



EFFECTO DEL ACEITE ESENCIAL DE *Lippia origanoides* Kunth Y DOS DE SUS COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES SOBRE *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) Y *Bemisia tabaci* Genn (Hemiptera: Aleyrodidae) EN INVERNADERO †

[EFFECT OF THE ESSENTIAL OIL OF *Lippia origanoides* Kunth AND TWO OF ITS VOLATILE ORGANIC COMPOUNDS ON *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) AND *Bemisia tabaci* Genn (Hemiptera: Aleyrodidae) IN GREENHOUSE]

**Angel M. Herrera-Gorocica¹, Emanuel Hernández-Núñez²,
Luz M. Calvo Irabien³, Ángeles Sánchez-Contreras⁴, Ana L. Ruiz-Jiménez¹,
Luis Latournerie-Moreno¹, Horacio S. Ballina-Gómez¹
and Esaú Ruiz-Sánchez^{1*}**

¹Tecnológico Nacional de México, Campus Conkal, Avenida Tecnológico s/n, C.P. 97345, Conkal, Yucatán, México. Email: *esau.ruiz@itconkal.edu.mx

²Departamento de Recursos del Mar, CINVESTAV-IPN Unidad Mérida, C.P.97310, Mérida. Yucatán, México.

³Centro de Investigación Científica de Yucatán (CICY), Calle 43 No. 130, Col. Chuburná de Hidalgo, C.P. 97200 Mérida, Yucatán, México.

⁴Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco A.C. (CIATEJ) Subsede Sureste. C.P. 97302. Mérida, Yucatán, México.

*Corresponding author

SUMMARY

Background. The use of plant-derived products is an environmentally friendly option to reduce the use of chemical pesticides for pest management. **Objective.** To evaluate the lethal toxic and repellent effect of the essential oil (EO) of the Mexican oregano (*Lippia origanoides*) and two of its main components, carvacrol and thymol, on the mortality and repellency of immature *B. tabaci* and *T. urticae* in the greenhouse. **Methodology.** The EO of *L. origanoides*, carvacrol and thymol at 0.2% and 0.01% were sprayed on eggplant leaves infested with the pests. The mortality of individuals was evaluated at 24 and 48 h and the repellency at 2 and 5 days after application in *T. urticae* and *B. tabaci*. **Results.** The EO and carvacrol at 0.2 % v/v caused 80-99 % mortality in *T. urticae* and *B. tabaci*, and EO was the one that caused more than 50 % repellency. The analysis of the *L. origanoides* EO by gas chromatography – mass spectrometry showed that the major compounds were thymol (41.14 %), p-cymene (14.06 %) and carvacrol (9.25 %). **Implication.** The essential oil of *L. origanoides* and of its main components, thymol and carvacrol, represent a viable alternative to manage *B. tabaci* and *T. urticae*. **Conclusion.** The EO of *L. origanoides* and carvacrol at 0.2 % v/v produce more than 80 % mortality and more than 50 % repellency in *T. urticae* and *B. tabaci*

Keywords: Pest management; Toxic effect; Plant-derived pesticides.

RESUMEN

Antecedentes. El uso de productos botánicos para el manejo de plagas puede reducir la dependencia de plaguicidas químicos en la agricultura. **Objetivo.** Evaluar el efecto tóxico letal y repelente del aceite esencial (AE) del orégano mexicano (*Lippia origanoides*) y dos de sus componentes principales, carvacrol y timol, en *B. tabaci* y *T. urticae* en invernadero. **Metodología.** El AE de *L. origanoides*, el carvacrol y timol al 0.2 % y 0.01 % v/v se asperjaron a hojas de berenjena infestadas con las plagas. La mortalidad de individuos se evaluó a las 24 y 48 h y la repelencia a los 2 y 5 días después de la aplicación en *T. urticae* y *B. tabaci*. **Resultados.** El AE y el carvacrol al 0.2% v/v causaron 80-99 % de mortalidad en *T. urticae* y *B. tabaci* y el AE fue el que causó más del 50% de repelencia. El análisis del AE por cromatografía de gases y espectrometría de masas mostró que los componentes mayoritarios fueron timol (41.14 %), para-cimeno (14.06 %) y carvacrol (9.25 %). **Implicación.** El AE de *L. origanoides* y sus componentes mayoritarios representan una alternativa viable para el manejo de *B. tabaci* y *T. urticae*. **Conclusión.** El AE de *L. origanoides* y el carvacrol a 0.2 % v/v producen más de 80 % mortalidad y más del 50 % de repelencia en *T. urticae* y *B. tabaci*.

Palabras clave: manejo de plagas; efecto tóxico; plaguicidas botánicos.

† Submitted June 11, 2022 – Accepted June 4, 2023. <http://doi.org/10.56369/tsaes.4413>



Copyright © the authors. Work licensed under a CC-BY 4.0 License. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

ISSN: 1870-0462.

INTRODUCCIÓN

El uso de plaguicidas sintéticos ha sido una estrategia eficiente para el manejo de plagas en la agricultura (Loetti y Bellocq 2017; Correy *et al.* 2019). Sin embargo, el uso excesivo de estos productos ha provocado efectos negativos en la salud humana y en organismos benéficos (Bolzonella *et al.*, 2019), además ha seleccionado poblaciones de plagas resistentes (Correy *et al.*, 2019). La búsqueda de nuevos compuestos menos tóxicos para organismos no objetivo, ambientalmente aceptables ha estimulado la prospección de productos derivados de plantas (productos botánicos) para el manejo de plagas (Souto *et al.*, 2021). En este contexto, los aceites esenciales y sus compuestos orgánicos volátiles (COVs) han mostrado un excelente potencial para el manejo de plagas en la agricultura debido a sus efectos repelentes y letales hacia los insectos y ácaros (Ebadollahi *et al.*, 2020).

La mosca blanca (*Bemisia tabaci*) y la araña roja (*Tetranychus urticae*) son dos plagas primarias en cultivos hortícolas (Rioja *et al.* 2017). *B. tabaci* como adulto produce alteración fisiológica en las plantas por la transmisión de diversos virus, disminuye el vigor y el rendimiento de plantas (Fiallo-Olivé *et al.* 2019), mientras que los inmaduros son clave en el crecimiento poblacional de la especie (Santana *et al.*, 2022). Los estadios activos de *T. urticae* producen pérdidas de cultivos considerables (50 – 70 %) debido a su alta tasa de reproducción y la dificultad para controlar las poblaciones de ácaros resistentes (Le Goff *et al.* 2014; Chen, *et al.* 2019; Manal y Mennat-Allah, 2022; Ojeda-Martínez *et al.* 2020). Se han realizado extensas evaluaciones de aceites esenciales (AE) en *T. urticae* y *B. tabaci* a nivel laboratorio bajo condiciones controladas, donde los aceites esenciales han mostrado efectos sobre la mortalidad de huevos y adultos, la repelencia de adultos y la disminución en la oviposición (Da Cámara *et al.* 2015; Reddy y Dolma 2017; Baldin *et al.* 2012; Baldin *et al.* 2014). Sin embargo, son escasos los estudios en condiciones ambientales fluctuantes, como invernaderos rústicos o campo abierto, donde normalmente serían aplicados los aceites, y éstos estarían expuestos a diversos factores, como radiación solar, temperaturas altas y humedades relativas bajas, que pudieran afectar su persistencia. Por lo que es importante las evaluaciones bajo estas condiciones.

El orégano mexicano (*Lippia origanoides* Kunth) es una especie muy variable, con una distribución amplia, desde el norte de Argentina hasta el norte de México. El nombre *L. graveolens* Kunth se establece como sinónimo de *Lippia origanoides* Kunth, al igual que otros nombres frecuentemente utilizados, en México, para la determinación de esta especie, entre ellos *L. palmeri* S. Watson y *L. berlandieri* Schaueres

(Llamas-Torres *et al.*, 2022). *Lippia origanoides* es una especie vegetal aromática de porte herbáceo-arbustivo, comúnmente usado para fines culinarios, cosméticos y medicinales en México (Sánchez-Ramos *et al.*, 2011). Un estudio detallado de la diversidad fitoquímica del AE de *L. origanoides* de 14 poblaciones silvestres que crecen en un gradiente edafoclimático del Sur de México se identificaron 70 componentes, con tres distintos quimiotipos, dos de los cuales contienen carvacrol o timol como su principal componente (Calvo-Irabién *et al.*, 2014). Los AEs de *L. origanoides* han mostrado un enorme potencial para el manejo de plagas en la agricultura, ya que se encuentran reportes sobre su efecto en *Myzus persicae*, *T. urticae*, *Spodoptera frugiperda* (Mar *et al.*, 2018, Sombra *et al.*, 2018, Teixeira *et al.*, 2014,); así como en plagas de granos almacenados (Nerio *et al.*, 2009). Estos son fuente importante de compuestos insecticidas, principalmente por la presencia de carvacrol y timol, estos compuestos son capaces de conferir al aceite esencial de *L. origanoides* el potencial de causar la muerte, inhibición de la alimentación y oviposición (Sombra *et al.*, 2018). Además, varios estudios en condiciones controladas han mostrado que tienen fuerte acción tóxica y repelente contra una gran variedad de insectos plagas. Por ejemplo, Tak e Isman (2017a) observaron entre 66 % y el 100 % de mortalidad y entre 66 % y 93 % de repelencia sobre adultos de *T. urticae* después de 24 h de aplicar timol y carvacrol al 0.2% v/v. También, Xie *et al.*, (2019) reporta 90 % de mortalidad en larvas de *Musca domestica* L. después de 24 h de aplicar carvacrol al 0.61 % v/v. Otro estudio reporta entre el 95 % y 90 % de repelencia sobre larvas de *Frankliniella occidentalis* (Pergande) después de 6 h de aplicar timol y carvacrol al 1% v/v (Peneder y Koschier, 2011). Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue evaluar bajo condiciones fluctuantes de invernadero el efecto tóxico letal y repelente del AE de *L. origanoides*, así como de sus dos componentes mayoritarios, el carvacrol y timol sobre *T. urticae* y *B. tabaci*, considerando que las condiciones de esta evaluación se aproximan a los escenarios reales donde los productos para manejo de plagas son usados.

MATERIALES Y MÉTODOS

Colonia de *B. tabaci* y *T. urticae*

En los experimentos se utilizaron ejemplares de *B. tabaci* y *T. urticae* que se obtuvieron de las colonias establecidas en invernaderos del área de investigación hortícola del Instituto Tecnológico de Conkal, en Conkal (21°4'N, 89°31'W, 10), Yucatán, México. Originalmente las colonias de *T. urticae* se obtuvieron en 2018 de plantas de papaya *Carica papaya* L. cultivadas en traspatio, y de *B. tabaci* biotipo B se obtuvo de cultivos de chile habanero (*Capsicum chinense*) en el Municipio de Conkal, Yucatán

(Ballina-Gómez *et al.* 2013; Cua-Basulto *et al.* 2022). Las colonias de ambas especies se han mantenido en plantas de berenjena (*Solanum melongena* L.) establecidas en macetas de 10 L, sin la aplicación de insecticidas.

Las condiciones ambientales en los invernaderos de las colonias de *B. tabaci* y *T. urticae* fueron las siguientes: temperatura de 25-37°C, humedad relativa de 70-90 % y fotoperiodo de 14 h luz:10 h oscuridad. Estas condiciones fueron las mismas para los invernaderos donde se realizaron los bioensayos de evaluación de los tratamientos.

Obtención de aceite esencial y los compuestos orgánicos volátiles

El AE de *L. origanoides* se obtuvo de plantas de campo colectadas en la zona de Nohuayún, municipio de Tetiz, Yucatán. Las hojas secas fueron sometidas a hidrodestilación en un aparato tipo Clevenger usando 400 g de material vegetal y 500 ml de agua destilada, el procedimiento tuvo una duración de 4 h después de hervir la mezcla. El destilado se colectó en una bureta con una trampa de hexano de 2 mL. Una vez terminada la destilación, y para asegurar la eliminación completa de la fase acuosa, se filtró la mezcla de aceite esencial y hexano a través de una pipeta Pasteur empacada con aproximadamente 1 cm de sulfato de sodio anhidro. Para evaporar el hexano del aceite, se utilizó una corriente de nitrógeno durante 30 min. El aceite esencial se almacenó a 4° C en viales de vidrio hasta su análisis por cromatografía de gases. El carvacrol (CAS 499-75-2) y el timol (CAS 89-83-8) se obtuvieron de la compañía Sigma Aldrich.

Preparación y aplicación de los tratamientos

Los tratamientos a base de AE de *L. origanoides*, carvacrol y timol se obtuvieron por dilución en una mezcla de agua destilada y etanol/Tween 80 (0.4 % v/v) para lograr una concentración de 2 mL L⁻¹ (0.2 % v/v) y se realizó una segunda dilución de 0.1 mL L⁻¹ (0.01% v/v). Todos los tratamientos se prepararon y aplicaron individualmente. Para el control se utilizó la mezcla de agua destilada y Tween 80 (0.4 % v/v). Todos los bioensayos se realizaron en plantas de berenjenas de 45 días de edad, establecidas en macetas de plástico de 2 L.

Bioensayos para evaluar efecto tóxico letal sobre *T. urticae* y *B. tabaci*

Para los bioensayos, para cada tratamiento se usó un lote de 10 plantas de berenjena de 45 días de edad. Las plantas de berenjena a esta edad son altamente susceptibles a *T. urticae* y *B. tabaci*, y se han usado en trabajos anteriores para bioensayos de evaluación de productos químicos y biorracionales (Pacheco-Aguirre

et al., 2020; Cua-Basulto *et al.*, 2022). Para infestar con *T. urticae*, las plantas de berenjena sanas se colocaron intercaladas con plantas infestadas con *T. urticae* en el invernadero donde se mantenía la colonia. A los 15 días, las hojas de estas plantas recién infestadas contaban con ninfas y adultos para los bioensayos (5-10 individuos por hoja). Para infestar con *B. tabaci*, se procedió de la misma forma que con *T. urticae*. Plantas sanas fueron intercaladas con plantas infestadas con *B. tabaci* en el invernadero donde se mantenía la colonia. A los 7 días se obtuvieron plantas con huevos (20-40 huevos/cm²) y ninfas (15-25 ninfas/cm²) de *B. tabaci*.

Las plantas recién infestadas fueron tratadas por el método de aspersión al haz y envés usando un atomizador manual hasta lograr cobertura total de las hojas y punto de goteo. Las plantas se mantuvieron en macetas de plástico de 2 L bajo condiciones de invernadero. La mortalidad de *T. urticae* se evaluó a las 24 h después de los tratamientos y de *B. tabaci* a las 48 h después de la aplicación de los tratamientos. Para tales efectos, se recolectó una hoja de cada planta tratada y se llevó al laboratorio para contabilizar los individuos muertos con ayuda de un microscopio estereoscópico, donde se observaron varios campos al azar para realizar las evaluaciones (modificado de Wagan *et al.*, 2018). Para *T. urticae* se evaluó la mortalidad de ninfas y adultos, y para *B. tabaci* se evaluó la mortalidad de huevos y ninfas. Una hoja de una planta tratada representó una repetición, contando con 10 repeticiones por tratamiento para ambas especies.

Bioensayos de repelencia de *T. urticae*

Este experimento (modificado de da Camara *et al.*, 2015) consistió en colocar cinco grupos de tres plantas de 45 días de edad alineadas a una distancia de 30 cm entre ellas por tratamiento. La planta del centro estaba infestada y las dos laterales sanas. Las plantas sanas se unieron a la infestada mediante hilos de algodón de 30 cm de longitud y 4 mm de diámetro para establecer un puente por donde los ácaros pudieran desplazarse de la planta infestada a las plantas sanas. Las cuerdas se sumergieron durante 10 s en los tratamientos (AE de *L. origanoides*, timol y carvacrol) preparados de forma individual. Después de la inmersión, las cuerdas se dejaron secar a temperatura ambiente durante 5 min. La cuerda de control se sumergió en una solución Tween/alcohol 80 al 0.2%. En la base del tallo de cada planta se aplicó vaselina para evitar que los ácaros migraran fuera de las plantas. Cada grupo de tres plantas representó una repetición. Cada tratamiento se estableció con cinco repeticiones. El diseño fue completamente al azar. Se registró el número de ácaros en estadios activos, por ser los en las plantas conectadas con hilos tratados y no tratados, a los dos y cinco días después del inicio del experimento.

Bioensayos de repelencia de *B. tabaci*

Plantas sanas de berenjena se trataron por el método de aspersión como se describió anteriormente. Después del tratamiento, las hojas se secaron durante 30 min y luego las plantas se llevaron al invernadero de la colonia de *B. tabaci*. Dentro del invernadero, las plantas tratadas se colocaron en hileras separadas 40 cm de las hileras de plantas infestadas de la colonia. La evaluación de repelencia y disuasión de la oviposición se realizó a los 2 y 5 días después de la aplicación de los tratamientos. Para tales efectos, se observaron dos hojas del tercio superior de cada planta para contar el número de adultos en el lado abaxial de las hojas. Estas hojas se cortaron y llevaron al laboratorio y se observaron con un estereoscopio para determinar el número de huevos. El área foliar se calculó tomando una fotografía de la hoja y procesando con el software ImageJ (Umpiérrez et al. 2017). Una hoja representaba una repetición. Se incluyeron 10 repeticiones para cada tratamiento.

Análisis de Cromatografía de gases acoplado a espectrometría de masas (CG-MS)

La composición química fue evaluada mediante cromatografía de gases con la finalidad de determinar a qué quimiotipo pertenece el AE de *L. origanoides* que utilizamos. El aceite esencial se diluyó con diclorometano 1:10 (v/v) y se usó como tal para el análisis GC-MS. El aceite esencial se analizó con un sistema GC-MS Agilent 5977 MSD que funcionaba en modo EI. Las temperaturas del inyector y de la línea de transferencia de MS se fijaron en 280 y 200 °C. Se utilizó una inyección splitless de 50 mL/min en el análisis. Se usaron una columna HP-5MS (30 mx 0.25 mm, espesor de película de 0.25 µm) y helio como gas portador (1 mL/min). El programa de temperatura del horno fue: 50 °C durante 1 min y luego se elevó a 300 °C a una velocidad de 7 °C/min, luego la temperatura se mantuvo constante a 300 °C durante 5 min. Los espectros de masas se registraron a 70 eV con el intervalo de masas m/z 50-650. Las cantidades relativas de los compuestos separados se calcularon a partir de la integración de los picos en los cromatogramas. Para la identificación de los componentes del AE, los fragmentogramas obtenidos de cada uno de los compuestos presentes, se compararon con los almacenados en la base de datos NIST 2016.

Diseño experimental y análisis de datos

Todos los valores de mortalidad fueron corregidos por mortalidad natural utilizando la fórmula de Abbot

(Abbott, 1925): $\% MC = (1 - Ts/Cs) \times 100$, donde MC es la mortalidad corregida, Ts es el porcentaje de individuos sobrevivientes en el tratamiento insecticida y Cs es el porcentaje de sobrevivientes en el control. Posteriormente se analizaron para determinar los efectos de los tratamientos mediante modelos lineales generalizados, donde se utilizó la familia Gaussiana con función enlace de Identidad y se realizó la comparación de medias con las pruebas de Bonferroni. El porcentaje de repelencia en *T. urticae* y *B. tabaci* se calculó mediante la fórmula: $\% \text{ de repelencia} = [(C-T) / (C+T)] \times 100$, donde C y T correspondieron a los valores de número de individuos (adulto o inmaduro) en el control y el tratamiento, respectivamente, por lo tanto, entre mayores sean los valores indica mayor grado de repelencia (Akhtar et al., 2012). Los datos de repelencia de cada experimento se sometieron a análisis de varianza (ANOVA). Las medias se compararon mediante la prueba de Tukey ($P < 0.05$). Todos los análisis se realizaron con el software Infostat versión 2018 (Di Rienzo et al. 2018)

RESULTADOS

Efecto tóxico letal sobre *T. urticae* y *B. tabaci*

La aplicación de los tratamientos sobre *T. urticae* tuvo efectos significativos sobre la mortalidad, tanto en adultos ($X^2_{(5,54)} = 2.82$, $p < 0.05$), como en ninfas ($X^2_{(5,54)} = 3.78$, $p < 0.01$). En adultos, la mortalidad producida por los tratamientos, con excepción del carvacrol 0.01 %, estuvo entre 45-95 %, donde el carvacrol al 0.2 % fue significativamente más tóxico que carvacrol al 0.01 %. El efecto del resto de los tratamientos no fue significativamente diferente al del carvacrol al 0.2 %. En ninfas, la mortalidad producida por los tratamientos estuvo entre 42-93 %; donde el AE de *L. origanoides* al 0.2 % fue significativamente más tóxico que el timol al 0.01 %. El efecto del resto de los tratamientos no fue significativamente diferente al del AE de *L. origanoides* al 0.2 % (Figura 1).

La aplicación de los tratamientos sobre *B. tabaci* tuvo efectos significativos sobre la mortalidad, tanto en huevos ($X^2_{(5,53)} = 3.31$, $p < 0.01$), como en ninfas ($X^2_{(5,53)} = 3.33$, $p < 0.05$). En huevos la mortalidad producida por los tratamientos estuvo entre 65-99 %; el AE y el carvacrol ambos al 0.2 % fueron significativamente más tóxicos que el AE y el timol al 0.1 %. En ninfas, la mortalidad producida por los tratamientos, con excepción de timol 0.01 %, estuvo entre 45-87 %. Los tratamientos AE, carvacrol y timol, todos al 0.2 % fueron significativamente más tóxicos que el timol al 0.01 % (Figura 2).

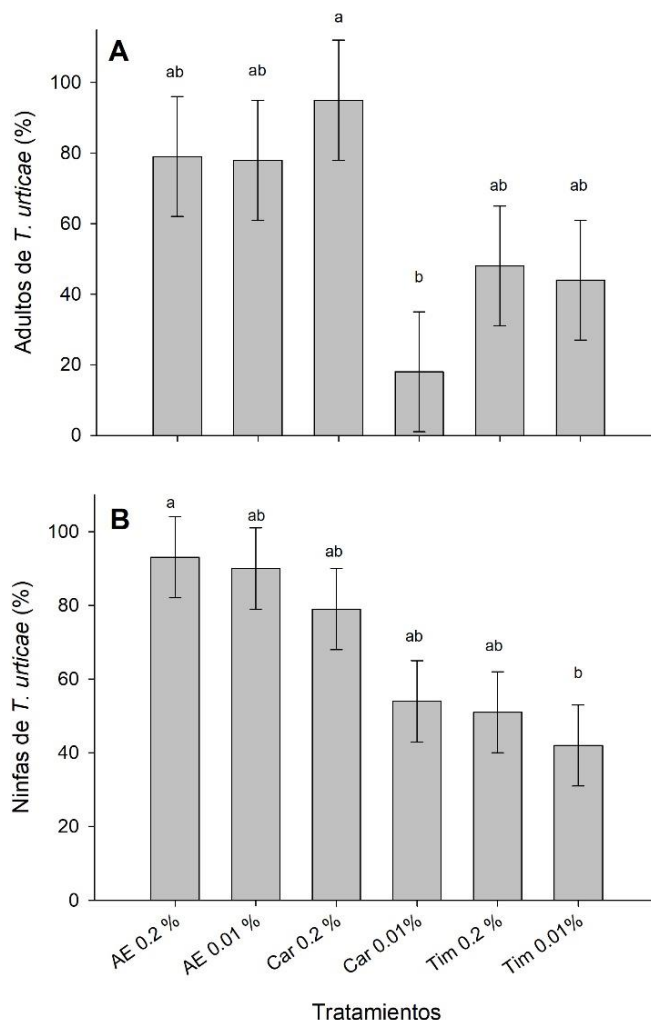


Figura 1. Porcentaje de mortalidad corregida en adultos (A) y ninfas (B) de *T. urticae* producido por AE de *L. organoides*, timol y carvacrol a concentraciones de 0.2 % y 0.01 % (v/v). Las evaluaciones se hicieron a las 24 h posteriores a la aplicación. Las barras representan las medias \pm error estándar. Medias que no comparten letras son diferentes significativamente (GLM, n=10, p < 0.05).

Efecto repelente en *T. urticae* y *B. tabaci*

Los efectos repelentes de los tratamientos sobre *T. urticae* se evaluaron al día 2 y 5 después de la aplicación. Sobre la repelencia de móviles, se observó mayor efecto al día 2 ($F = 5.06$, $gl = 5$, $p = 0.002$) que al día 5. Al día 2, el AE 0.2 % tuvo mayor efecto (Figura 3). Sobre la disuasión de la oviposición, al día 2 se observó diferencia entre tratamientos ($F = 2.07$, $gl = 5$, $p < 0.04$), el AE 0.2 % tuvo mayor efecto que el resto de los tratamientos, mientras que al día 5 después de la aplicación no se observó diferencia entre tratamientos (Figura 3).

Se calculó el porcentaje de repelencia de adultos y de la disuasión de la oviposición de *B. tabaci* para todos

los tratamientos. Al día 2, únicamente la actividad repelente sobre adultos de *B. tabaci* fue mayor en AE al 0.2 % (45.5 %), aunque no se presentaron diferencias estadísticas significativas ($F = 0.87$, $gl = 5$, $p = 0.5$). Al día 5 tampoco se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos ($F = 1.47$, $gl = 5$, $p = 0.21$). En la disuasión de la oviposición, al día 2 se observó que el carvacrol al 0.2 % produjo la mayor disuasión de oviposición (41.79 %), pero el efecto no fue significativo ($F = 0.73$, $gl = 5$, $p = 0.6$). Al día 5, el carvacrol al 0.01 % logró significativamente ($F = 3.51$, $gl = 5$, $p < 0.01$) mayor disuasión de la oviposición (27.51 %) comparado con los otros tratamientos (Figura 4).

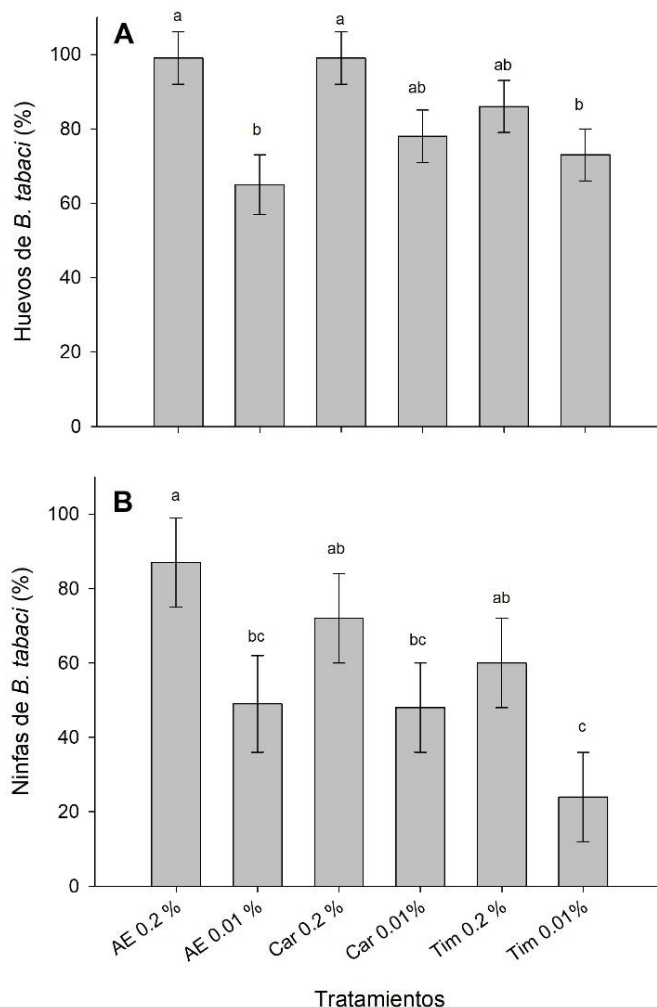


Figura 2. Porcentaje de mortalidad corregida en huevos (A) y ninfas (B) de *B. tabaci* producido por AE de *L. origanoides*, timol y carvacrol a concentraciones de 0.2 % y 0.01 % (v/v). Las evaluaciones se hicieron a las 48 h posteriores a la aplicación. Las barras representan las medias \pm error estándar. Medias que no comparten letras son diferentes significativamente (GLM, $p < 0.05$; Prueba post-hoc Bonferroni).

Compuestos orgánicos volátiles identificados en el AE de *L. origanoides*

El análisis cromatográfico del aceite esencial de *L. origanoides* mostró la presencia de 15 compuestos que componen el 92% del total, entre ellos se encuentran varios terpenos y terpenoides. Entre los componentes mayoritarios se encuentran el timol (41.14%), para-cimeno (14.06%) y carvacrol (9.25%) (Tabla 1).

DISCUSIÓN

Los aceites esenciales y sus componentes tienen amplio potencial para el manejo de plagas en la agricultura. En el presente estudio se observó que el AE de *L. origanoides* y dos de sus compuestos mayoritarios, el carvacrol y el timol presentaron efectos tóxicos letales y repelentes sobre *T. urticae* y

B. tabaci. De manera general el AE de *L. origanoides* tuvo mayor actividad que el carvacrol y timol sobre ambas especies de plagas. Estudios similares también han reportado que los AE producen mayor efecto letal y de repelencia que sus componentes mayoritarios, por separado, en *T. urticae* (Ribeiro *et al.*, 2016; Attia *et al.*, 2011; Li, *et al.* 2021) y en *B. tabaci* (Baldin *et al.*, 2014; Ribeiro, *et al.* 2020). Una posible explicación de por qué los efectos de los AEs son más potentes que los efectos individuales de sus componentes, podría estar asociado a la distribución porcentual de los compuestos mayoritarios y a las posibles sinergias existentes entre otros compuestos presentes en el AE (Lu *et al.*, 2019; Khleifat *et al.*, 2019). Se tienen reportes de la actividad insecticida de los compuestos minoritarios de *L. origanoides*, como eucaliptol γ -terpineno. Respecto a eucaliptol (1-8 cineol), éste tiene efectos letales contra *Tetranychus urticae* (Miresmailli

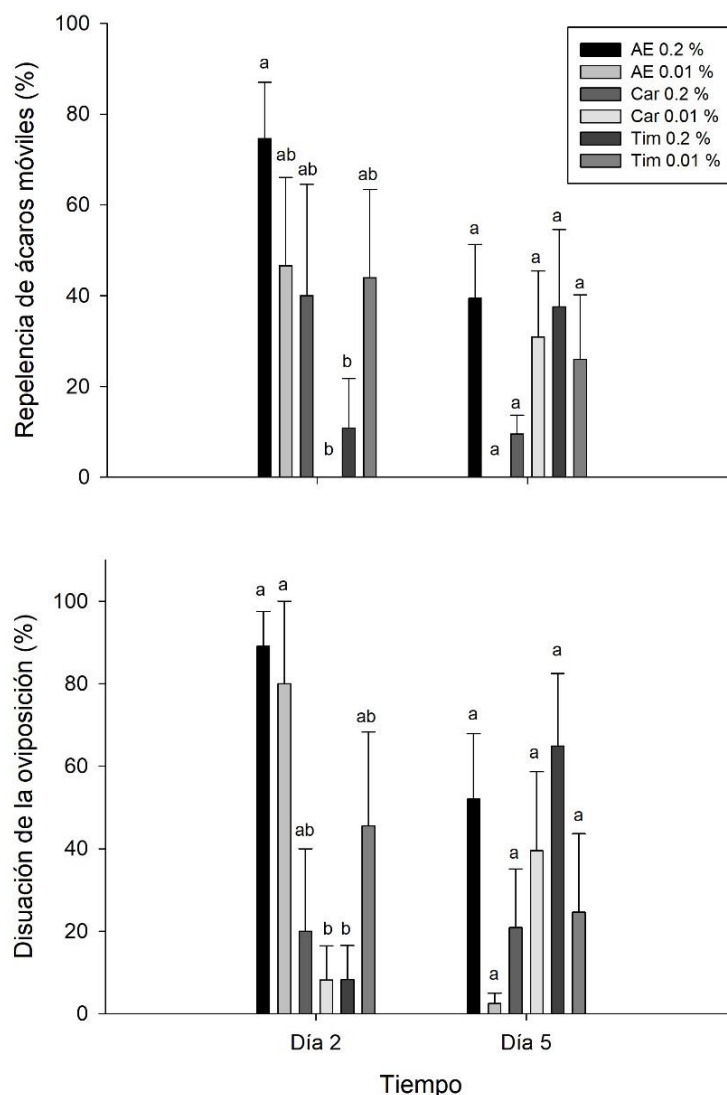


Figura 3. Porcentaje de repelencia de ácaros móviles y disuasión de oviposición de *T. urticae* producida por el AE de *L. origanoides*, carvacrol y timol a los 2 y 5 días de la aplicación. Los tratamientos se aplicaron a una concentración de 0.2 % y 0.01 % (v/v). Las barras (media \pm error estándar) que no comparten letras son significativamente diferentes (ANOVA, $p < 0.05$; Prueba post-hoc Tukey).

et al., 2006), así como contra otras plagas, como los lepidópteros *Trichoplusia ni* y *Spodoptera litura* (Liu *et al.*, 2021; Tak e Isman 2017b). También muestra efectos en la oviposición y supervivencia de *B. tabaci* (Mondal *et al.*, 2021). Otro compuesto reportado como altamente activo contra plagas es el γ -terpineno, cuyos efectos se han documentado contra *Spodoptera littoralis*, *Aphis fabae* y *Aphis gossypii* (Abbassy *et al.*, 2009; Zhou *et al.*, 2021). Algunos estudios sugieren que las diversas sinergias que existen entre todos los componentes de los AE provocan la activación de múltiples sitios de acción, por interacciones

fisicoquímicas o inhibiendo los mecanismos de resistencia, lo que a su vez potenciaría el efecto tóxico de los AEs (Langeveld *et al.*, 2014; Tak e Isman, 2017b). Por ejemplo, el carvacrol es capaz de competir por los receptores nicotínicos de acetilcolina, actuando como inhibidor de la acetilcolinesterasa, bloqueador del receptor de octopamina o receptores de tiramina (Sombra *et al.*, 2018); el timol también puede actuar inhibiendo la acetilcolinesterasa (Camilo *et al.* 2022). Tak e Isman (2017c), reportan el efecto de sinergia entre el timol y p-cimeno (1:1), sugiriendo que el p-cimeno ayuda a que el timol penetre en el organismo.

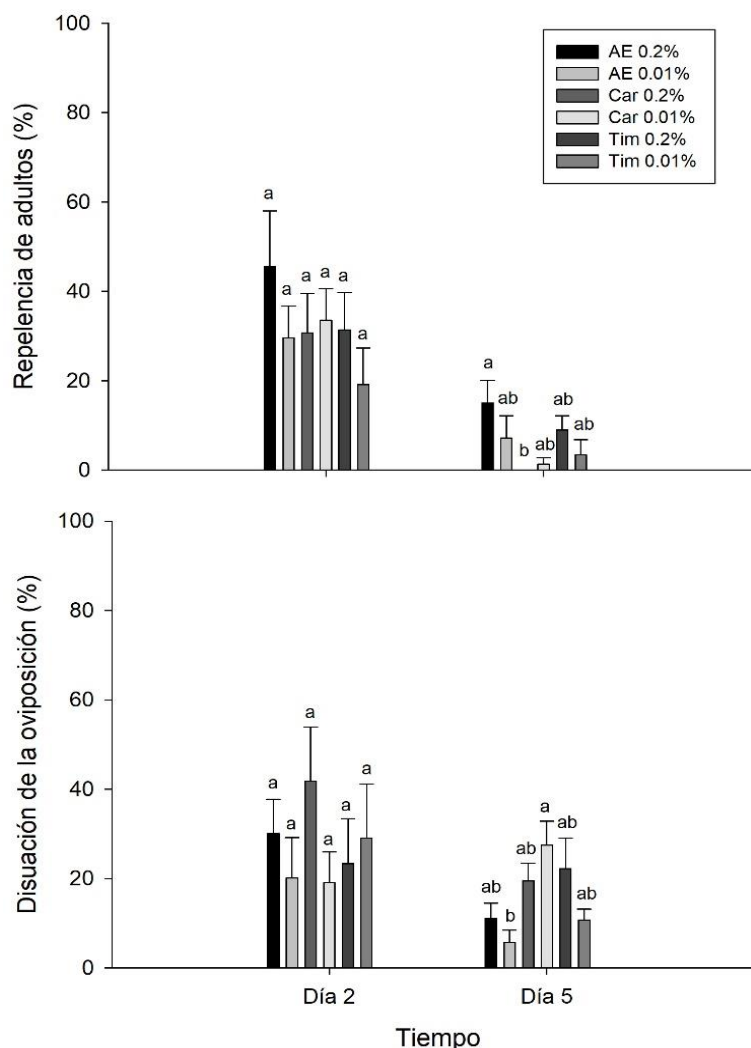


Figura 4. Porcentaje de repelencia de adultos y disuasión de oviposición de *B. tabaci* producida por el AE de *L. organoides*, carvacrol y timol a los 2 y 5 días de la aplicación. Los tratamientos se aplicaron a una concentración de 0.2 % y 0.01 % (v/v). Las barras (media \pm error estándar) que no comparten letras son significativamente diferentes (ANOVA, $p < 0.05$; Prueba post-hoc Tukey).

Tabla 1. Compuestos mayoritarios identificados en el aceite esencial de *Lippia organoides*

| Compuestos | Índice de Retención | (% de área) |
|--|---------------------|--------------|
| β -Pineno | 7.017 | 2.38 |
| 1,3-Ciclohexadieno, 1-metil-4-(1-metiletilo)- | 7.573 | 1.40 |
| Para-cimeno | 7.798 | 14.06 |
| Eucaliptol | 7.911 | 2.51 |
| γ -Terpineno | 8.462 | 2.83 |
| Terpinen-4-ol | 10.969 | 0.94 |
| Benceno, 2-metoxi-4-metil-1-(1-metiletilo)- | 12.096 | 3.94 |
| Carvacrol | 13.226 | 9.25 |
| Timol | 13.531 | 41.14 |
| Fenol, 2-metil-5-(1-metiletilo)-, acetato | 14.785 | 1.13 |
| Cariofileno | 15.763 | 4.63 |
| 1,4,7,-Cicoundecatrieno, 1,5,9,9-tetrametil-, Z,Z,Z- | 16.37 | 2.81 |
| Fenol, 3-(1,1-dimetiletilo)-4-metoxi- | 16.758 | 1.19 |
| Óxido de cariofileno | 18.63 | 3.11 |
| (1R,3E,7E,11R)-1,5,5,8-Tetrametil-12-oxabicyclo[9.1.0]dode | 19.054 | 1.38 |

Varias especies del género *Lippia* han sido evaluadas como repelentes y como agentes tóxicos letales a dosis más altas que las utilizadas en el presente trabajo, obteniendo resultados variados. Por ejemplo, Magano *et al.*, (2011) aplicó AE de *Lippia javanica* (Burm f.) Spreng. al 2.7 % v/v y obtuvo solo 33 % de repelencia. Incluso, en otras especies de garrapatas, como *Rhipicephalus microplus*, el aceite de *Lippia alba* (Mill.) N.E. Br. ex Britton & P. Wilson al 2.9 % v/v y *Lippia triplinervis* Gardner al 5 % v/v, produjeron entre 50 % y 90 % de mortalidad (Peixoto *et al.*, 2015; Lage *et al.*, 2013), así también el AE de *L. organoides* al 1.25 % (v/v) produjo 94 % de mortalidad (Martínez-Velázquez *et al.*, 2011). Nerio *et al.* (2009) estudiaron el efecto repelente de varias plantas aromáticas, *L. organoides* causó el mayor porcentaje de repelencia contra *Sitophilus zeamais* (92%), a concentración de 0.503 $\mu\text{L}/\text{cm}^2$, posiblemente debido a la acción del timol, principal componente observado. De acuerdo con los resultados obtenidos en el presente estudio, los tratamientos a concentraciones de 0.2 % v/v tuvieron efectos letales y repelentes sobre *T. urticae* y *B. tabaci*. Al disminuir las concentraciones a 0.01 % v/v se mantuvo el efecto letal sobre *T. urticae*, pero disminuyó sobre *B. tabaci*. Los efectos repelentes disminuyeron en ambas especies cuando se aplicaron concentraciones menores tanto del AE como del timol y carvacrol. El AE de *L. organoides* también es efectivo contra *Spodoptera frugiperda*, a las 6 h causa 97.8% de mortalidad a concentración de 0.5% (Sombra *et al.*, 2018), además tiene efectos letales sobre *T. urticae* y *Cerataphis lataniae* a bajas concentraciones (DL_{50} : 25.1 ± 1.1 y 6.6 ± 0.5 $\mu\text{g}/\text{mL}$) (Mar *et al.*, 2018). Teixeira *et al.* (2014) evaluaron el AE de *L. organoides* sobre *Myzus persicae* a concentración de 0.1 y 0.5%, encontrando efectos altos a la concentración de 0.5%.

En condiciones similares a las establecidas en este trabajo, da Camara *et al.* (2015) reportan una tendencia similar, de disminución del efecto al aplicar menores concentraciones de AE sobre *T. urticae*, cabe mencionar que las concentraciones usadas en tal estudio fueron mayores (1 % v/v) a las usadas en el presente trabajo. Estudios en condiciones de laboratorio han mostrado que los efectos letales y repelentes de los AEs sobre *T. urticae* y *B. tabaci* son dependientes de las concentraciones usadas, en rangos que van de 1.5 a 0.15 % v/v (Laborda *et al.*, 2013; Pereira *et al.*, 2018; Pereira *et al.*, 2022). Es importante resaltar que también se observó que el efecto del AE, carvacrol y timol disminuye con el tiempo, lo anterior debido a que los metabolitos que componen los AEs son de naturaleza volátil, y por lo consiguiente son liberados al ambiente de forma relativamente rápida (De Clerk *et al.*, 2021).

El AE de *L. organoides* que se utilizó en este estudio mostró que los tres compuestos más abundantes fueron

timol (41%), para-cimeno (14%) y carvacrol (9%). Los resultados corroboran los encontrados por Calvo-Irabién *et al.*, (2009), quien analizó 14 poblaciones silvestres de *L. organoides* del sur de México. Ellos encontraron tres quimiotipos diferentes, dos quimiotipos fenólicos, con carvacrol (C) o timol (T) como compuestos dominantes, y un quimiotipo no fenólico (S). Mientras que el quimiotipo C se asoció con clima semiárido y menos profundo y suelos más rocosos, se encontró quimiotipo T para plantas que crecen en condiciones menos áridas y en condiciones más profundas. Escobar *et al.*, (2010) analizaron los aceites esenciales de plantas cultivadas en diferentes localidades de Colombia y obteniendo como componente principal al carvacrol (20.5%), seguido de p-cimeno (14.8%), timol (13.4%) y γ -terpineno (7.5%). También concuerda parcialmente con lo reportado por Soto-Armenta *et al.*, (2019) quienes mencionan que el carvacrol fue el más abundante (70%) seguido de ac. hexadecanoico (9%), ac. linoleico (7%) y timol (5 %). Estos estudios ponen de relieve que la composición química de los AE de *L. organoides* varía de acuerdo a condiciones del ambiente (suelo y clima) donde se desarrollen las plantas y también por aspectos propios de la estructura poblacional (quimiotipos).

En general el AE de *L. organoides* podría considerarse una opción viable para el manejo de plagas, como se ha observado en el presente trabajo. Sin embargo, es preciso continuar con estudios sobre formulación para mejorar persistencia y estudios sobre extracción eficiente para disminuir costos de producción, así también se deben trabajar en conjunto sector gubernamental y productivo para incentivar el desarrollo tecnológico y la integración de este grupo de productos como insecticidas/acaricidas en la agricultura orgánica.

CONCLUSIÓN

El AE de *L. organoides* tiene mayores efectos tóxicos letales y repelentes que el timol y el carvacrol sobre ninfas y adultos de *T. urticae* y sobre huevos y ninfas de *B. tabaci*. El efecto es mayor sobre *B. tabaci* cuando se aplica a concentraciones de 0.2% v/v, y se mantiene su efecto tóxico al disminuir la concentración a 0.01 % v/v. El efecto repelente del AE de *L. organoides* disminuye drásticamente a través del tiempo. El AE de *L. graveolens* contiene timol, para-cimeno y carvacrol, como componentes mayoritarios.

Funding. The authors thank CONACYT Mexico for the scholarship awarded to Angel M. Herrera Gorocica. This work was funded by Tecnológico Nacional de México, Research Project 9093.20-P granted to Esau Ruiz-Sanchez and Research Project 14565.22-P granted to Arturo Reyes-Ramírez.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Compliance with ethical standards. Not applicable.

Data availability. The data is available upon request, with the corresponding author esau.ruiz@itconkal.edu.mx

Author contribution statement (CRediT)

A.M. Herrera-Gorocica, conceptualization, methodology, visualization and writing original draft; **E. Hernández-Núñez**, methodology, validation and formal analysis; **L.M. Calvo-Irabién**, methodology, validation and writing review and editing, **A. Sánchez-Contreras**, methodology and validation; **A.L. Ruiz-Jiménez**, formal analysis and writing original draft; **H.S. Ballina-Gómez**, conceptualization, validation and resources; **E. Ruiz-Sánchez**, conceptualization, resources, supervision, writing original draft, writing review and editing.

REFERENCIAS

- Abbassy, M. A., Abdelgaleil, S. A. M., and Rabie, R. Y. A., 2009. Insecticidal and synergistic effects of *Majorana hortensis* essential oil and some of its major constituents. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 131, pp. 225–232. <http://doi.org/10.1111/j.1570-7458.2009.00854.x>
- Abbott, W.S., 1925. A method of computing the effectiveness of an insecticide. *Journal of Economic Entomology*, 18, pp. 265–267.
- Akhtar, Y., Pages, E., Stevens, A., Bradbury, R., da Camara, C.A.G., and Isman, M.B., 2012. Effect of chemical complexity of essential oils on feeding deterrence in larvae of the cabbage looper. *Physiological Entomology*, 37(1), pp. 81–91. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3032.2011.00824.x>
- Attia, S., Grissa, K.L., Lognay, G., Heuskin, S., Mailleux, A.C., and Hance, T., 2011. Chemical Composition and Acaricidal Properties of *Deverra scoparia* Essential Oil (Araliales: Apiaceae) and Blends of Its Major Constituents Against *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae). *Journal of Economic Entomology*, 104(4), pp. 1220–1228. <https://doi.org/10.1603/ec10318>
- Baldin, E.L.L., Aguiar, G.P., Fanela, T.L.M., Soares, M.C.E., Groppo, M., and Crotti, A.E.M., 2014. Bioactivity of *Pelargonium graveolens* essential oil and related monoterpenoids against sweet potato whitefly, *Bemisia tabaci* biotype B. *Journal of Pest Science*, 88(1), pp. 191–199. <https://doi.org/10.1007/s10340-014-0580-8>
- Baldin, E.L.L., Crotti A.E.M., Wakabayashi, K.A.L., Silva, J.P.G.F., Aguiar, G.P., Souza, E.S., Veneziani, R.C.S., Groppo, M., 2012. Plant-derived essential oils affecting settlement and oviposition of *Bemisia tabaci* (Genn.) biotype B on tomato. *Journal of Pest Science*, 86(2), pp. 301-308. <https://doi.org/10.1007/s10340-012-0462-x>
- Ballina-Gómez H., Ruiz-Sanchez, E., Chan-Cupul, W., Latournerie-Moreno, L., Hernández-Alvarado, L., Islas-Flores, I., Zuñiga-Aguilar, J.J., 2013. Response of *Bemisia tabaci* Genn. (Hemiptera: Aleyrodidae) Biotype B to Genotypes of Pepper *Capsicum annum* (Solanales: Solanaceae). *Neotropical Entomology*, 42, pp. 205–210. <https://doi.org/10.1007/s13744-012-0106-0>
- Bolzonella, C., Lucchetta, M., Teo, G., Boatto, V., and Zanella, A., 2019. Is there a way to rate insecticides that is less detrimental to human and environmental health? *Global Ecology and Conservation*, 20, p. e00699. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2019.e00699>
- Calvo-Irabién L.M., Parra-Tabla V., Acosta-Arriola V., Escalante-Erosa F., Díaz-Vera L., Dzib G.R., and Peña-Rodríguez L.M., 2014. Phytochemical diversity of the essential oils of Mexican Oregano (*Lippia graveolens* Kunth) populations along an edapho-climatic gradient. *Chemistry & Biodiversity*, 11(7), pp. 1010-1021. <https://doi.org/10.1002/cbdv.201300389>
- Calvo-Irabién, L.M., Yam-Puc, J.A., Dzib, G., Escalante-Erosa, F., and Peña-Rodríguez, L.M., 2009. Effect of Postharvest Drying on the Composition of Mexican Oregano (*Lippia graveolens*) Essential Oil. *Journal of Herbs, Spices & Medicinal Plants*, 15(3), pp. 281–287. <https://doi.org/10.1080/10496470903379001>
- Camilo, C., Alves Nonato, C., Galvão-Rodrigues, F., Costa, W., Clemente, G., Sobreira Macedo, M., Galvão Rodrigues, F., da Costa, J., 2017. Acaricidal activity of essential oils: a review. *Trends in Phytochemical Research*, 1(4), pp. 183-198.

- Camilo, C.J., Duarte Leite, D.O., Alves Nonato, C.F., Gomes de Carvalho, N.K., Alves Ribeiro, D., Martins da Costa, J.G., 2022. Traditional use of the genus *Lippia* sp. and pesticidal potential: A review. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 40, 102296.
- Cavalcanti, S.C.H., Niculau, E.dosS., Blank, A.F., Camara, C.A.G., Araújo, I.N., and Alves, P.B., 2010. Composition and acaricidal activity of *Lippia sidoides* essential oil against two-spotted spider mite (*Tetranychus urticae* Koch). *Bioresource Technology*, 101(2), pp. 829–832. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.08.05>
- Chen, Q., Liang, X., Wu, C., Gao, J., Chen, Q., and Zhang, Z., 2019. Density threshold-based acaricide application for the two-spotted spider mite *Tetranychus urticae* on cassava: from laboratory to the field. *Pest Management Science*, 75(10), pp. 2634–2641. <http://doi.org/10.1002/ps.5366>
- Correy, G.J., Zaidman, D., Harmelin, A., Carvalho, S., Mabbitt, P.D., Calaora, V., James, P.J., Kotze, A.C., Jackson, C.J., and London, N., 2019. Overcoming insecticide resistance through computational inhibitor design. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 116(42), pp. 21012–21021. <https://doi.org/10.1073/pnas.1909130116>
- Cua-Basulto M., Ruiz, E., Chan-Cupul, W., Reyes-Ramírez, A., Ballina-Gómez, H., Núñez, E., 2022. Efecto de acaricidas químicos en la mortalidad de la araña roja *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae). *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 25, pp. #040. <http://doi.org/10.56369/tsaes.3964>
- Da Camara, C.A.G., Akhtar, Y., Isman, M.B., Seffrin, R.C., and Born, F.S., 2015. Repellent activity of essential oils from two species of Citrus against *Tetranychus urticae* in the laboratory and greenhouse. *Crop Protection*, 74, pp. 110–115. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2015.04.014>
- De Clerck, C., Genva, M., Jijakli, M.H., Fauconnier, M.L., 2021. Use of essential oils and volatile compounds as biological control agents. *Foods*, 10, 1062. <https://doi.org/10.3390/foods10051062>
- Di Rienzo, J.A., Casanoves, F., Gonzalez, L.A., Tablada, E.M., Díaz, M.P., Robledo, C.W., and Balzarini, M.G., 2018. InfoStat ver. 2018. Grupo InfoStat, FCA Universidad Nacional de Cordoba, Argentina.
- Ebadollahi, A., Ziaee, M., Palla, F., 2020. Essential oils extracted from different species of the Lamiaceae plant family as prospective bioagents against several detrimental pests. *Molecules*, 25(7), pp. 1556. <https://doi.org/10.3390/molecules25071556>
- Fiallo-Olivé, E., Pan, L.L., Liu, S.S., and Navas-Castillo, J., 2019. Transmission of begomoviruses and other whitefly-borne viruses: dependence on the vector species. *Phytopathology*, 110, pp. 10–17. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-07-19-0273-FI>
- Khleifat, K.M., Matar, S.A., Jaafreh, M., Qaralleh, H., Al-limoun Muhammad O., and Alsharafa, K.Y., 2019. Essential Oil of *Centaurea damascena* Aerial Parts, Antibacterial and Synergistic Effect. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 22(2), pp. 356–367. <https://doi.org/10.1080/0972060x.2019.1626292>
- Laborda, R., Manzano, I., Gamón, M., Gavidia, I., Pérez-Bermúdez, P., and Boluda, R., 2013. Effects of *Rosmarinus officinalis* and *Salvia officinalis* essential oils on *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae). *Industrial Crops and Products*, 48, pp. 106–110. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.04.011>
- Lage, T.C.A., Montanari, R.M., Fernandes, S.A., de Oliveira Monteiro, C.M., de Oliveira Souza S.T., Zeringota, V., Calmon, F., da Silva Matos, R. and Daemon, E., 2012. Activity of essential oil of *Lippia triplinervis* Gardner (Verbenaceae) on *Rhipicephalus microplus* (Acari: Ixodidae). *Parasitology Research*, 112(2), pp. 863–869. <https://doi.org/10.1007/s00436-012-3209-y>
- Langeveld, W.T., Veldhuizen, E.J.A., and Burt, S.A., 2013. Synergy between essential oil components and antibiotics: a review. *Critical Reviews in Microbiology*, 40(1), pp. 76–

94. <https://doi.org/10.3109/1040841x.2013.763219>
- Le Goff, G.J., Hance, T., Detrain, C., Deneubourg, J.L., and Maillieux, A.C., 2014. Impact of living with kin/non-kin on the life history traits of *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae). *Experimental and Applied Acarology*, 63(1), pp. 37-47. <https://doi.org/10.1007/s10493-014-9783-1>
- Li, S., Li, H., Zhou, Q., Zhang, F., Desneux, N., Wang, S., and Shi, L., 2021. Essential oils from two aromatic plants repel the tobacco whitefly *Bemisia tabaci*. *Journal of Pest Science*, 95(2), pp. 971-982. <https://doi.org/10.1007/s10340-021-01412-0>
- Liu, J., Hua, J., Qu, B., Guo, X., Wang, Y., Shao, M., Luo, S., 2021. Insecticidal terpenes from the essential oils of *Artemisia nakaii* and their inhibitory effects on acetylcholinesterase. *Frontiers in Plant Science*, 12, p. 720816. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.720816>
- Llamas-Torres, I., Grijalva-Arango, R., Porter-Bolland, L., Calvo-Irabién, L.M., 2022. Impacto del manejo in situ-ex situ del orégano mexicano (*Lippia origanoides* Kunth) en el noroeste de Yucatán. *Botanical Sciences*, 100(3), pp. 610-630. <https://doi.org/10.17129/botsci.2994>
- Loetti, V., and Bellocq I., 2017. Effects of the insecticides methoxyfenozide and cypermethrin on non-target arthropods: A field experiment. *Austral Entomology*, 562, pp. 55-260. <https://doi.org/10.1111/aen.12230>
- Lu, X., Liu, J., Weng, H., Ma, Z., and Zhang, X., 2019. Efficacy of binary combinations between methyl salicylate and carvacrol against thrips *Anaphothrips obscurus*: laboratory and field trials. *Pest Management Science*, 76(2), pp. 589-596. <https://doi.org/10.1002/ps.5551>
- Luz, T.R.S.A., Leite, J.A.C., de Mesquita, L.S.S., Bezerra, S.A., Silveira, D.P.B., de Mesquita, J.W.C., Coutinho, D.F., 2020. Seasonal variation in the chemical composition and biological activity of the essential oil of *Mesosphaerum suaveolens* (L.) Kuntze. *Industrial Crops and Products*, 153, pp. 112600. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112600>
- Magano, S.R., Nchu, F., and Eloff, J.N., 2011. In vitro investigation of the repellent effects of the essential oil of *Lippia javanica* on adults of *Hyalomma marginatum rufipes*. *African Journal of Biotechnology*, 10(44), pp. 8970-8975. <https://doi.org/10.5897/ajb11.749>
- Manal S.M.I. y Mennat-Allah N.E.H., 2022. Potential of plant extracts and their elicitor effect on the red sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) defence system against *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) infestation under greenhouse conditions. *International Journal of Acarology*, 48(2), pp. 130-138. <http://doi.org/10.1080/01647954.2022.2041090>
- Mar, J.M., Silva, L.S., Azevedo, S.G., França, L.P., Goes, A.F., Santos, A.L., Bezerra, J.D., Nunomura, R.C., Machado, M.B., Sanches, E.A., 2018. *Lippia origanoides* essential oil: an efficient alternative to control *Aedes aegypti*, *Tetranychus urticae* and *Cerataphis lataniae*. *Industrial Crops and Products*, 111, pp. 292-297. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.10.033>
- Martinez-Velazquez, M., Rosario-Cruz, R., Castillo-Herrera, G., Flores-Fernandez, J.M., Alvarez, A.H., and Lugo-Cervantes, E., 2011. Acaricidal effect of essential oils from *Lippia graveolens* (Lamiales: Verbenaceae), *Rosmarinus officinalis* (Lamiales: Lamiaceae), and *Allium sativum* (Liliales: Liliaceae) against *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* (Acari: Ixodidae). *Journal of Medical Entomology*. 48(4), pp. 822-827. <https://doi.org/10.1603/me10140>
- Mondal, P.C., Nebapure, S.M., Shakil, N.A., Kaushik, P., Rana, V.S., 2021. Chemical composition, insecticidal and oviposition deterrent activities of the essential oil of *Eucalyptus globulus* against *Bemisia tabaci* (whitefly). *Stechnolock: Plant Biology and Research*, 1, pp. 1-10. <https://www.stechnolock.com/article/Chemical-Composition-Insecticidal.pdf>
- Nerio, L.S, Olivero-Verbel, J., Stashenko, E.E., 2009. Repellent activity of essential oils from seven aromatic plants grown in Colombia against *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera). *Journal of Stored Products Research*, 45, pp. 212-214. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2009.01.002>

- Ojeda-Martinez D., Martinez, M., Diaz Isabel., and Santamaria, M., 2020. Saving time maintaining reliability: a new method for quantification of *Tetranychus urticae* damage in Arabidopsis whole rosettes. *BMC Plant Biology* 20(397), pp. 1-19. <http://doi.org/10.1186/s12870-020-02584-0>
- Jesse A. Pacheco-Aguirre, Esaú Ruiz-Sánchez, Luis Chel-Guerrero, Luis Jorge Corzo-Ríos, Alfonso Pérez-Gutiérrez, Arturo Reyes-Ramírez, Horacio S. Ballina-Gómez. 2020. Characterization of *Guazuma ulmifolia* Lam. seed gum and its effect on the activity of *Metarhizium anisopliae* (Metschn.) Sorokin on *Bemisia tabaci* Genn. *Mexican Journal of Biotechnology*, 5(4) pp. 34-48. <https://doi.org/10.29267/mxjb.2020.5.4.34>
- Peixoto, M.G., Costa-Júnior, L.M., Blank, A.F., Lima, A.S., Menezes, T.S.A., Santos, D.A., ... Arrigoni-Blank, M.F., 2015. Acaricidal activity of essential oils from *Lippia alba* genotypes and its major components carvone, limonene, and citral against *Rhipicephalus microplus*. *Veterinary Parasitology*, 210(1-2), pp. 118–122. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2015.03.010>
- Peneder, S., and Koschier, E.H., 2011. Toxic and behavioural effects of carvacrol and thymol on *Frankliniella occidentalis* larvae. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 118, pp. 26–30. <https://doi.org/10.1007/BF03356377>
- Pereira, K., Quintela, E., da Silva, D., do Nascimento, V., da Rocha, D., Silva, J., ... Casal, C., 2018. Characterization of Nanospheres Containing *Zanthoxylum riedelianum* Fruit Essential Oil and Their Insecticidal and Deterrent Activities against *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae). *Molecules*, 23(8), pp. 2052. <https://doi.org/10.3390/molecules23082052>
- Pereira, K.d.C., Quintela, E.D., do Nascimento, V.A., da Silva, D.J., Rocha, D.V.M., Silva, J.F.A., Arthurs, S.P., Forim, M.R., Silva, F.G., Casal, C.d.M., 2022. Characterization of *Zanthoxylum rhoifolium* (Sapindales: Rutaceae) Essential Oil Nanospheres and Insecticidal Effects to *Bemisia tabaci* (Sternorrhyncha: Aleyrodidae). *Plants*, 11, pp. 1135. <https://doi.org/10.3390/plants11091135>
- Reddy, S.G.E., and Dolma, S.K., 2017. Acaricidal activities of essential oils against two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae* Koch. *Toxin Reviews*, 37(1), pp. 62-66. <https://doi.org/10.1080/15569543.2017.1320805>
- Ribeiro, N., Camara, C., and Ramos, C., 2016. Toxicity of essential oils of *Piper marginatum* Jacq. against *Tetranychus urticae* Koch and *Neoseiulus californicus* (McGregor). *Chilean Journal of Agricultural Research*, 76(1), pp. 71–76. <https://doi.org/10.4067/s0718-58392016000100010>
- Ribeiro, N.C., da Camara, C.A.G., Ramos, J.P., and de Moraes, M.M., 2020. Insecticidal potential of citrus and mango essential oils and selected constituents on silverleaf whitefly. *Revista Caatinga*, 33, pp. 90-99. <https://doi.org/10.1590/1983-21252020v33n110rc>
- Rioja, C., Zhurov, V., Bruinsma, K., Grbic, M., and Grbic, V., 2017. Plant-herbivore interactions: A case of an extreme generalist, the two-spotted spider mite *Tetranychus urticae*. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 30(12), pp. 935-945. <https://doi.org/10.1094/MPMI-07-17-0168-CR>
- Salem, N., Kefi, S., Tabben, O., Ayed, A., Jallouli, S., Feres, N., ... Elkahoui, S., 2018. Variation in chemical composition of *Eucalyptus globulus* essential oil under phenological stages and evidence synergism with antimicrobial standards. *Industrial Crops and Products*, 124, pp. 115–125. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.07.051>
- Sánchez-Ramos, G., Quezada, F.H., Lara-Villalón, M., Medina-Martínez, T., and Pérez-Quilantán, L.M., 2011. Parámetros ambientales y abundancia del orégano mexicano (*Lippia graveolens*) en el estado de Tamaulipas. *CienciaUAT*, 6(1), pp. 24-31.
- Santana, A. da S., Baldin, E.L.L. Lima, A.P.S., dos Santos, T.L.B., Santos, M.C., Vieira, T.M., Crotti A.E.M., Takeara, R., 2022. New challenges demand new solutions: Selected essential oils as an alternative to control *Bemisia tabaci* MED in Brazil. *Crop Protection*, 155, pp. 105909. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2022.105909>

- Sombra, K. E. S., Aguiar, C. V. S. de, Oliveira, S. J. de, Barbosa, M. G., Zocolo, G. J., Pastori, P. L., 2018. Potential pesticide of three essential oils against *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). *Chilean Journal of Agricultural Research*. 80, pp. 617-628. <https://doi.org/10.4067/S0718-58392020000400617>
- Soto-Armenta, L.C., Sacramento-Rivero, J.C., Ruiz-Mercado, C.A., Lope-Navarrete, M.C., and Rocha-Urbe, J.A., 2019. Extraction yield and kinetic study of *Lippia graveolens* with supercritical CO₂. *The Journal of Supercritical Fluids*, 145, pp. 205–210. <https://doi.org/10.1016/j.supflu>.
- Souto, A.L., Sylvestre, M., Tölke, E.D., Tavares, J.F., Barbosa-Filho, J.M., and Cebrián-Torrejón, G., 2021. Plant-derived pesticides as an alternative to pest management and sustainable agricultural production: Prospects, applications and challenges. *Molecules*, 26(16), pp. 4835. <https://doi.org/10.3390/molecules26164835>
- Tak, J.H., and Isman, M.B., 2017a. Acaricidal and repellent activity of plant essential oil-derived terpenes and the effect of binary mixtures against *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae). *Industrial Crops and Products*, 108, pp. 786–792. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.08.003>
- Tak, J.-H., and Isman, M.B., 2017b. Penetration-enhancement underlies synergy of plant essential oil terpenoids as insecticides in the cabbage looper, *Trichoplusia ni*. *Scientific Reports*, 7(1), pp. 1–11. <https://doi.org/10.1038/srep42432>
- Tak, J. H., Isman, M. B., 2017c. Enhanced cuticular penetration as the mechanism of synergy for the major constituents of thyme essential oil in the cabbage looper, *Trichoplusia ni*. *Industrial Crop and Products*, 101, pp. 29–35. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.03.003>
- Teixeira, M.L., Cardoso, M.D., Figueiredo, A.C., Moraes, J.C., Assis, F.A., Andrade, J.D., Nelson, D.L., Gomes, M.D., Souza, J.A., Albuquerque, L.R., 2014. Essential oil from *Lippia origanoides* Kunth. And *Mentha spicata* L.: chemical composition, insecticidal and antioxidant activities. *American Journal of Plant Sciences*, 5, pp. 1181–1190. <https://doi.org/10.4236/ajps.2014.59131>
- Umpiérrez, M.L., Paullier, J., Porrini, M., Garrido, M., Santos, E., and Rossini, C., 2017. Potential botanical pesticides from Asteraceae essential oils for tomato production: Activity against whiteflies, plants and bees. *Industrial Crops and Products*, 109, pp. 686–692. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.09.025>
- Wagan, T.A., Cai, W., and Hua, H., 2018. Repellency, toxicity, and anti-oviposition of essential oil of *Gardenia jasminoides* and its four major chemical components against whiteflies and mites. *Scientific Reports*, 8(1), pp. 1–12. <http://doi:10.1038/s41598-018-27366-5>
- Wagan, T.A., He, Y.P., Long, M., Chakira, H., Zhao, J., and Hua, H.X., 2017. Effectiveness of aromatic plant species for repelling and preventing oviposition of *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Hemiptera: Aleyrodidae). *Journal of Applied Entomology*, 142(3), pp. 287–295. <https://doi.org/10.1111/jen.12471>
- Xie, Y., Huang, Q., Rao, Y., Hong, L., and Zhang, D., 2019. Efficacy of *Origanum vulgare* essential oil and carvacrol against the housefly, *Musca domestica* L. (Diptera: Muscidae). *Environmental Science and Pollution Research*, 26(23), pp. 23824–23831. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05671-4>