

USO DE LOS ACEITES ESENCIALES EN EL CONTROL DE PLAGAS

José de Jesús Lugo Trampe Y Franco Morales

Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Biológicas. Laboratorio de Entomología Médica. chetoweb@hotmail.com.

<http://www.blog.nectardobrasil.com.br/2015/05/>

Resumen

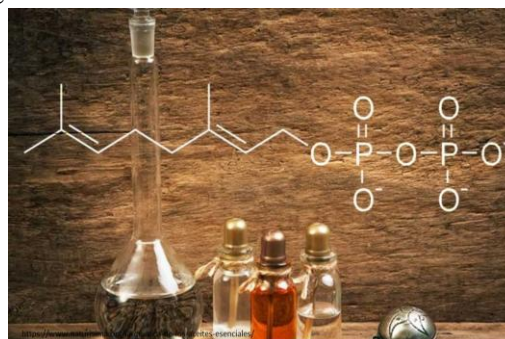
El uso de aceites esenciales, se considera como una alternativa en lo que respecta al control de insectos plaga, debido a que producen mínima contaminación ambiental, además de ser considerados eficaces en los diferentes ámbitos del uso de xenobióticos como el caso de repelentes, adulticidas y larvicidas entre otros y aunque no requieren de un proceso de purificación para su uso, la implementación de nanoformulaciones le ha anexado una mejora, que es la estabilidad molecular, siendo así, una mejor opción en lo que respecta a la sustitución de insecticidas formulados, debido a una gran eficiencia y persistencia sin un daño marcado en el medio.

INTRODUCCION

Los aceites esenciales (AE), también conocidos como esencias, aceites volátiles, aceites etéricos o aetheroleum, son productos naturales formados por varios compuestos volátiles (59). Según la Organización Internacional Normativa de AE (34) y la Farmacopea Europea (Consejo de Europa 2004), se define como aceite esencial al producto obtenido a partir de materia prima vegetal por hidrodestilación, destilación a vapor o destilación seca o por un proceso mecánico para la obtención de un producto.

De acuerdo a la definición anterior esto suele excluir otros productos tales como aromáticos/volátiles obtenidos por diferentes técnicas como la extracción con disolventes, extracción de fluidos supercríticos y extracción

asistida por microondas. Los AE también difieren de los aceites fijos o aceites grasos, tanto en propiedades químicas como físicas. Los aceites grasos contienen glicéridos de ácidos grasos y dejan una mancha permanente en el papel de filtro, mientras que los AE contienen compuestos volátiles y desaparecen rápidamente sin dejar ninguna mancha.



En la naturaleza, suelen jugar papeles muy importantes en los procesos de defensa y señalización de las plantas (30). También son productos naturales valiosos utilizados como materia prima en muchos campos, tales como las industrias farmacéutica, agronómica, alimentaria, sanitaria, cosmética y de perfumería (10).

Los AE se pueden encontrar en varios órganos de la plantas (flores, frutos, semillas, hojas, tallos y raíces) producidos y almacenados en estructuras secretoras que difieren en morfología, estructura, función y distribución. Estas estructuras especializadas minimizan el riesgo de auto toxicidad y pueden encontrarse en la superficie de los órganos de las plantas o dentro de los tejidos de las mismas, clasificándose como estructuras secretoras externas o internas, respectivamente. Las estructuras secretoras internas incluyen células secretoras (a menudo idioblastos), cavidades secretoras y conductos secretores, mientras que las externas incluyen tricomas glandulares, células epidérmicas y osmóforos (61). Algunos órganos y tejidos de plantas, tales como raíces, tubérculos y madera, son muy duros y necesitan ser descompuestos para exponer las células y cavidades que contienen aceite para la extracción.

Los bio-plaguicidas abarcan un gran número de tecnologías, desde los microbianos hasta los botánicos. Entre los productos botánicos, los AE son una categoría importante que comenzó a desarrollarse con la investigación en los años ochenta (57). Los AE han tenido el crecimiento más fuerte de todos los mercados de plaguicidas botánicos en los últimos años.

Los AE suelen tener otras aplicaciones tales como perfumería, cosméticos, detergentes, farmacología, química fina y en la industria alimentaria. Como resultado, los mercados añadidos a veces agregan información científica importante, pero también complican su interpretación para el área de bio-plaguicidas. Los AE tienen un futuro prometedor en el mercado de bio-plaguicidas.

FITOQUÍMICA DE ACEITES ESENCIALES

Las AE de las plantas se han utilizado desde la antigüedad, pero la primera descripción escrita de la destilación data del siglo XIII por Ibn al-Baitar en Andalucía, España (5). El método de preparación clásico se basa en el aparato de

destilación de vapor Clevenger desarrollado en 1928. Hoy en día este método ha sido adaptado y ampliado para la producción industrial. La destilación al vapor requiere grandes recipientes debido al bajo rendimiento (generalmente <1%) de la biomasa y es costoso debido a las altas temperaturas necesarias para la destilación. La cáscara del cítrico es una excepción porque las grandes cantidades de aceites se pueden obtener barato por el presionar frío y la destilación convencional. Los métodos modernos suelen medir la calidad de los AE incluyendo evaluaciones sensoriales, muy comunes en las casas de perfumería; pruebas físicas y químicas, requeridas en las normas, farmacopeas y códigos; y técnicas cromatospetrales para análisis de aceite. La hifenización de la etapa de separación por cromatografía de gases (GC) con técnicas espectroscópicas es a menudo necesaria para la identificación exacta de compuestos, siendo la cromatografía de gases-espectrometría de masas (GC-MS) una de las técnicas híbridas más populares para la caracterización e identificación de compuestos volátiles complejos. Un detector de ionización de llama se utiliza generalmente para el análisis cuantitativo, mientras que un detector de masas de quadrapole o un detector de trampa de iones es necesario para caracterizar los constituyentes del aceite esencial (3). La identificación de los compuestos se realiza comparando tanto los datos cromatográficos (por ejemplo, los índices de Kováts y los índices de retención lineales) como los espectros de masas con los de las muestras auténticas y los espectros de referencia de la biblioteca. A pesar de los logros en técnicas analíticas, la separación total e identificación de todos los compuestos de la mezcla volátil permanece inalcanzable debido al gran número de compuestos, similitudes estructurales, formas isoméricas y rango de concentración de los compuestos presentes en los AE (14). De esta manera, pueden ocurrir tiempos de retención similares y se aconseja la confirmación en dos columnas de diferente polaridad para evitar identificaciones engañosas. Teniendo en cuenta que los AE pueden contener cientos de constituyentes, las co-eluciones son inevitables y, por lo tanto, se han desarrollado nuevas estrategias analíticas para maximizar la separación de compuestos, tales como CG multidimensional (CG-MD) y CG bidimensional (CGxCG) (14).

Las principales familias de plantas que contienen AE incluyen Myrtaceae, Lauraceae, Lamiaceae, Asteraceae, Apiaceae, Cupressaceae, Pinaceae, Piperaceae, Santalaceae y Zingiberaceae: Apiaceae, un grupo ampliamente distribuido de plantas anuales, bienales y perennes, con AE en conductos tubulares; Asteraceae, que comprende más de 30.000 especies de arbustos perennes, hierbas rizomatosas, plantas perennes tuberosas y hierbas arbóreas; Cupressaceae, un grupo de coníferas generalmente árboles y arbustos resinosos que producen AE dentro de bosques; Lamiaceae, un grupo muy diverso de hierbas aromáticas y arbustos con compuestos volátiles que normalmente se acumulan en tricomas glandulares; Lauraceae, que comprende plantas con flores y una serie de árboles aromáticos volátiles presentes en las células dentro de la corteza y la madera; Myrtaceae, un grupo altamente aromático, incluyendo varias especies de fruta; Pinaceae, un grupo de coníferas de alto crecimiento con materiales aromáticos resinosos con ácidos, trementina y terpenoides; Piperaceae, una pequeña familia de plantas con flores; Santalaceae con sólo unas pocas especies aromáticas de interés; y Zingiberaceae, la familia del jengibre con varios rizomas aromáticos (31).

Los AE son mezclas complejas de compuestos volátiles a semi-volátiles generalmente con un fuerte olor, raramente coloreado, soluble en disolventes orgánicos e insoluble en agua. Los constituyentes de los AE pertenecen principalmente a dos grupos fitoquímicos: terpenoides (monoterpenos y sesquiterpenos de bajo peso molecular) y, en menor medida, fenilpropanoides, sintetizados a través de diferentes rutas biosintéticas y con distintos precursores metabólicos primarios. La biosíntesis de los terpenoides involucra tanto las vías de mevalonato como las de no mevalonato (desoxililulosa fosfato), mientras que los fenilpropanoides se forman a través de la vía shikimato (19; 32; 45). Monoterpenos y sesquiterpenos son generalmente el principal grupo de compuestos que se encuentran en los AE. Igualmente, los fenilpropanoides son también muy frecuentes. Además, algunos AE también pueden contener ácidos grasos y sus ésteres y, más raramente, derivados de nitrógeno y azufre (2; 32).

En las plantas aromáticas, la composición de los AE suele variar considerablemente debido a factores tanto intrínsecos (sexuales, estacionales, ontogenéticos y genéticos) como extrínsecos (ecológicos y ambientales) (23; 63). Estos extractos suelen contener, en promedio, de 20 a 80 compuestos que en su mayoría suelen ser terpenos o monoterpenos con fenoles conectados, y otros mas complejos, incluyendo los sesquiterpenos.

La expresión fisiológica del metabolismo secundario de la planta puede ser diferente en todas las etapas de su desarrollo. Las proporciones de monoterpenos dependen de la temperatura y el ritmo circadiano (29; 56) y varían según la etapa de la planta (12). La acidez del suelo y el clima (calor, fotoperiodo, humedad) afectan directamente el metabolismo secundario de la planta (51) y la composición de los AE. Por tal motivo, en el proceso de los AE se debe establecer una serie de parámetros relacionados con las buenas prácticas agrícolas para el cultivo de las plantas (por ejemplo, genotipos, selección y orientación de parcelas y prácticas, tiempo de cosecha, condiciones y parámetros técnicos y extracción) para minimizar la heterogeneidad de los AE.

PRINCIPALES USOS

La mayor parte de la información relacionada con el tema, muestran efectos inmediatos (toxicidad aguda o repelencia) de AE sobre un número de artrópodos, frecuentemente sobre la base de ensayos que duran menos de 48 h.

La eficacia de los AE y sus constituyentes varía según el perfil fitoquímico del extracto vegetal y el objetivo entomológico, en la Tabla 1 se muestran algunos estudios llevados a cabo en los últimos 2 años. La gran mayoría suelen reportar respuesta en insecto blanco, ejerciendo efectos insecticidas o reducción e interrupción en el crecimiento de los insectos en varias etapas de la vida.

Los AE de las plantas aromáticas se han ensayado a lo largo de los años para abordar varios problemas de protección a los cultivos en situaciones pre y poscosechas tales como coleópteros, *Sitophilus oryzae* (gorgojo del arroz), *Tribolium castaneum*, y *Callosobruchus chinensis* (27; 28; 43; 44; 52).

Tabla 1. Bioinsecticidas (aceites esenciales) en el control de plagas

Nombre científico de la planta	Parte de la planta	Insecto	Acción	Autor-año
<i>Artemisia dubia</i>	Partes aéreas (flores)	<i>Tribolium castaneum</i> y <i>Liposcelis bostrychophila</i>	Insecticida natural	Liang jY, et tal. 2017 (42)
<i>Juniperus formosana</i>	Hojas	<i>Tribolium castaneum</i> y <i>Liposcelis bostrychophila</i>	Insecticida y repelente	Guo SS. 2017 (27)
<i>H. pectinata</i>	Hojas	<i>Atta sexdens</i> y <i>rubropilosa</i> Forel	Nuevos insecticidas	Feitosa-Alcantara. 2017 (22)
<i>Allium sativum</i>	Fruto	<i>T. molitor</i>	Control de plagas	Tabari, M.A. 2017 (58)
<i>Pelargonium roseum</i>	Hojas frescas	<i>Culex pipiens</i>	Repelente de mosquitos y larvicida	Tabari MA -2017 (62)
<i>Origanum onites</i>	Hojas	<i>Amblyomma americanum</i> y <i>Aedes aegypti</i>	Repelente	Carroll JF -2017 (11)
<i>Aristolochia trilobata</i>	Hojas	<i>Atta sexdens</i> y <i>Acromyrmex balzani</i>	Insecticida	Oliveira BM – 2017 (17)
<i>Cymbopogon citratus</i>	Hojas frescas	<i>Phlebotomus duboscqi</i>	Repelente	Kimutai A – 2017 (39)
<i>Artemisia annua</i> y <i>Artemisia dracunculus</i>	Partes aéreas (flores)	<i>Calliphora vomitoria</i>	Inhibición de oviposición (fumigación)	Bedini(6)S – 2017 (6)
<i>Echinops grijsii</i> Hance	Raíz	<i>Aedes albopictus</i> , <i>Anopheles sinensis</i> y <i>Culex pipiens</i>	Larvicida	Zhao MP -2017 (69)
<i>Pinus nigra</i> , <i>Hyssopus officinalis</i> , <i>Satureja montana</i> , <i>Pelargonium graveolens</i> y <i>Aloysia citrodora</i>	Ramas con hojas/ partes aéreas (flores)/hojas	<i>Culex quinquefasciatus</i>	Larvicidas	Benelli G – 2017 (8)
<i>Eucalyptus</i> sp, <i>Mentha piprita</i> , <i>Achillea millefolium</i> , <i>Origanum vulgare</i> y <i>Rosmarinus officinalis</i>	Follaje Fresco o seco	<i>Supella longipalpa</i> .	Toxicidad Fumigante y actividad repelente	Mona Shariffard – 2016 (60)
<i>Melaleuca alternifolia</i>	Hojas	<i>Sitophilus zeamais</i>	Fumigación	Liao M - 2016 (44)
<i>Artemisia anethoides</i>	Hojas frescas	<i>Tribolium castaneum</i> y <i>Lasioderma serricorne</i>	Toxicidad de contacto, repelente y fumigante	Liang JY – 2017 (43)
<i>Hedychium larsenii</i>	Tallo subterráneo (rizoma)	<i>Anopheles stephensi</i>	Actividad de disuasión larvicida y de oviposición	Alsheblly MM -2017 (1)
<i>Lippia sidoides</i>	Hojas	<i>Rhodnius prolixus</i>	Efecto ninficida, ovicida, fago-inhibición	Figueiredo MB – 2017 (24)
<i>Piper aduncum</i> Linnaeus	Hojas	<i>Aedes aegypti</i>	Repelente	Mamood SN – 2017 (47)
<i>Peumus boldus</i> Molina	Hojas	<i>Culex quinquefasciatus</i>	Actividad larvicida	Castro DS -2016 (16)
<i>Curcuma longa</i>	Tallo subterráneo (rizoma)	<i>Cabbage looper</i>	Insecticida botánico	Souza Tavares W – 2016 (18)
<i>Atalantia monophylla</i>	Hojas frescas	<i>Callosobruchus maculatus</i> y <i>Sitophilus oryzae</i>	Insecticida	Nattudurai G – 2017 (52)
<i>Mentha spicata</i> y <i>Mentha pulegium</i>	Partes aéreas (hojas y flores)	<i>Spodoptera littoralis</i> , <i>Leptinotarsa decemlineata</i> y <i>Myzus persicae</i>	Actividad nematocida y fitotóxico	Kimbaris AC -2017 (38)
<i>Cymbopogon citratus</i>	Hojas	<i>Cabbage looper</i>	Larvicida	Jun-Hyung Tak-2016 (64)
<i>Lippia gracilis</i>	Hojas	<i>Rhipicephalus (Boophilus) microplus</i>	Acaricida	Costa-Júnior -2016 (13)
<i>Aframomum daniellii</i> , <i>Dichrostachys cinerea</i> y <i>Echinops giganteus</i>	Frutos frescos / raíces	<i>Culex quinquefasciatus</i> y larvas de <i>filariasis</i>	Larvicida	Roman Pavela- 2016 (54)
<i>Blumea lacera</i> , <i>Polygonum odoratum</i> Lour, <i>Piper sarmentosum</i> Roxb, <i>Raphanus sativus</i> Linn, <i>Myristica fragrans</i> Houtt, <i>Limnophila aromatica</i> (Lamk) Merr, <i>Solanum aculeatissimum</i> Jacq, <i>Solanum indicum</i> Linn, <i>Coriandrum</i>	Tallo y hojas / semillas / cáscara / toda la planta / fruta / rizoma (tallo subterráneo)	<i>Aedes aegypti</i>	Larvicida y adulticida	Intirach J. -2016 (33)

<i>sativum</i> Linn, <i>Foeniculum vulgare</i> Mill, <i>Petroselinum crispum</i> , <i>Amomum uliginosum</i> Koenig, <i>Picrorhiza kurroa</i> Royle & Benth, <i>Curcuma aeruginosa</i> Roxb, <i>Curcuma longa</i> Linn, <i>Kaempferia pandurata</i> Roxb, <i>Kaempferia parviflora</i> Wall. ex Baker				
<i>Origanum scabrum</i>	Hojas frescas	<i>Anopheles stephensi</i> , <i>Aedes aegypti</i> , <i>Culex quinquefasciatus</i> y <i>Culex tritaeniorhynchus</i>	Repelente, actividad larvicida y ovicida, adulticida	Marimuthu Govindarajan-2016 (25)
<i>Glycosmis lucida</i>	Hojas	<i>Tribolium castaneum</i> y <i>Liposcelis bostrychophila</i>	Repelente	Guo SS -2017 (28)
<i>Ajania fruticulosa</i>	Parte aérea	<i>Tribolium castaneum</i> y <i>Liposcelis bostrychophila</i>	Actividad insecticida	Jun-Yu Liang -2016 (42)
<i>Citrus aurantifolia</i> , <i>Citrus grandis</i> , and <i>Alpinia galanga</i>	Hojas / fruta /rizoma	<i>Aedes aegypti</i>	Repelente	Norashiqin Misni – 2016 (49)
<i>Piper aduncum</i>	Hojas	<i>Euschistus heros</i>	Toxicidad en huevos, ninfas y adultos	LM TURCHEN-2016 (65)
<i>Kadsura heteroclita</i>	Hojas	<i>Anopheles stephensi</i> , <i>Aedes aegypti</i> y <i>Culex quinquefasciatus</i>	Larvicida	Govindarajan M - 2016 (26)
<i>Piper betle</i>	Hojas	<i>Spodoptera litura</i>	Inhibidores de desarrollo de larvas y pupas	Prabhakaran Vasantha-Srinivasan- 2016 (66)
<i>Piper corcovadensis</i>	Hojas frescas	<i>Aedes aegypti</i>	Actividad larvicida	Marcelo Felipe Rodrigues da Silva – 2016 (15)
<i>Etilingera elatior</i> y <i>Zingiberaceae</i>	Inflorescencias frescas	<i>Aedes aegypti</i>	Inhibición de oviposición	Patrícia C. Bezerra-Silva-2016 (9)
<i>Schinus molle</i>	Hojas	<i>Ctenocephalides felis felis</i>	Actividad contra huevos y adultos	BATISTA - 2015 (4)
<i>Origanum vulgare</i>	Hojas	<i>Anopheles stephensi</i> , <i>An. Subpictus</i> , <i>Culex quinquefasciatus</i> y <i>Cx. Tritaeniorhynchus</i>	Actividad larvicida	Govindarajan-2016 (25)
<i>Lavandula luisieri</i>	Partes aéreas	<i>Spodoptera littoralis</i> y <i>Myzus persicae</i> colonias	Actividad fitotóxica y nematocida	Julio -2016 (36)
<i>Alpinia kwangsiensis</i>	Rizoma	<i>Lasioderma serricorne</i>	Actividad insecticida	Wu – 2015 (68)
<i>Chamaecyparis obtusa</i>	Hojas y ramas	<i>Drosophila melanogaster</i> y <i>Musca domestica</i>	Actividad insecticida, afecta la fecundidad y el desarrollo sexual	Shin-Hae Lee-2015 (40)

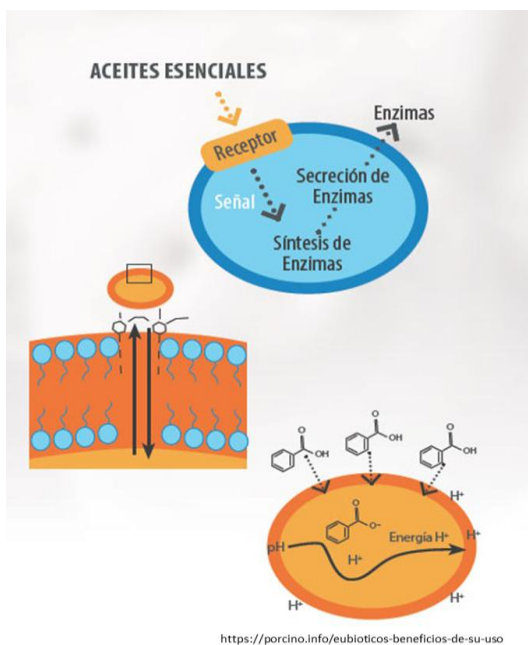
MODOS DE ACCIÓN

Los AE son buenos penetrantes que combinados suelen aumentar la biodisponibilidad. La mayor propiedad relacionada es que disrumpe la bicapa lipídica de las células. Algunos AE tienen modos de acción específicos que los convierten en buenos sinergistas, los derivados semisintéticos tienen un factor sinérgico de dos a seis veces cuando se combinan con insecticidas botánicos (7), pero las piperamidas tienen un notable factor de sinergia de 11 cuando se combinan con piretrina (35) tienen profundos efectos sobre el transcriptoma del citocromo P450.

En la sensilia de los insectos, las proteínas especializadas en odorantes (PEO) responden a los monoterpenos volátiles. Los monoterpenos

acíclicos o monocíclicos son moléculas volátiles pequeñas, por lo tanto, están implicados en la transmisión de señales aerotransportadas desde las plantas hasta los insectos (41).

La detección de ramos de aromáticos y compuestos quimiosensores activos por insectos involucra diferentes familias de proteínas, incluyendo OBPs y proteínas quimiosensibles (PQSSs), PEOs y CSPs que se encuentran en la periferia de los receptores sensoriales y participan en la captura y transporte de estímulos moleculares (21). El uso de compuestos químicos volátiles de plantas y AE en protección de plantas puede ser más eficaz con una mejor comprensión de estos mecanismos.



Varios monoterpenos son neurotóxicos para los insectos. Algunos receptores descritos son las neuronas GABA-gated y GABA asociados a canales de cloro, los cuales suelen alterar la sinapsis de GABA (55). El eugenol actúa a través del sistema octopaminérgico activando receptores para la octopamina, que es un neuromodulador (20). Algunos otros monoterpenos actúan sobre la acetilcolinesterasa inhibiéndola (48). Con tales acciones de los monoterpenos se cree que afecta a múltiples objetivos por su modo de acción, perturbando así más eficazmente la actividad celular y los procesos biológicos de los insectos.

Una de las grandes desventajas de los AE, es que en su gran mayoría se desconoce su modo de acción, con la gran cantidad de bioensayos realizados se conoce en que etapa del insecto blanco suele tener mayores efectos, pero se desconoce su forma de acción. Por otro lado, la regulación transcripcional de la expresión génica en los insectos se ha encontrado que desempeña un papel importante en la respuesta de los insectos a diversos factores de estrés (44). Este tipo de estudio abre una alternativa en la búsqueda de modo de acción de los diversos AE. Por ejemplo: Min Liao y colaboradores (44) llevaron a cabo un estudio de la actividad de *Melaleuca alternifolia* en *S. Zeamais* que por medio de un análisis de transcriptoma demostraron la inhibición de tres enzimas; dos enzimas desintoxicantes, glutatión S-transferasa (GST) y carboxilesterasa (CarE), así como una

enzima de conducción nerviosa, la acetilcolinesterasa (AChE), proponiendo un modelo de acción del insecticida donde probablemente afecta directamente al acarreador de hidrógeno para bloquear el flujo de electrones e interferir en la síntesis de energía en la cadena respiratoria mitocondrial.

Como el ejemplo anterior, en los últimos años se han realizado algunos estudios que incluyen un análisis transcriptómico (46; 53), esto abre un panorama hacia lo desconocido en el contexto de búsqueda de mecanismos de acción de los AE.

FUTURO DE LOS ACEITES ESENCIALES

Hoy en día se utilizan varios AE en formulaciones comerciales registradas. Entre estos productos, los más frecuentes son el ajo, el clavo, el cedro (*Juniperus virginiana*), la menta (*Mentha piperita*) y los aceites de romero, varios de ellos dirigidos a numerosos artrópodos, incluyendo moscas, mosquitos, polillas, avispas, arañas y ciempiés.



Al parecer los AE parecen ser un método complementario o alternativo para el manejo integrado de plagas en varios aspectos ya que como se menciona anteriormente, consisten en mezclas de muchos compuestos bioactivos (alcoholes, aldehídos, cetonas, ésteres, fenoles aromáticos y lactonas, así como monoterpenos y sesquiterpenos), lamentablemente la alta volatilidad, baja solubilidad en agua y la tendencia a la oxidación lo limitan

como un sistema alternativo de control de plagas (Moretti et al., 2002).

Una de las grandes alternativas para el futuro es la nanoformulación de los AE ya que podría resolver estos problemas, protegiéndolos de la degradación y las pérdidas por evaporación, logrando una liberación controlada y facilitando el manejo (50). Dentro de los grandes beneficios de las nanoformulaciones es mejorar la eficacia debido al mayor área superficial, mayor solubilidad, inducción de actividad sistémica debido a un menor tamaño de partícula, mayor movilidad y menor toxicidad debido a la eliminación de disolventes orgánicos (37). En un trabajo realizado en el 2014 por Werdin González, et al. (67) demostraron la eficacia y persistencia del uso de nanoformulaciones contra *B. Germánica* usando AE de geranio aumentando así su eficacia de 7 días a más de 200 días.

BIBLIOGRAFÍA

- AlShebly MM, AlQahtani FS, Govindarajan M, Gopinath K, Vijayan P, Benelli G. 2017. Toxicity of ar-curcumene and epi-beta-bisabolol from *Hedychium larsenii* (Zingiberaceae) essential oil on malaria, chikungunya and St. Louis encephalitis mosquito vectors. *Ecotoxicol Environ Saf* 137:149-57
- Bakkali F, Averbeck S, Averbeck D, Idaomar M. 2008. Biological effects of essential oils--a review. *Food Chem Toxicol* 46:446-75
- Baser K, Demirci F. 2007. Chemistry of Essential Oils.
- Batista LC, Cid YP, De Almeida AP, Prudencio ER, Riger CJ, et al. 2016. In vitro efficacy of essential oils and extracts of *Schinus molle* L. against *Ctenocephalides felis felis*. *Parasitology* 143:627-38
- Bauer K, Garbe D, Surburg H. 2001. *Common Fragrance and Flavor Materials: Preparation, Properties and Use*. Weinheim: Wiley-VCH
- Bedini S, Flamini G, Cosci F, Ascricchi R, Echeverria MC, et al. 2017. *Artemisia* spp. essential oils against the disease-carrying blowfly *Calliphora vomitoria*. *Parasit Vectors* 10:80
- Belzile A-S, Majerus SL, Podeszinski C, Guillet G, Durst T, Arnason JT. 2000. Dillapiol Derivatives as Synergists: Structure-Activity Relationship Analysis. *Pesticide Biochemistry and Physiology* 66:33-40
- Benelli G, Pavela R, Canale A, Cianfaglione K, Ciaschetti G, et al. 2017. Acute larvicidal toxicity of five essential oils (*Pinus nigra*, *Hyssopus officinalis*, *Satureja montana*, *Aloysia citrodora* and *Pelargonium graveolens*) against the filariasis vector *Culex quinquefasciatus*: Synergistic and antagonistic effects. *Parasitol Int* 66:166-71
- Bezerra-Silva PC, Dutra KA, Santos GK, Silva RC, Iulek J, et al. 2016. Evaluation of the Activity of the Essential Oil from an Ornamental Flower against *Aedes aegypti*: Electrophysiology, Molecular Dynamics and Behavioral Assays. *PLoS One* 11:e0150008
- Buchbauer G. 2000. The detailed analysis of essential oil leads to the understanding of their properties. *Perfumer Flavorist* 25:64-7
- Carroll JF, Demirci B, Kramer M, Bernier UR, Agramonte NM, et al. 2017. Repellency of the *Origanum onites* L. essential oil and constituents to the lone star tick and yellow fever mosquito. *Nat Prod Res*:1-6
- Clark R, Menary R. 1981. Variations in composition of peppermint oil in relation to production areas. *Econ. Bot.* 35:59-69
- Costa-Junior LM, Miller RJ, Alves PB, Blank AF, Li AY, Perez de Leon AA. 2016. Acaricidal efficacies of *Lippia gracilis* essential oil and its phytochemicals against organophosphate-resistant and susceptible strains of *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*. *Vet Parasitol* 228:60-4
- da Silva MDRG, Cardeal Z, Marriott PJ. 2008. *Comprehensive Two-Dimensional Gas Chromatography: Application to Aroma and Essential Oil Analysis*. ACS SYMPOSIUM SERIES:3-24
- da Silva MF, Bezerra-Silva PC, de Lira CS, de Lima Albuquerque BN, Agra Neto AC, et al. 2016. Composition and biological activities of the essential oil of *Piper corcovadensis* (Miq.) C. DC (Piperaceae). *Exp Parasitol* 165:64-70

16. de Castro DS, da Silva DB, Tiburcio JD, Sobral ME, Ferraz V, et al. 2016. Larvicidal activity of essential oil of *Peumus boldus* Molina and its ascaridole-enriched fraction against *Culex quinquefasciatus*. *Exp Parasitol* 171:84-90
17. de Oliveira BM, Melo CR, Alves PB, Santos AA, Santos AC, et al. 2017. Essential Oil of *Aristolochia trilobata*: Synthesis, Routes of Exposure, Acute Toxicity, Binary Mixtures and Behavioral Effects on Leaf-Cutting Ants. *Molecules* 22
18. de Souza Tavares W, Akhtar Y, Goncalves GL, Zanuncio JC, Isman MB. 2016. Turmeric powder and its derivatives from *Curcuma longa* rhizomes: Insecticidal effects on cabbage looper and the role of synergists. *Sci Rep* 6:34093
19. DEWICK PM. 2010. *Medicinal natural products: a biosynthetic approach*.
20. Enan EE. 2005. Molecular response of *Drosophila melanogaster* tyramine receptor cascade to plant essential oils. *Insect Biochem Mol Biol* 35:309-21
21. Fan J, Francis F, Liu Y, Chen JL, Cheng DF. 2011. An overview of odorant-binding protein functions in insect peripheral olfactory reception. *Genet Mol Res* 10:3056-69
22. Feitosa-Alcantara RB, Bacci L, Blank AF, Alves PB, Silva IMA, et al. 2017. Essential Oils of *Hyptis pectinata* Chemotypes: Isolation, Binary Mixtures and Acute Toxicity on Leaf-Cutting Ants. *Molecules* 22
23. Figueiredo AC, Barroso JG, Pedro LG, Scheffer JJC. 2008. Factors affecting secondary metabolite production in plants: Volatile components and essential oils. *Flavour Fragrance J. Flavour and Fragrance Journal* 23:213-26
24. Figueiredo MB, Gomes GA, Santangelo JM, Pontes EG, Azambuja P, et al. 2017. Lethal and sublethal effects of essential oil of *Lippia sidoides* (Verbenaceae) and monoterpenes on Chagas' disease vector *Rhodnius prolixus*. *Mem Inst Oswaldo Cruz* 112:63-9
25. Govindarajan M, Kadaikunnan S, Alharbi NS, Benelli G. 2016. Acute toxicity and repellent activity of the *Origanum scabrum* Boiss. & Heldr. (Lamiaceae) essential oil against four mosquito vectors of public health importance and its biosafety on non-target aquatic organisms. *Environ Sci Pollut Res Int* 23:23228-38
26. Govindarajan M, Rajeswary M, Hoti SL, Benelli G. 2016. Larvicidal potential of carvacrol and terpinen-4-ol from the essential oil of *Origanum vulgare* (Lamiaceae) against *Anopheles stephensi*, *Anopheles subpictus*, *Culex quinquefasciatus* and *Culex tritaeniorhynchus* (Diptera: Culicidae). *Res Vet Sci* 104:77-82
27. Guo S, Zhang W, Liang J, You C, Geng Z, et al. 2016. Contact and Repellent Activities of the Essential Oil from *Juniperus formosana* against Two Stored Product Insects. *Molecules* 21:504
28. Guo SS, Zhang WJ, Yang K, Liang JY, You CX, et al. 2017. Repellence of the main components from the essential oil of *Glycosmis lucida* Wall. ex Huang against two stored product insects. *Nat Prod Res* 31:1201-4
29. Hansted L, Jakobsen H, Olsen C. 1994. Influence of temperature on the rhythmic emission of volatiles from *Ribes nigrum* flowers in situ. *Plant Cell Environ* 17:1069-72
30. Harborne J. 2014. *Introduction to Ecological Biochemistry*. 384 pp.
31. Hunter M. 2009. Essential oils : art, agriculture, science, industry and entrepreneurship (a focus on the Asia-Pacific region).
32. Hüsniü Can Başer GB. 2010. *Handbook of essential oils: science, technology, and applications*.
33. Intirach J, Junkum A, Lumjuan N, Chaithong U, Jitpakdi A, et al. 2016. Antimosquito property of *Petroselinum crispum* (Umbellifereae) against the pyrethroid resistant and susceptible strains of *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae). *Environ Sci Pollut Res Int* 23:23994-4008
34. ISO9235. 2013. Aromatic natural raw materials-vocabulary.
35. Jensen HR, Scott IM, Sims SR, Trudeau VL, Arnason JT. 2006. The effect of a synergistic concentration of a *Piper nigrum* extract used in conjunction with pyrethrum upon gene

- expression in *Drosophila melanogaster*. *Insect Mol Biol* 15:329-39
36. Julio LF, Barrero AF, Herrador del Pino MM, Arteaga JF, Burillo J, et al. 2016. Phytotoxic and Nematicidal Components of *Lavandula luisieri*. *J Nat Prod* 79:261-6
 37. Kah M, Beulke S, Tiede K, Hofmann T. 2013. Nanopesticides: State of Knowledge, Environmental Fate, and Exposure Modeling. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 43:1823-67
 38. Kimbaris AC, Gonzalez-Coloma A, Andres MF, Vidali VP, Polissiou MG, Santana-Meridas O. 2017. Biocidal Compounds from *Mentha* sp. Essential Oils and Their Structure-Activity Relationships. *Chem Biodivers* 14
 39. Kimutai A, Ngeiywa M, Mula M, Njagi PG, Ingonga J, et al. 2017. Repellent effects of the essential oils of *Cymbopogon citratus* and *Tagetes minuta* on the sandfly, *Phlebotomus duboscqi*. *BMC Res Notes* 10:98
 40. Lee SH, Do HS, Min KJ. 2015. Effects of Essential Oil from Hinoki Cypress, *Chamaecyparis obtusa*, on Physiology and Behavior of Flies. *PLoS One* 10:e0143450
 41. Li S, Picimbon JF, Ji S, Kan Y, Chuanling Q, et al. 2008. Multiple functions of an odorant-binding protein in the mosquito *Aedes aegypti*. *Biochem Biophys Res Commun* 372:464-8
 42. Liang JY, Guo SS, Zhang WJ, Geng ZF, Deng ZW, et al. 2017. Fumigant and repellent activities of essential oil extracted from *Artemisia dubia* and its main compounds against two stored product pests. *Nat Prod Res*:1-5
 43. Liang JY, Wang WT, Zheng YF, Zhang D, Wang JL, et al. 2017. Bioactivities and Chemical Constituents of Essential Oil Extracted from *Artemisia anethoides* Against Two Stored Product Insects. *J Oleo Sci* 66:71-6
 44. Liao M, Xiao JJ, Zhou LJ, Liu Y, Wu XW, et al. 2016. Insecticidal Activity of *Melaleuca alternifolia* Essential Oil and RNA-Seq Analysis of *Sitophilus zeamais* Transcriptome in Response to Oil Fumigation. *PLoS One* 11:e0167748
 45. Lichtenthaler HK. 1999. The 1-Deoxy-D-Xylulose-5-Phosphate Pathway of Isoprenoid Biosynthesis in Plants. *Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Biol* 50:47-65
 46. Loke KK, Rahnamaie-Tajadod R, Yeoh CC, Goh HH, Mohamed-Hussein ZA, et al. 2017. Transcriptome analysis of *Polygonum minus* reveals candidate genes involved in important secondary metabolic pathways of phenylpropanoids and flavonoids. *PeerJ* 5:e2938
 47. Mamood SN, Hidayatufathi O, Budin SB, Ahmad Rohi G, Zulfakar MH. 2017. The formulation of the essential oil of *Piper aduncum* Linnaeus (Piperales: Piperaceae) increases its efficacy as an insect repellent. *Bull Entomol Res* 107:49-57
 48. Mills C, Cleary BJ, Gilmer JF, Walsh JJ. 2004. Inhibition of acetylcholinesterase by Tea Tree oil. *J Pharm Pharmacol* 56:375-9
 49. Misni N, Nor ZM, Ahmad R. 2016. New Candidates for Plant-Based Repellents Against *Aedes aegypti*. *J Am Mosq Control Assoc* 32:117-23
 50. Moretti MD, Sanna-Passino G, Demontis S, Bazzoni E. 2002. Essential oil formulations useful as a new tool for insect pest control. *AAPS PharmSciTech* 3:E13
 51. Muller-Riebau F, Berger B, Yegen O, Cakir C. 1997. Seasonal variations in the chemical compositions of essential oils of selected aromatic plants growing wild in Turkey. *Agric. Food Chem* 45:4821-25
 52. Nattudurai G, Baskar K, Paulraj MG, Islam VI, Ignacimuthu S, Duraipandiyan V. 2017. Toxic effect of *Atalantia monophylla* essential oil on *Callosobruchus maculatus* and *Sitophilus oryzae*. *Environ Sci Pollut Res Int* 24:1619-29
 53. Park YJ, Li X, Noh SJ, Kim JK, Lim SS, et al. 2016. Transcriptome and metabolome analysis in shoot and root of *Valeriana fauriei*. *BMC Genomics* 17:303
 54. Pavela R, Maggi F, Mbuntcha H, Woguem V, Fogang HP, et al. 2016. Traditional herbal remedies and dietary spices from Cameroon as novel sources of larvicides against filariasis mosquitoes? *Parasitol Res* 115:4617-26

55. Priestley CM, Williamson EM, Wafford KA, Sattelle DB. 2003. Thymol, a constituent of thyme essential oil, is a positive allosteric modulator of human GABA(A) receptors and a homo-oligomeric GABA receptor from *Drosophila melanogaster*. *Br J Pharmacol* 140:1363-72
56. Raguso R, Pichersky E. 1999. New perspectives in pollination biology: floral fragrances. A day in the life of a linalool molecule: chemical communication in a plant-pollinator system. Part 1: linalool biosynthesis in flowering plants. *Plant Species Biol* 14:95-120
57. REGNAULT-ROGER C. 1997. The potential of botanical essential oils for insect pest control. *Integrated Pest Management Reviews* 2:25-34
58. Sadeghi R, Hadizadeh Raeisi N, Jamshidnia A. 2017. Immunological Responses of *Sesamia cretica* to *Ferula ovina* Essential Oil. *J Insect Sci* 17
59. Sangwan NS, Farooqi AHA, Shabih F, Sangwan RS. 2001. Regulation of essential oil production in plants. *Plant Growth Regulation* 34: 3-21
60. Sharififard M, Safdari F, Siahpoush A, Kassiri H. 2016. Evaluation of Some Plant Essential Oils against the Brown-Banded Cockroach, *Supella longipalpa* (Blattaria: Ectobiidae): A Mechanical Vector of Human Pathogens. *J Arthropod Borne Dis* 10:528-37
61. Svoboda KP, Syred PM, Svoboda TG. 2000. *Secretory structures of aromatic and medicinal plants : a review and atlas of micrographs*.
62. Tabari MA, Youssefi MR, Esfandiari A, Benelli G. 2017. Toxicity of beta-citronellol, geraniol and linalool from *Pelargonium roseum* essential oil against the West Nile and filariasis vector *Culex pipiens* (Diptera: Culicidae). *Res Vet Sci* 114:36-40
63. Taiz L, Zeiger E. 2010. *Plant physiology*. Sunderland, Massachusetts: Sinauer
64. Tak JH, Isman MB. 2016. Metabolism of citral, the major constituent of lemongrass oil, in the cabbage looper, *Trichoplusia ni*, and effects of enzyme inhibitors on toxicity and metabolism. *Pestic Biochem Physiol* 133:20-5
65. Turchen LM, Piton LP, Dall'Oglio EL, Butnariu AR, Pereira MJ. 2016. Toxicity of *Piper aduncum* (Piperaceae) Essential Oil Against *Euschistus heros* (F.) (Hemiptera: Pentatomidae) and Non-Effect on Egg Parasitoids. *Neotrop Entomol* 45:604-11
66. Vasantha-Srinivasan P, Senthil-Nathan S, Thanigaivel A, Edwin ES, Ponsankar A, et al. 2016. Developmental response of *Spodoptera litura* Fab. to treatments of crude volatile oil from *Piper betle* L. and evaluation of toxicity to earthworm, *Eudrilus eugeniae* Kinb. *Chemosphere* 155:336-47
67. Werdin González JO, Stefanazzi N, Murray AP, Ferrero AA, Fernández Band B. 2014. Novel nanoinsecticides based on essential oils to control the German cockroach. *Journal of Pest Science* 88:393-404
68. Wu Y, Zhang WJ, Huang DY, Wang Y, Wei JY, et al. 2015. Chemical Compositions and Insecticidal Activities of *Alpinia kwangsiensis* Essential Oil against *Lasioderma serricorne*. *Molecules* 20:21939-45
69. Zhao MP, Liu QZ, Liu Q, Liu ZL. 2017. Identification of Larvicidal Constituents of the Essential Oil of *Echinops grijsii* Roots against the Three Species of Mosquitoes. *Molecules* 22