-F): extracción con fluido supercrítico, con líquido subcrítico y por microondas sin disolventes. Las técnicas modernas se consideran las técnicas de extracción más prometedoras debido al bajo consumo de energía, menor tiempo de extracción, bajo uso de solventes y menor emisión de dióxido de carbono al medio ambiente (Justyna *et al.*, 2017). A continuación, se mencionarán las principales características de cada técnica de extracción:

EXTRACCIÓN CONVENCIONAL:

HIDRODESTILACIÓN

Este método es el más simple y antiguo que se utiliza para la extracción del aceite esencial (AE). En esta técnica, el material vegetal se sumerge directamente en

el agua del interior de un matraz y se lleva a ebullición (Waseem *et al.*, 2015). El dispositivo de extracción incluye una fuente de calentamiento, un condensador y un decantador para recoger el condensado y separar el AE del agua, respectivamente (Jurevičiūtė *et al.*, 2019). A escala industrial, este método todavía se utiliza debido a la simplicidad de las instalaciones (no requiere equipos costosos), facilidad de implementación del método y selectividad (Teixeira *et al.*, 2019).

HIDRODESTILACIÓN DE VAPOR

La extracción se realiza dentro de un matraz con calentamiento, que tiene un sistema de placa perforada o rejilla que mantiene la planta suspendida sobre la base del destilador, el cual contiene agua que evita su contacto directo (Teixeira *et al.*, 2019). La extracción se realiza mediante la inyección de vapores de agua, que atraviesan la materia vegetal de abajo hacia arriba y transportan los materiales volátiles. Con esta técnica, se reduce el tiempo de extracción así como la pérdida de compuestos polares (Gavahian *et al.*, 2020).

EXTRACCIÓN CON DISOLVENTE ORGÁNICO

En esta técnica, el material vegetal se macera en un disolvente orgánico como metanol; después, el extracto se concentra eliminando el disolvente a presión reducida. Esta técnica evita alteraciones y artefactos químicos por extracción en frío frente a la hidrodestilación. Sin embargo, los AE's podrían contener residuos que limitarían su aplicación en alimentos y medicamentos. Esta desventaja, podría evitarse mediante el uso de una tecnología combinada de disolvente orgánico con un punto de ebullición bajo (por ejemplo, n-pentano) y un proceso de destilación al vapor (Ghahramanloo *et al.*, 2017).

EXTRACCIÓN CON TÉCNICAS MODERNAS:

EXTRACCIÓN CON FLUIDO SUPERCRÍTICO

Se ha utilizado la extracción con fluido supercrítico para la extracción de varios AE's. El dióxido de carbono (CO₂) es generalmente el disolvente más utilizado para la extracción del AE, (Mahdi *et al.*, 2014) debido a que es químicamente inerte, su punto crítico se alcanza fácilmente (presión crítica baja: 72.9 atm, y temperatura: 31.2°C) es no tóxico, no inflamable (McHugh *et al.*, 2013), con alta pureza a un costo relativamente bajo y es no agresivo para las moléculas termolábiles del AE y de fácil eliminación de sus trazas (Justyna *et al.*, 2017).

El único obstáculo para el desarrollo de esta técnica es el alto costo de los equipos, sus instalaciones y sus operaciones de mantenimiento. Los AE's obtenidos con esta técnica demostraron ser de calidad superior, con mejores actividades funcionales y biológicas (Capuzzo *et al.*, 2013; Yahya *et al.*, 2018) en comparación con los AE's producidos por hidrodestilación o con disolventes (Lucinewton *et al.*, 2013). Además, algunos estudios mostraron mejores propiedades antibacterianas y antifúngicas para el producto supercrítico (Li *et al.*, 2021; Herrero *et al.*, 2015)

EXTRACCIÓN DE LÍQUIDO SUBCRÍTICO

Algunos trabajos de investigación, ilustraron el uso de agua en su estado subcrítico para la extracción de los AE's. El estado subcrítico se alcanza cuando la presión es más alta que la presión crítica (Pc), pero la temperatura es más baja que la temperatura crítica (Tc), o viceversa (Cheng *et al.*, 2021). En este estado, el agua y el CO₂ son los fluidos más utilizados para la extracción de los AE's. Los fluidos obtenidos tienen propiedades muy interesantes: baja viscosidad, densidad cercana a la de los líquidos y difusividad entre la del gas y los líquidos (Kapalavavi *et al.*, 2021). Esta técnica permite una extracción rápida y el uso de bajas temperaturas de trabajo. Esto evita la pérdida y degradación de compuestos volátiles y termolábiles (Zhao *et al.*, 2019). Los aspectos positivos adicionales del uso de la extracción de líquido subcrítico son su simplicidad, bajo costo e impacto ambiental favorable. Se generan pequeños residuos con gran eficiencia y calidad del AE (Gu *et al.*, 2017).

EXTRACCIÓN POR MICROONDAS SIN DISOLVENTES

Esta técnica, consiste en la destilación en seco de una planta fresca con microondas a presión atmosférica sin agregar agua ni ningún disolvente orgánico (Filly *et al.*, 2014). El calentamiento selectivo del contenido de agua *in situ* del material vegetal hace que los tejidos se hinchen y "exploten" las glándulas y los receptáculos oleíferos. Así, este proceso libera el AE, que se evapora espontáneamente con el agua presente en el material vegetal (Li *et al.*, 2013; Boukhatem *et al.*, 2020). Esta técnica permite el aislamiento y concentración de compuestos volátiles en solo 30 min, mientras que, la hidrodestilación convencional requiere hasta 2 h. Arafat y cols. (2020) demostraron que el método de extracción por microondas sin disolvente asistido por vacío es beneficioso para la extracción del AE de la cáscara de lima dulce, el cual tuvo un alto rendimiento en la extracción.

APLICACIÓN BIOLÓGICA DE LOS ACEITES ESENCIALES

ACEITES ESENCIALES CON ACTIVIDAD ANTIMICROBIANA

El uso de los AE's de origen natural ha demostrado varios beneficios para la salud, incluidos efectos sobre enfermedades infecciosas, crónicas y agudas.

ACEITES ESENCIALES CON ACTIVIDAD ANTIBACTERIANA

Los AE's como metabolitos secundarios de origen natural, desempeñan un papel importante frente a bacterias potencialmente patógenas, ya que muchas de ellas han presentado resistencia bacteriana ante productos tradicionales (Sharifi-Rad *et al.*, 2017). Debido a que los AE's contienen una amplia gama de compuestos, es posible que su acción implique diferentes objetivos en la célula bacteriana. En general, se menciona que los AE's provocan alteración en la estructura de las membranas, modificando su permeabilidad y por tanto sus funciones celulares (Langeveld *et al.*, 2014).

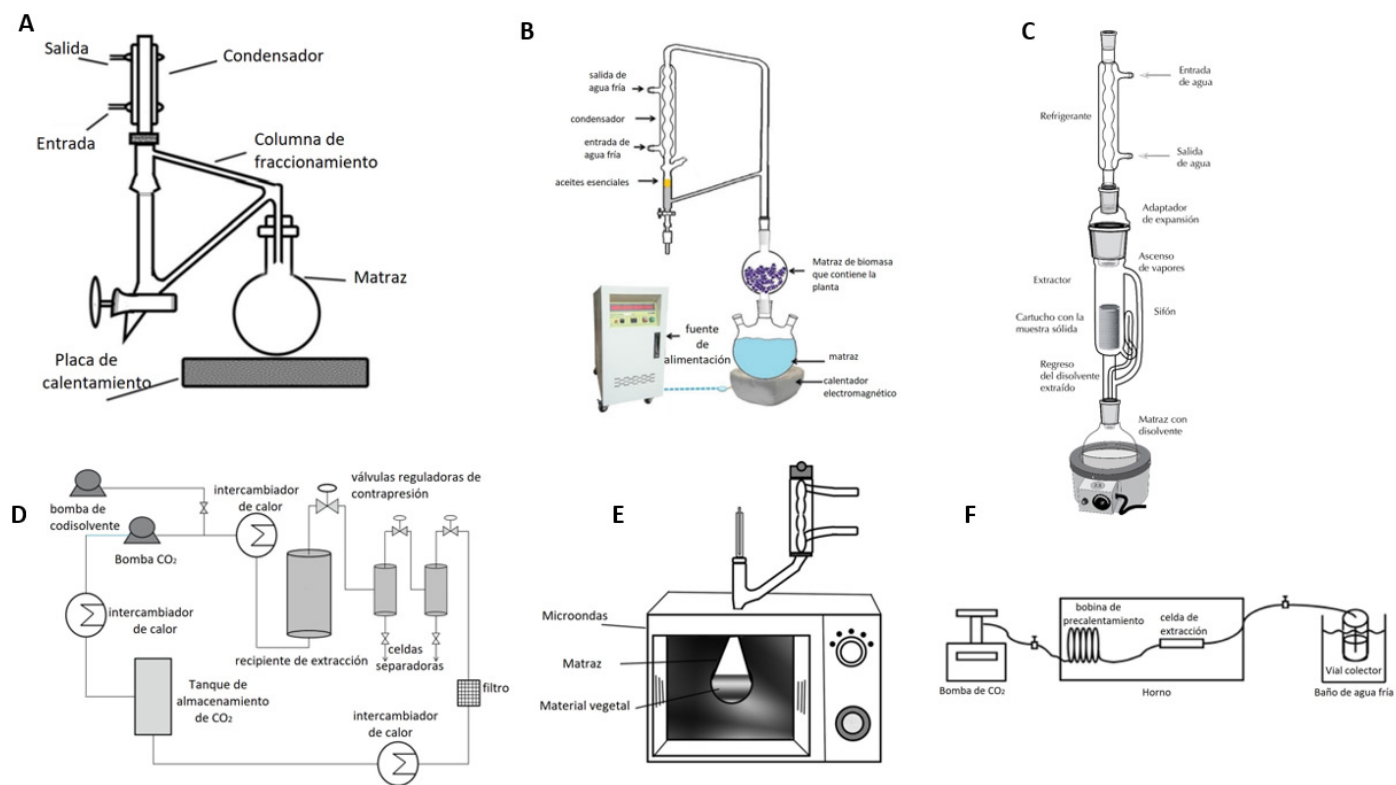


Figura 6. Representaciones esquemáticas de la extracción de AE con técnicas convencionales; (A) Hidrodestilación, (B) Hidrodestilación de vapor, (C) Extracción con solventes y con técnicas modernas; (D) Extracción con fluido supercrítico, (E) Extracción por microondas sin solventes (F) Extracción de líquido subcrítico. (Adaptado de: Journal of Separation Science, Feb 2015; <http://doi:10.1002/jssc.201400724>; Advances in Food and Nutrition Research, 2020; <http://doi:10.1016/bs.afnr.2019.09.001>; Journal of Chromatography A, 2012 <http://doi:10.1016/j.chroma.2012.04.051>; Journal of Separation Science, 2015 <http://doi:10.1002/jssc.201400724>; Molecules, 2021 <http://doi:10.3390/molecules2613400>).

Se ha informado que los AE's que contienen compuestos fenólicos como carvacrol, eugenol o timol, presentan una mayor actividad antibacteriana (Adame-Gallegos *et al.*, 2016; Hernández *et al.*, 2017). En la Tabla 1, se muestran diferentes plantas que presentan AE's con propiedades antibacterianas.

ACEITES ESENCIALES CON ACTIVIDAD ANTIFÚNGICA

Se ha informado que numerosos AE's de origen natural y sus constituyentes individuales, inhiben los hongos *in vitro* e *in vivo* (Arraiza *et al.*, 2018). A ciencia cierta, se desconoce el mecanismo de acción involucrado, sin embargo, se menciona que, los AE's tienen la capacidad de alterar la integridad de las membranas y paredes celulares de los hongos, disolviendo algunos de sus componentes estructurales (Langeveld *et al.*, 2014).

Varios investigadores informaron que algunos AE's se pueden utilizar potencialmente para controlar algunos hongos patógenos graves como *Botrytis cinerea*, *Aspergillus spp.*, *Fusarium spp.*, *Penicillium spp.* y *Colletotrichum gloeosporioides* (Nazzaro *et al.*, 2017). Por otro lado, Elshafie y col. (2016) reportaron que los AE's obtenidos de *Thymus vulgaris* y *Valeriana officinalis* fueron eficaces para el control de la infección por pudrición parda en frutos de durazno causada por *Monilinia laxa*, *Monilinia fructicola* y *Monilinia fructigena*.

Así mismo, Velázquez-Dávila y cols. (2017) evaluaron la actividad antifúngica del aceite esencial del tomillo

(*Thymus vulgaris*) contra cuatro hongos que crecen en la piel humana: *Microsporum canis*, *Microsporum gypseum*, *Trichophyton mentagrophytes* y *Trichophyton rubrum* y determinaron que el AE inhibió totalmente el crecimiento de los cuatro dermatofitos.

En la tabla 2, se muestran diferentes plantas que presentan AE con propiedades antifúngicas.

ACEITES ESENCIALES CON ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE

El potencial antioxidante de los AE's ha sido atribuido a la presencia de compuestos fenólicos (i.e., timol y carvacrol), alcoholes (linalol), cetonas (isomentona, mentona), aldehídos (geranial, citronelal) y monoterpenos (α -terpineno, β -terpineno y α -terpinoleno), los cuales presentan propiedades de óxido-reducción, es decir intervienen en la neutralización de radicales libres y descomposición de peróxidos (Leyva-López *et al.*, 2016).

Cabe mencionar que, la importante capacidad de los AE's de eliminar los radicales libres, podría prevenir algunas enfermedades, como disfunción cerebral, enfermedades cardíacas, deterioro del sistema inmunológico y cáncer (Siti *et al.*, 2015; Gupta *et al.*, 2014). Recientemente, se demostró la buena capacidad antioxidante de los AE's de romero y lavanda (Figura 7) como una alternativa para reducir los daños en la piel, provocados por radicales libres generados por los rayos UV (Silva-Flores, 2019). De igual forma, Espinosa Carranza puso en evidencia que el carvacrol, principal

componente del tomillo y el orégano, presentaba un elevado poder antioxidante representando un potencial como agente dermoprotector (Espinosa Carranza, 2021). También, los AE's de canela, nuez moscada, clavo, albahaca y perejil se caracterizan por tener propiedades antioxidantes importantes.

ACEITES ESENCIALES CON ACTIVIDAD ANTIINFLAMATORIA

La inflamación es una respuesta protectora normal inducida por una lesión o infección tisular y funciona para combatir los invasores en el cuerpo (microorganismos y células no propias) y eliminar las células huésped muertas o dañadas. La respuesta inflamatoria estimula la actividad de varias enzimas (i.e., oxigenasas, óxido nítrico sintasas, peroxidasas) así como el metabolismo del ácido araquidónico (Silva *et al.*, 2015). Recientemente, los AE's se han utilizado en entornos clínicos para tratar enfermedades inflamatorias, como el reumatismo, las alergias o la artritis. Se ha reportado que el AE del árbol del té (*Zataria multiflora* Boiss), tiene una actividad antiinflamatoria considerable atribuida a la presencia del α -terpineol. Se menciona que este compuesto inhibe la liberación de histamina o reduce la producción de mediadores de inflamación. También, la actividad antiinflamatoria de los AE's se atribuye a posibles interacciones con cascadas de señalización que involucran citocinas y factores de transcripción reguladores (Sharififar *et al.*, 2012).

ACEITES ESENCIALES CON ACTIVIDAD ANTICANCERÍGENA

Es bien sabido que ciertos alimentos, como el ajo y la cúrcuma, son buenas fuentes de agentes anticancerígenos. El AE de ajo es una fuente de compuestos de azufre reconocidos por su efecto preventivo contra el cáncer (por ejemplo: dialilsulfuro, dialildisulfuro y dialiltrisulfuro) (Zhang *et al.*, 2020). Por otro lado, también se ha demostrado la actividad

anticancerígena del d-limoneno, componente principal del AE de cítricos, en estómago e hígado (Andrade *et al.*, 2018).

Finalmente, cabe mencionar que los AE's de tomillo y orégano, así como algunos de sus componentes, han sido evaluados con el objetivo de aumentar la vida de anaquel de productos hortofrutícolas tales como uva (Piña-Barrera *et al.*, 2019), jitomate (Piña-Barrera *et al.*, 2021), fresa y guayaba (González-Moreno, 2020-en proceso). Además, dentro del campo de bioinsecticidas, se han evaluado los AE's del pirul (Salas Cedillo, 2016) y de albahaca (Lugo Estrada, 2018) para el control de vectores transmisores de enfermedades al hombre tal como el mosquito (*Aedes aegypti*).

CONCLUSIONES

Los aceites esenciales, como fuente natural de componentes activos, han ganado una creciente atención en diferentes ámbitos tales como alimentario, farmacéutico y cosmético. Con base a la información en la presente revisión, se ha puesto en evidencia las propiedades antimicrobianas, antioxidantes, antiinflamatorias y anticancerígenas de los aceites esenciales y algunos de sus componentes, por lo que es necesario continuar con investigaciones que permitan enriquecer su potencial terapéutico.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al PAICyT-UANL (IT1919-21) y BJGM agradece al CONACYT por la beca con el no. 725423 dentro del PNPC de Doctorado en Ciencias con orientación en Química Biomédica, Facultad de Medicina, UANL.

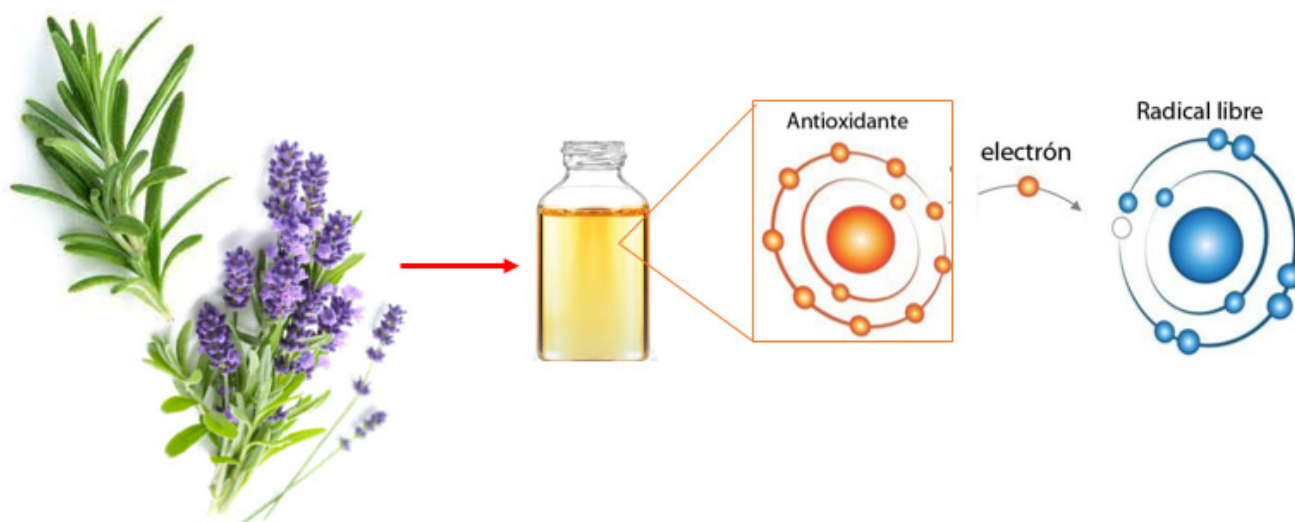


Figura 7. Representación esquemática de la actividad antioxidante de los AE de romero y lavanda para prevenir daños en la piel generados por la radiación UV. (Adaptado de: Silva Flores, tesis de Doctorado en Ciencias 2019).

Tabla 1. Plantas que contienen aceites esenciales con propiedades antibacterianas.

Nombre común	Nombre científico	Bacteria que inhibe	Referencia
Tomillo	<i>Thymus vulgaris</i>	<i>Staphylococcus aureus</i> <i>Streptococcus pyogenes</i>	Guerra-Boone <i>et al.</i> , 2015.
Sándalo	<i>Amyris balsamifera</i>	<i>Xylella fastidiosa</i>	Santiago <i>et al.</i> , 2018.
Canela	<i>Cinnamomum verum</i>	<i>Acidovorax citrulli</i> <i>Ralstonia solanacearum</i>	Choi <i>et al.</i> , 2016. Tu <i>et al.</i> , 2020.
Enebro común	<i>Juniperus communis</i>	<i>Enterococcus faecalis</i> <i>Listeria monocytogenes</i> <i>Staphylococcus aureus</i> <i>Enterococcus faecalis</i>	Najar <i>et al.</i> , 2020.
Enebro cade	<i>Juniperus oxycedrus</i>	<i>Listeria monocytogenes</i> <i>Staphylococcus aureus</i>	
Lantana común	<i>Lantana camara</i>	<i>Ralstonia solanacearum</i>	Mohamed <i>et al.</i> , 2019.
Menta	<i>Mentha piperita</i>	<i>Acidovorax citrulli</i>	Choi <i>et al.</i> , 2016.
Menta	<i>Mentha spicata</i>	<i>Bacillus subtilis</i> <i>Erwinia carotovora</i> <i>Escherichia coli</i> <i>Klebsiella pneumoniae</i> <i>Staphylococcus aureus</i> <i>Xanthomonas campestris</i>	Githaiga <i>et al.</i> , 2018.
Pachulí	<i>Pogostemon pachulí</i>	<i>Xylella fastidiosa</i>	Santiago <i>et al.</i> , 2018.
Brote de clavo	<i>Syzygium aromaticum</i>	<i>Acidovorax citrulli</i>	Choi <i>et al.</i> , 2016.
Orégano	<i>Origanum onites</i>	<i>Streptomyces scabies</i>	Arici <i>et al.</i> , 2014.

Tabla 2. Plantas que contienen aceites esenciales con propiedades antifúngicas.

Nombre común	Nombre científico	Hongo que inhibe	Referencia
Tomillo	<i>Thymus vulgaris</i>	<i>Tricophyton rubrum</i> <i>Tricophyton mentagrophytes</i> <i>Tricophyton tonsurans</i> <i>Microsporum canis</i> <i>Microsporum gypseum</i> <i>Epidermophyton floccosum</i>	Guerra-Boone <i>et al.</i> , 2015.
Canela	<i>Cinnamomum cassia</i>	<i>Villosiclava virens</i>	Zheng <i>et al.</i> , 2019.
Jengibre	<i>Cymbopogon martinii</i>	<i>Fusarium graminearum</i>	Kalagatur <i>et al.</i> , 2018.
Eucalipto	<i>Eucalyptus camaldulensis</i> Dehnh	<i>Fusarium oxysporum</i> <i>Fusarium proliferatum</i> <i>Fusarium solani</i> <i>Fusarium subglutinans</i>	Gakuubi <i>et al.</i> , 2017.
Prontoalivio	<i>Lippia alba</i>	<i>Alternaria solani</i>	Tomazoni <i>et al.</i> , 2016
Pimienta	<i>Piper aduncum</i>	<i>Fusarium solani</i> <i>Phytophthora sp.</i>	Scalvenzi <i>et al.</i> , 2016
Tomillo	<i>Thymus vulgaris</i>	<i>Fusarium moniliforme</i> <i>Fusarium oxysporum</i> <i>Fusarium solani</i>	Santana <i>et al.</i> , 2012



LITERATURA CITADA

- Adame-Gallegos, J. R., Andrade-Ochoa, S., & Nevarez-Moorillon, G. V. 2016. Potential use of mexican oregano essential oil against parasite, fungal and bacterial pathogens. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 19(3), 553–567. <http://doi.org/10.1080/0972060x.2015.1116413>
- Ali, B., Al-Wabel, N. A., Shams, S., Ahamad, A., Khan, S. A., & Anwar, F. 2015. Essential oils used in aromatherapy: a systemic review. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 5(8), 601–611. <http://doi.org/10.1016/j.apjtb.2015.05.007>
- Alonso-Gato, M., Astray, G., Mejuto, J. C., & Simal-Gandara, J. 2021. Essential oils as antimicrobials in crop protection. *Antibiotics* (Basel, Switzerland), 10(1), 34. <https://doi.org/10.3390/antibiotics10010034>
- Andrade, M.A., Braga, M.A., Cesar, P.H.S., Trento, M.V.C., Espósito, M.A., Silva, L.F., Marcussi, S. 2018. Anticancer properties of essential oils: an overview. *Current Cancer Drug Targets*, 18(10): 957-966. <http://doi.org/10.2174/1568009618666180102105843>
- Arafat, Y., Altemimi, A., Ibrahim, S. A., & Badwaik, L. S. 2020. Valorization of sweet lime peel for the extraction of essential oil by solvent free microwave extraction enhanced with ultrasound pretreatment. *Molecules*, 25(18), 4072. <http://doi.org/10.3390/molecules25184072>
- Argote-Vega F.E., Suarez-Montenegro Z.J., Tobar-Delgado M.E., Pérez-Álvarez J.A., Hurtado-Benavides A.M., Delgado-Ospina J. 2017. Evaluación de la capacidad inhibitoria de aceites esenciales en *Staphylococcus aureus* y *Escherichia coli*. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, (2). [https://doi.org/10.18684/bsaa\(v15\)edición especial n2.578](https://doi.org/10.18684/bsaa(v15)edición especial n2.578)
- Arici, S.E., Sanli, A. 2014. Effect of some essential oils against *Rhizoctonia solani* and *Streptomyces scabies* on potato plants in field conditions. *Annual Research & Review in Biology*, 4(12): 2027-2036. <https://doi.org/10.9734/ARRB/2014/8526>
- Arraiza M.P., Gonzalez-Coloma A., Andres M.F., Berrocal-Lobo M., Dominguez-Nuñez J.A., Da Costa A.C., Jr., Navarro-Rocha J., Calderon-Guerrero C. 2018. Antifungal effect of essential oils. In: El-Shemy H., editor. *Potential of Essential Oils*. IntechOpen; Londos, UK.
- Arumugam G., Swamy M. K., Sinniah U. R. 2016. *Plectranthus amboinicus* (Lour.) Spreng: botanical, phytochemical, pharmacological and nutritional significance. *Molecules*, 21(4):p. 369. <http://doi.org/10.3390/molecules21040369>
- Baser K. H. C., Buchbauer G. *Handbook of Essential Oils: Science, Technology and Applications*. Boca Raton, FL, USA: CRC Press; 2010.
- Bergman, M. E., Davis, B., & Phillips, M. A. 2019. Medically useful plant terpenoids: biosynthesis, occurrence, and mechanism of action. *Molecules* (Basel, Switzerland), 24(21), 3961. <https://doi.org/10.3390/molecules24213961>
- Boukhatem, M. N., Ferhat, M. A., Rajabi, M., & Mousa, S. A. 2020. Solvent-free microwave extraction: an eco-friendly and rapid process for green isolation of essential oil from lemongrass. *Natural Product Research*, 1–4. <http://doi.org/10.1080/14786419.2020.1795852>
- Capuzzo, A., Maffei, M., & Occhipinti, A. 2013. Supercritical fluid extraction of plant flavors and fragrances. *Molecules*, 18(6), 7194–7238. <http://doi.org/10.3390/molecules18067194>
- Cheng, Y., Xue, F., Yu, S., Du, S., Yang, Y. 2021. Subcritical water extraction of natural products. *Molecules*, 30; 26(13): 4004. <http://doi.org/10.3390/molecules26134004>
- Choi, O., Cho, S.K., Kim, J. 2016. Biological evaluation of 32 different essential oils against *Acidovorax citrulli*, with a focus on *Cinnamomum verum* essential oil. *African Journal of Biotechnology*, 15:68–76. <http://doi.org/10.5897/AJB2015.15049>
- Elshafie, H. S., Ghanney, N., Mang, S. M., Ferchichi, A., & Camele, I. 2016. An in vitro attempt for controlling severe phytopathogens and human pathogens using essential oils from mediterranean plants of genus *Schinus*. *Journal of Medicinal Food*, 19(3), 266–273. <http://doi.org/10.1089/jmf.2015.0093>
- Espinosa Carranza, N.N. 2021. Valoración biofísica del carvacrol nanoencapsulado para su uso como dermoprotector. Tesis Maestría, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León, San Nicolás de los Garza, Nuevo León. 72pp.
- Farrar, A. J., & Farrar, F. C. 2020. Clinical aromatherapy. *The Nursing clinics of North America*, 55(4), 489–504. <https://doi.org/10.1016/j.cnur.2020.06.015>
- Filly, A., Fernandez, X., Minuti, M., Visinoni, F., Cravotto, G., & Chemat, F. 2014. Solvent-free microwave extraction of essential oil from aromatic herbs: From laboratory to pilot and industrial scale. *Food Chemistry*, 150, 193–198. <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.10.13>
- Gakuubi, M. M., Maina, A. W., & Wagacha, J. M. 2017. Antifungal activity of essential oil of *Eucalyptus camaldulensis* Dehn

- against selected *Fusarium* spp. *International Journal of Microbiology*, 1–7. <http://doi.org/10.1155/2017/8761610>
- Gavahian, M., Sastry, S., Farhoosh, R., Farahnaky, A. 2020. Ohmic heating as a promising technique for extraction of herbal essential oils: understanding mechanisms, recent findings, and associated challenges. *Advances in Food and Nutrition Research*, (91), 227–273. <http://doi.org/10.1016/bs.afnr.2019.09.001>
- Ghahramanloo, K., & Hanachi, P. 2017. Comparative analysis of essential oil composition of Iranian and Indian *Nigella sativa* L. extracted by using supercritical fluid extraction (SFE) and solvent extraction. *Clinical Biochemistry*, 44(13), S20. <http://doi.org/10.1016/j.clinbiochem.2011.08>
- Githaiga, B.M., Gathuru, E.M., Waithaka, P.N., Kiarie L.W. 2018. Determination of antibacterial activity of essential oils from mint (*Mentha spicata*) leaves on selected pathogenic bacteria. *Journal of Drugs and Pharmaceutical Science*, 2:8–14. <http://doi.org/10.31248/JDPS2018.015>
- González-Moreno, B.J. 2021. Efecto conservador de cubiertas biopoliméricas a base de nanoingredientes con aceite esencial de *Origanum vulgare* en la vida de anaquel de productos hortofrutícolas. Tesis doctorado (en proceso), Facultad de Medicina, Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, Nuevo León.
- Gu, L.-B., Pang, H.-L., Lu, K.-K., Liu, H.-M., Wang, X.-D., & Qin, G.-Y. 2017. Process optimization and characterization of fragrant oil from red pepper (*Capsicum annuum* L.) seed extracted by subcritical butane extraction. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(6), 1894–1903. <http://doi.org/10.1002/jsfa.7992>
- Guerra-Boone L., Álvarez-Román R., Salazar-Aranda R., Torres-Cirio A., Rivas-Galindo V.M., Waksman-de-Torres N., Pérez-López L.A. 2015. Antimicrobial and antioxidant activities and chemical characterization of essential oils of *Thymus vulgaris*, *Rosmarinus officinalis*, and *Origanum majorana* from northeastern México. *Pakistan Journal of Pharmaceutical Sciences*, 28(1): 363–369
- Gupta, R.K., Patel, A.K., Shah, N., Chaudhary, A., Jha, U., Yadav, U.C. 2014. Oxidative stress and antioxidants in disease and cancer: a review. *Asian Pacific Journal of Cancer Prevention*, 15: 4405–4409. <http://doi.org/10.7314/apjcp.2014.15.11.4405>
- Hernández, H., Fraňková, A., Sýkora, T., Klouček, P., Kouřimská, L., Kučerová, I., & Banout, J. 2017. The effect of oregano essential oil on microbial load and sensory attributes of dried meat. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(1), 82–87. <http://doi.org/10.1002/jsfa.7685>
- Herrero, M., Sánchez-Camargo, A. del P., Cifuentes, A., & Ibáñez, E. 2015. Plants, seaweeds, microalgae and food by-products as natural sources of functional ingredients obtained using pressurized liquid extraction and supercritical fluid extraction. *Trends in Analytical Chemistry*, 71, 26–38. <http://doi.org/10.1016/j.trac.2015.01.018>
- Jurevičiūtė, R., Ložienė, K., Bruno, M., Maggio, A., & Rosselli, S. 2019. Composition of essential oil of lemon thyme (*Thymus × citriodorus*) at different hydrodistillation times. *Natural Product Research*, 1–9. <http://doi.org/10.1080/14786419.2018.1434642>
- Justyna P., Owczarek K., Tobiszewski M., Namie J. 2017. Trends in analytical chemistry extraction with environmentally friendly solvents. *Analytical Chemistry*, 91, 12–25.
- Kalagatur, N. K., Nirmal Ghosh, O. S., Sundararaj, N., & Mudili, V. 2018. Antifungal activity of chitosan nanoparticles encapsulated with *Cymbopogon martinii* essential oil on plant pathogenic Fungi *Fusarium graminearum*. *Frontiers in Pharmacology*, 9: 610. <http://doi.org/10.3389/fphar.2018.00610>
- Kapalavavi, B., Doctor, N., Zhang, B., & Yang, Y. 2021. Subcritical water extraction of *Salvia miltiorrhiza*. *Molecules*, 26(6), 1634. <https://doi.org/10.3390/molecules26061634>
- Langeveld, W.T., Veldhuizen, E.J., Burt, S.A. 2014. Synergy between essential oil components and antibiotics: a review. *Critical Reviews in Microbiology*, 40(1): 76–94. <http://doi.org/10.3109/1040841X.2013.763219>
- Leyva-López, N., Gutiérrez-Grijalva, E., Vazquez-Olivo, G., & Heredia, J. 2017. Essential oils of oregano: biological activity beyond their antimicrobial properties. *Molecules*, 22(6), 989. <http://doi.org/10.3390/molecules22060989>
- Leyva-López, N., Nair, V., Bang, W. Y., Cisneros-Zevallos, L., & Heredia, J. B. 2016. Protective role of terpenes and polyphenols from three species of Oregano (*Lippia graveolens*, *Lippia palmeri* and *Hedeoma patens*) on the suppression of lipopolysaccharide-induced inflammation in RAW 264.7 macrophage cells. *Journal of Ethnopharmacology*, 187, 302–312. <http://doi.org/10.1016/j.jep.2016.04.051>
- Li, R., Xia, Z., Li, B., Tian, Y., Zhang, G., Li, M., & Dong, J. 2021. Advances in supercritical carbon dioxide extraction of bioactive substances from different parts of *Ginkgo biloba* L. *Molecules* (Basel, Switzerland), 26(13), 4011. <https://doi.org/10.3390/molecules26134011>
- Li, Y., Fabiano-Tixier, A. S., Vian, M. A., & Chemat, F. 2013. Solvent-free microwave extraction of bioactive compounds provides a tool for green analytical chemistry. *Trends in Analytical Chemistry*, 47, 1–11. <http://doi.org/10.1016/j.trac.2013.02.007>
- Lucinewton, S., Moura, L. S., Carvalho Jr., R. N., Stefanini, M. B., Ming, L. C., & Meireles, M. A. A. 2013. Supercritical fluid extraction from fennel (*Foeniculum vulgare*): global yield, composition and kinetic data. *The Journal of Supercritical Fluids*, 35(3), 212–219. <http://doi.org/10.1016/j.supflu.2005.01.006>
- Lugo Estrada L. 2018. Nanoencapsulación de aceites esenciales para el control de *Aedes aegypti*. Tesis de Doctorado. Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, 120pp.
- Mahdi, S., Rahimi-Nasrabadi, M., & Hajimirsadeghic, S. 2014. Supercritical fluid technology in analytical chemistry - review. *Current Analytical Chemistry*, 10(1), 3–28. <http://doi.org/10.2174/1573411011410010004>
- McHugh M., Krukonis V. *Supercritical Fluid Extraction: Principles and Practice*, 2 ed., Elsevier, Butterworth-Heinemann, 80, Montvale Avenue Stoneham, 2013.
- Mohamed, A. A., Behiry, S. I., Younes, H. A., Ashmawy, N. A., Salem, M. Z. M., Márquez-Molina, O., & Barbabosa-Pilego, A. 2019. Antibacterial activity of three essential oils and five monoterpenes against *Ralstonia solanacearum* phylotype II isolated from potato. *Microbial Pathogenesis*, 103604. <http://doi.org/10.1016/j.micpath.2019.103604>
- Najar, B., Pistelli, L., Mancini, S., & Fratini, F. 2020. Chemical composition and in vitro antibacterial activity of essential oils from different species of *Juniperus* (section *Juniperus*). *Flavour and Fragrance Journal*. <http://doi.org/10.1002/ffj.3602>
- Nazzaro, F., Fratianni, F., Coppola, R., & Feo, V. 2017. Essential oils and antifungal activity. *Pharmaceuticals*, 10(4), 86. <https://doi.org/10.3390/ph10040086>
- Pauli, A., Schilche, H. In *Vitro* Antimicrobial activities of essential oils monographed in the European pharmacopoeia. In: Hüsnü K., Baser C., Buchbauer G., editors. *Handbook of essential oils; Science, Technology, and Applications*. Chapter 12. CRC Press; 2009. pp. 353–547.
- Piña-Barrera, A.M., Álvarez-Román, R., Báez-González, J.G., Amaya-Guerra, C.A., Rivas-Morales, C., Gallardo-Rivera, C.T. and Galindo-Rodríguez, S.A. 2019. Application of a multisystem coating based on polymeric nanocapsules containing essential oil of *Thymus vulgaris* L. to increase the shelf life of table grapes (*Vitis vinifera* L.). *IEEE Transactions on NanoBioscience*, 18(4): 549–557. <http://doi.org/10.1109/tnb.2019.2941931>

- Piña-Barrera, A.M., Ramírez-Pérez, M.S., Báez-González, J.G., Amaya-Guerra, C.A., Álvarez-Román, R., Galindo-Rodríguez, S.A. 2021. Recubrimiento comestible con eugenol nanoencapsulado y su efecto conservador en la vida útil de jitomate (*Solanum lycopersicum*). *Biotecnia*, 23(3): 133-141. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v23i3.1477>
- Requejo, A. 2020. Aceites esenciales en sinergia. Exlibric, Antequera, Málaga.
- Reyes-Jurado, F., López-Malo, A., & Palou, E. 2016. Antimicrobial activity of individual and combined essential oils against foodborne pathogenic bacteria. *Journal of Food Protection*, 79(2), 309–315. <http://doi.org/10.4315/0362-028x.jfp-15-392>
- Salas Cediño, H.I. 2016. Desarrollo de un potencial insecticida nanoparticulado de *Schinus molle* para el control de *Aedes aegypti*. Tesis de Maestría, Facultad de Medicina, Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, 101pp.
- Santana O., Cabrera R., Gonzalez-Coloma A., Sanchez-Vioque R., De los Mozos-Pascual M., Rodriguez-Conde M.F., Laserna-Ruiz I., Usano-Aleman J., Herraiz D. 2012. Perfil químico y biológico de aceites esenciales de plantas aromáticas de interés agro-industrial en Castilla-La Mancha (España). *Grasas y Aceites*, 63: 214–222. <http://doi.org/10.3989/gya.129611>
- Santiago, M. B., Moraes, T. da S., Massuco, J. E., Silva, L. O., Lucarini, R., da Silva, D. F., Martins, C. H. G. 2018. In vitro evaluation of essential oils for potential antibacterial effects against *Xylella fastidiosa*. *Journal of Phytopathology*. <http://doi.org/10.1111/jph.12762>
- Scalvenzi L., Yaguache-Camacho B., Cabrera-Martínez P., Guerrini A. 2016. Actividad antifúngica in vitro de aceites esenciales de *Ocotea quixos* (Lam.) Kosterm. y *Piper aduncum* L. *Bioagro*, 28: 39–46. Disponible en <http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-33612016000100005&lng=es&nrm=iso>
- Sharififar F., Mirtajadini M., Azampour MJ, Zamani E. Aceite esencial y extracto metanólico de *Zataria multiflora* Boiss con efecto anticolinérgico. 2012. *Pakistan Journal of Biological Sciences*; 15: 49–53.
- Sharifi-Rad, J., Sureda, A., Tenore, G., Daglia, M., Sharifi-Rad, M., Valussi, M., Iriti, M. 2017. Biological activities of essential oils: from plant chemoeology to traditional healing systems. *Molecules*, 22(1), 70. <http://doi.org/10.3390/molecules22010070>
- Silva, G.L., Luft, C., Lunardelli, A., Amaral, R.H., Melo, D.A., Donadio, M.V., Nunes, F.B., de Azambuja, M.S., Santana, J.C., Moraes, C.M., Mello, R.O., Cassel, E., Pereira, M.A., de Oliveira, J.R. 2015. Antioxidant, analgesic and anti-inflammatory effects of lavender essential oil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 87(2): 1397-408. <http://doi.org/10.1590/0001-3765201520150056>
- Silva-Flores, P.G. 2019. Desarrollo y evaluación dermatocinética de nanopartículas con aceites esenciales para su aplicación en piel. Tesis Doctorado, Facultad de Medicina, Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, 187pp.
- Siti, H. N., Kamisah, Y., & Kamsiah, J. 2015. The role of oxidative stress, antioxidants and vascular inflammation in cardiovascular disease (a review). *Vascular Pharmacology*, 71, 40–56. <http://doi.org/10.1016/j.vph.2015.03.005>
- Teixeira, M.L., Marcussi, S., de C. S. Rezende, D.A., Magalhães, M.L., Nelson, D.L., das G. Cardoso, M. 2019. Essential oil from *Lippia origanoides* (Verbenaceae): haemostasis and enzymes activity alterations. *Medicinal Chemistry*, 15 (2): 207-214. <http://doi.org/10.2174/1573406414666180829150515>
- Tetali S. D. 2018. Terpenes and isoprenoids: a wealth of compounds for global use. *Planta* 249, 1–8. <http://doi.org/10.1007/s00425-018-3056-x>
- Tomazoni, E. Z., Pansera, M. R., Pauletti, G. F., Moura, S., Ribeiro, R. T. S., & Schwambach, J. 2016. In vitro antifungal activity of four chemotypes of *Lippia alba* (Verbenaceae) essential oils against *Alternaria solani* (Pleosporeaceae) isolates. *Anais Da Academia Brasileira de Ciências*, 88(2), 999–1010. <http://doi.org/10.1590/0001-3765201620150019>
- Tu, Q.-B., Wang, P.-Y., Sheng, S., Xu, Y., Wang, J.-Z., You, S., Wu, F.-A. 2020. Microencapsulation and antimicrobial activity of plant essential oil against *Ralstonia solanacearum*. *Waste and Biomass Valorization*. <http://doi.org/10.1007/s12649-020-00987-6>
- Velázquez-Dávila, L. A., Galindo-Rodríguez, S. A., Pérez-López, L. A., González-González, M. G., & Álvarez-Román, R. 2017. In vitro and in vivo methods for the evaluation of natural products against dermatophytes. *Natural Product Communications*, 12(2), <http://doi.org/doi:10.1177/1934578x1701200239>
- Vivaldo, G., Masi, E., Taiti, C., Caldarelli, G. and Mancuso, S. 2017. The network of plants volatile organic compounds. *Scientific Reports*. 7:1-18.
- Waseem, R., Low, K.H. 2015. Advanced analytical techniques for the extraction and characterization of plant-derived essential oils by gas chromatography with mass spectrometry. *Journal of Separation Science*, 38(3): 483-501. <http://doi.org/10.1002/jssc.201400724>
- Watanabe, E., Kuchta, K., Kimura, M., Rauwald, H. W., Kamei, T., & Imanishi, J. 2015. Effects of bergamot (*Citrus bergamia* (Risso) Wright & Arn.) essential oil aromatherapy on mood states, parasympathetic nervous system activity, and salivary cortisol levels in 41 healthy females. *Complementary Medicine Research*, 22(1), 43–49. <http://doi.org/10.1159/000380989>
- Yahya, N. A., Attan, N., & Wahab, R. A. 2018. An overview of cosmeceutically relevant plant extracts and strategies for extraction of plant-based bioactive compounds. *Food and Bioproducts Processing*, 2, 69- 85. <http://doi.org/10.1016/j.fbp.2018.09.002>
- Zhang, L., Lu, S. 2017. Overview of medicinally important diterpenoids derived from plastids. *Mini-Reviews in Medicinal Chemistry*, 17:988–1001. <http://doi.org/10.2174/1389557516666160614005244>
- Zhang, Y., Liu, X., Ruan, J., Zhuang, X., Zhang, X., Li, Z. 2020. Phytochemicals of garlic: promising candidates for cancer therapy. *Biomedicine and Pharmacotherapy*, 123:109730. <http://doi.org/10.1016/j.biopha.2019.109730>
- Zhao, Y., Fan, Y.-Y., Yu, W.-G., Wang, J., Lu, W., & Song, X.-Q. 2019. Ultrasound-enhanced subcritical fluid extraction of essential oil from *Nymphaea alba* var and its antioxidant activity. *Journal of AOAC International*, 102(5), 1448–1454. <http://doi.org/10.1093/jaoac/102.5.1448>
- Zheng, J., Liu, T., Guo, Z., Zhang, L., Mao, L., Zhang, Y., & Jiang, H. 2019. Fumigation and contact activities of 18 plant essential oils on *Villosiclava virens*, the pathogenic fungus of rice false smut. *Scientific Reports*, 9(1). <http://doi.org/10.1038/s41598-019-43433>