

**ACTIVIDAD BIOLÓGICA DE EXTRACTOS
ETANÓLICOS DE *Ardisia compressa* Kunth SOBRE
LA MOSCA BLANCA *Bemisia tabaci* (Gennadius
1889, Hemiptera: Aleyrodidae) Y UNA CEPA DE
Fusarium oxysporum Schldt**

**BIOLOGICAL ACTIVITY OF ETHANOLIC
EXTRACTS OF *Ardisia compressa* Kunth ON
WHITEFLY *Bemisia tabaci* (Gennadius 1889,
Hemiptera: Aleyrodidae) AND A STRAIN OF
Fusarium oxysporum Schldt**

**Molina Maldonado, J.R., E. Ruiz Sánchez, R.H. Andueza Noh, R. Garruña Hernández,
F.A. Gutiérrez Miceli, L.F. da Conceição Dos Santos, A. Wong Villarreal y E. Hernández
Núñez**

ACTIVIDAD BIOLÓGICA DE EXTRACTOS ETANÓLICOS DE *Ardisia compressa* Kunth
SOBRE LA MOSCA BLANCA *Bemisia tabaci* (Gennadius 1889, Hemiptera: Aleyrodidae) Y
UNA CEPA DE *Fusarium oxysporum* Schldt

BIOLOGICAL ACTIVITY OF ETHANOLIC EXTRACTS OF *Ardisia compressa* Kunth ON
WHITEFLY *Bemisia tabaci* (Gennadius 1889, Hemiptera: Aleyrodidae) AND A STRAIN OF
Fusarium oxysporum Schldt



Actividad biológica de extractos etanólicos de *Ardisia compressa* Kunth sobre la mosca blanca *Bemisia tabaci* (Gennadius 1889, Hemiptera: Aleyrodidae) y una cepa de *Fusarium oxysporum* Schldtl

Biological activity of ethanolic extracts of *Ardisia compressa* Kunth on whitefly *Bemisia tabaci* (Gennadius 1889, Hemiptera: Aleyrodidae) and a strain of *Fusarium oxysporum* Schldtl

Jesús Rigoberto Molina Maldonado, Esaú Ruiz Sánchez, Rubén Humberto Andueza Noh, René Garruña Hernández, Federico Antonio Gutiérrez Miceli, Luis Filipe da Conceição Dos Santos, Arnoldo Wong Villarreal, Emanuel Hernández Núñez

ACTIVIDAD BIOLÓGICA DE EXTRACTOS

ETANÓLICOS DE *Ardisia compressa* Kunth SOBRE LA MOSCA BLANCA *Bemisia tabaci* (Gennadius 1889, Hemiptera: Aleyrodidae) Y UNA CEPA DE *Fusarium oxysporum* Schldtl

BIOLOGICAL ACTIVITY OF ETHANOLIC EXTRACTS OF *Ardisia compressa* Kunth ON WHITEFLY *Bemisia tabaci* (Gennadius 1889, Hemiptera: Aleyrodidae) AND A STRAIN OF *Fusarium oxysporum* Schldtl

POLIBOTÁNICA

Instituto Politécnico Nacional

Núm. 59: 295-312. Enero 2025

DOI:

10.18387/polibotanica.59.19

Jesús Rigoberto Molina-Maldonado <https://orcid.org/0009-0006-4037-2994>

Esaú Ruiz-Sánchez. Autor de correspondencia: esau.ruiz@itconkal.edu.mx

<https://orcid.org/0000-0003-0245-3305>

División de Estudios de Posgrado, Tecnológico Nacional de México
Instituto Tecnológico de Conkal, Mérida, Yucatán. Av. Tecnológico s/n, Conkal,
Yucatán, C.P. 97345

Rubén Humberto Andueza-Noh <https://orcid.org/0000-0001-7776-7937>

René Garruña-Hernández <https://orcid.org/0000-0003-2787-0914>

CONAHCYT-Instituto Tecnológico de Conkal. Av. Tecnológico s/n, Conkal, Yucatán,
C.P. 97345.

Federico Antonio Gutiérrez-Miceli <https://orcid.org/0000-0002-5379-1518>

³Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. Carretera Panamericana Km.
1080, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, CP. 29050.

Luis Filipe da Conceição-Dos Santos <https://orcid.org/0000-0002-7516-0581>

⁴Campo Experimental Mocochoá. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales,
Agrícolas y Pecuarias, Mocochoá, Yucatán, C.P. 97454

Arnoldo Wong-Villarreal <https://orcid.org/0000-0002-4199-0632>

Universidad Tecnológica de la Selva. Entronque Toniná Km. 0.5 Carretera Ocosingo-
Altamirano, Ocosingo, Chiapas. C.P. 29950

Emanuel Hernández-Núñez <https://orcid.org/0000-0002-7467-7538>

Departamento de Posgrado e Investigación, Instituto Tecnológico Superior de Calkiní.
Avenida Ah Canul, S/N, Calkiní, Campeche. C.P. 24930

RESUMEN: La mosca blanca *B. tabaci* y la cepa *F. oxysporum* causan elevadas pérdidas económicas en cultivos hortícolas. *Ardisia compressa* Kunth de la familia Primulaceae es una especie vegetal ampliamente distribuida en el Sur de México, cuyo follaje tiene enorme potencial como fuente de productos botánicos para el control de plagas en la agricultura. El objetivo del presente estudio fue evaluar la actividad biológica de extractos etanólicos (EE) de hojas de *A. compressa* sobre *B. tabaci* y *F. oxysporum*, así como determinar el perfil cromatográfico mediante cromatografía de gases acoplado a espectrometría de masas (GC-MS) de los extractos. Se emplearon 10 poblaciones silvestres de *A. compressa* recolectadas en el Estado de Chiapas. Por cada población se obtuvo su respectivo EE al 0.2 % (p/v). La evaluación del efecto tóxico contra *B. tabaci* mostró que los extractos Tila Coquijaz alto (TCA) y Yajalón río Pupiltillo (YRP) causaron mayor mortalidad de huevos (98 y 99%) y de ninfas (97 %). Los extractos Tila Coquijaz alto (TCA) y Chilón Tiaquil (CTia) causaron mayor efecto de repelencia de adultos (38 y 30%) y los EE Chilón Joybé carretera (CJC) y Tila Coquijaz centro (TCC) causaron la mayor disuasión de oviposición (28 y 26 %). La evaluación de actividad antifúngica (100 y 200 µg mL⁻¹) sobre *F. oxysporum*, mostró que el extracto CJC causó la mayor inhibición de crecimiento micelial (75 y 79%). El análisis de correlación mediante mapas de calor mostró que los efectos de toxicidad y

repelencia de los extractos etanólicos de *A. compressa* sobre *B. tabaci*, estuvieron asociados con las mayores concentraciones de ácido oleico, ácido 9Z-12Z-15Z-octadecanotrienoico, ácido octadecanoico, 3-etil-5-(2-etilbutil)-octadecano, (Z)-18-octadec-9-enolida y γ -Tocoferol. De la misma manera, los mayores porcentajes de inhibición de crecimiento micelial para *F. oxysporum* estuvieron asociados con las altas concentraciones de neofitadieno.

Palabras claves: extracto vegetal, insecticida botánico, actividad repelente, actividad antifúngica.

ABSTRACT: The whitefly *B. tabaci* and the fungus *F. oxysporum* cause high economic losses in horticultural crops. *Ardisia compressa* Kunth from Primulaceae family is a plant species widely distributed in Southern Mexico, which has enormous potential to develop botanical products for pest control in agriculture. The aim of the present study was to evaluate the biological activity of ethanol extracts (EEs) from *A. compressa* leaves on *B. tabaci* and *F. oxysporum*, as well as to determine the chromatographic profile of the extracts by gas chromatography coupled to mass spectrum (GC-MS). Leaves of 10 wild *A. compressa* populations from the State of Chiapas were collected and processed. Each *A. compressa* population obtained its respective EE at 0.2% (w/v). The evaluation of toxic effects against *B. tabaci* showed that Tila Coquijaz higt (TCA) and Yajalón Pupiltillo River (YRP) extracts caused the highest mortality of eggs (98 and 99 %) and nymphs (97%). The evaluation of repellent activity showed that Tila Coquijaz higt (TCA) and Chilon Tiaquil (CTia) extracts had a greater effect on adults (38 and 30%), and Chilon Joybe road (CJC) and Tila Coquijaz center (TCC) extracts caused the highest oviposition deterrence (28 and 26%). The evaluation of antifungal activity [100 and 200 $\mu\text{g mL}^{-1}$] on *F. oxysporum*, showed that CJC extract caused the greatest mycelial growth inhibition (75 and 79%, respectively). The correlation analysis using heat maps showed that the toxicity and repellent effects of *A. compressa* extracts on *B. tabaci* were correlated with the highest concentrations of oleic acid, 9Z,12Z,15Z -octadecanotrienoic acid, octadecanoic acid, 3-ethyl-5-(2-ethylbutyl)-octadecane; (Z)-18-octadec-9-enolide, and γ -tocopherol. In the same way, the mycelial growth inhibition of *F. oxysporum* was associated with a high concentration of neophytadiene.

Key words: plant extract, botanical insecticide, repellent activity, antifungal activity.

INTRODUCCIÓN

El género *Ardisia* pertenece a la familia Primulaceae e incluye cerca de 500 especies, distribuidas en zonas tropicales y subtropicales del mundo (Kobayashi & De Mejía, 2005). Algunas especies poseen un enorme valor farmacológico, alimentario y medicinal, derivado del amplio contenido de metabolitos secundarios, como polifenoles, saponinas, quinonas, isocoumarinas, triterpenos y alquilfenoles (De Mejía & Ramírez-Mares, 2011; Tian-Liang *et al.*, 2024). Se han identificado compuestos con diversa actividad biológica, como bergenina y norbergenina con actividad antiviral, antiinflamatorio, anticancerígeno, antidiabético y antiarrítmico (Bajracharya, 2015; Jouwa Tameye *et al.*, 2020; Mehta *et al.*, 2022); el ácido gálico, ardisinone, embelina y quercitrina con propiedades anticancerígenas (Deng *et al.*, 2010; Newell *et al.*, 2010) y kaempferol con actividad antioxidante y antimicrobiana (Chatatikun & Chiabchalard, 2017).

En el Sur de México, *Ardisia compressa* Kunth, se encuentra distribuida en áreas boscosas, en traspatios y en cultivos de cafeto (Martínez-Blanco *et al.*, 2019). Los estudios sobre la actividad insecticida y antifúngica de los extractos de *A. compressa* con aplicación en la agricultura son limitados; sin embargo, se tiene antecedentes que otras especies del género *Ardisia* tienen actividad contra fitoparásitos. Por ejemplo, los extractos acuosos de hoja de *A. crenata*, *A. japonica*, *A. standleyana* y *A. crispa*, producen alta mortalidad en ninfas y huevos de *B. tabaci* y *Trialeurodes vaporariorum* (Neal *et al.*, 1998). El extracto metanólico de *A. crenata* es eficaz como disuasivo alimentario contra ninfas de *Schistocerca americana* (Drury) y adultos de *Diaprepes abbreviatus* L. (Sandoval-Mojica & Capinera, 2011). Los extractos vegetales de *A. solanacea* producen alto porcentaje de inhibición de alimentación contra *Spilosoma obliqua* (Al-Abd *et al.*, 2017; Anjum *et al.*, 2019), así como propiedades antifúngicas contra *Trichophyton rubrum*, *Aspergillus fumigatus*, *Rhizoctonia solani* y *Fusarium oxysporum* (Pournami & Pratap,

2021). En un estudio reciente, el extracto acuoso de *A. compressa* mostró actividad *in vitro* contra el agente causante de la roya del café, *Hemileia vastatrix*, inhibiendo el desarrollo total de las uredinosporas (García-Pérez *et al.*, 2021).

Las plagas y enfermedades de los cultivos son una gran limitante en la producción agrícola en todo el mundo. En este contexto, la cepa *F. oxysporum* y la mosquita blanca *B. tabaci* (Gennadius 1889) son dos especies de mayor importancia en la agricultura. La cepa *F. oxysporum*, afecta importantes cultivos básicos produciendo marchitamiento en varias especies como chile habanero, pimentón, tomate, plátanos, (Pérez-Acevedo *et al.*, 2017; Colak Ates *et al.*, 2019; Hernández-Amasifuen *et al.*, 2019; Martínez-Solórzano *et al.*, 2020;). Por su parte, *B. tabaci* es una especie ampliamente dañina, distribuida extensamente en regiones tropicales y subtropicales, que provoca serios daños a especies cultivadas de las familias Fabáceas, Cucurbitáceas, Solanáceas, entre otras, cuyo daño principal es la transmisión de una amplia gama de virus fitopatógenos (Navas-Castillo *et al.*, 2011; Malka *et al.*, 2021). Los extractos de *A. compressa* podrían representar una opción para control de plagas y enfermedades en la agricultura. El objetivo del presente trabajo fue determinar el efecto tóxico/repelente sobre *B. tabaci* y antifúngico contra *F. oxysporum* de los extractos etanólicos (EEs) de las hojas de *A. compressa* y determinar el perfil cromatográfico de los extractos mediante GC-MS.

MATERIALES Y MÉTODOS

Recolección de plantas y obtención de extractos

Las hojas de *A. compressa* se recolectaron de poblaciones silvestres/naturales en la zona Noreste del Estado de Chiapas, conocido como región Selva Lacandona y Selva Norte Tulijá, específicamente en los Municipios de Tila, Yajalón, Chilón y Ocosingo (Cuadro 1, Figura 1). Las hojas se deshidrataron a 45 °C por 10 días y se molieron con una licuadora (MAN mod. MLU-9090, México) hasta obtener polvo fino. Para la obtención de los extractos etanólicos (EEs) se siguió la metodología propuesta por Cruz-Estrada *et al.* (2013), con modificaciones. Se usó 50 g de material vegetal pulverizado y se agregó 500 mL de etanol (grado reactivo), se mantuvo en agitación constante durante 72 h a una temperatura de 25 °C. Posteriormente se filtró en papel filtro Whatman no.1 para remover fragmentos del material vegetal. La muestra fue concentrada en un rotavapor (Yamato B0400.Yamato VR300, USA.) a presión con vacío constante. Los extractos crudos (material pastoso) obtenidos se mantuvieron en viales oscuros y almacenados en refrigeración a 4 °C hasta su uso.

Cuadro 1. Identificación de los extractos etanólicos obtenidos de hojas de *A. compressa* y ubicación de la localidad de recolecta de las poblaciones.

Table 1. Ethanolic extracts identification obtained from leaves of *A. compressa* and location where the population was collected.

Extracto	Localidad, Municipio	Altitud (msnm)	Coordenadas
YRP	Río Pupitillo, Yajalón	500	17° 10' 14.00" N, 92° 19' 49.00" W
YBG	Banco de grava, Yajalón	915	17° 10' 00.00" N, 92° 19' 00.00" W
CJC	Joybé carretera, Chilón	972	17° 01' 07.00" N, 92° 09' 19.66" W
CJR	Joybé río, Chilón	900	17° 01' 11.77" N, 92° 09' 41.76" W
CLC	Las Canchas, Chilón	850	17° 00' 19.07" N, 92° 06' 52.92" W
CTia	Tiaquil, Chilón	1141	17° 11' 99.00" N, 92° 52' 58.61" W
TCA	Coquijaz alto, Tila	1800	17° 17' 05.40" N, 92° 28' 46.20" W
TCB	Coquijaz bajo, Tila	1000	17° 12' 53.01" N, 92° 22' 00.12" W
TCC	Coquijaz centro, Tila	1267	17° 17' 48.00" N, 92° 25' 30.00" W
OGV	Guadalupe Victoria, Ocosingo	785	16° 59' 32.98" N, 91° 55' 48.65" W

ID= identificador, msnm: metros sobre nivel del mar, YRP= Yajalón río Pupiltillo, YBG= Yajalón Banco de grava, CJC= Chilón Joybé carretera, CJR= Chilón Joybé río, CLC= Chilón Las Canchas, CTia= Chilón Tiaquil, TCA= Tila Coquijaz alto, TCB= Tila Coquijaz bajo, TCC= Tila Coquijaz centro, OGV= Ocosingo Guadalupe Victoria.

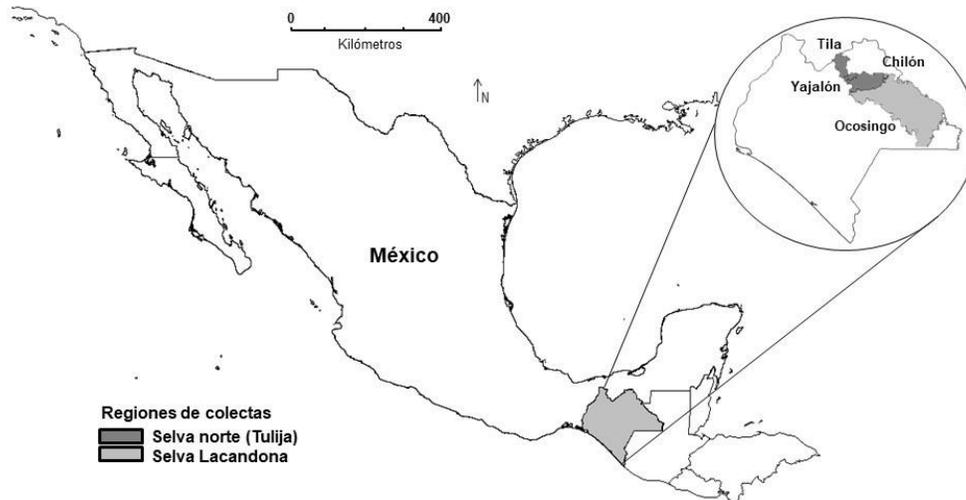


Figura 1. Mapa de México mostrando la región en el Estado de Chiapas donde se recolectaron hojas de diez poblaciones de *A. compressa*.

Figure 1. Map of Mexico showing the region in the State of Chiapas where leaves from ten populations of *A. compressa* were collected.

Bioensayo para evaluar el efecto tóxico sobre *B. tabaci*

Los ejemplares de *B. tabaci* Biotipo B se obtuvieron de una colonia establecida en 2022 (Herrera-Gorocica *et al.*, 2023) en invernaderos del área de investigación hortícola del Instituto Tecnológico de Conkal, en Conkal, Yucatán (21°4'N, 89°31'W, 10). La colonia se ha mantenido en plantas de berenjena (*Solanum melongena* L.) establecidas en macetas de 10 L dentro del invernadero. Para los bioensayos, los extractos crudos se diluyeron en una solución de etanol y tween 80, a una relación de 1:1:1 (peso/volumen/volumen). Posteriormente esta mezcla fue diluida en agua destilada, para obtener la mezcla final de aplicación de EE al 0.2 % (peso/volumen), con una dilución final del disolvente (etanol y tween 80) de 0.5 % (volumen/volumen).

Plantas de tomate de 25 días de emergencia establecidas en macetas de 2 L, se ubicaron en la colonia de *B. tabaci* por dos semanas para lograr infestación. Las plantas infestadas fueron tratadas con los EEs, mediante la aplicación de las mezclas con atomizador manual, dirigiendo la aspersión al haz y envés de las hojas, hasta lograr punto de escurrimiento. Las evaluaciones de mortalidad de huevos y ninfas se realizaron a las 72 h después de la aplicación de los EEs. Para ello, se recolectó una hoja de cada planta tratada y se llevó al laboratorio para contabilizar los individuos muertos (huevos y ninfas) con ayuda de un microscopio estereoscópico (Motic, SMZ-161 SERIES), donde se observaron las hojas por el envés. Los huevos y ninfas necrosadas o con apariencia de desecación, se contabilizaron como individuos muertos (Herrera-Gorocica *et al.*, 2023). Cada hoja representó una repetición. Se tuvieron 10 repeticiones por tratamiento. Se empleó un control negativo de etanol: tween 80 (1:1 volumen/volumen) diluido en agua a una concentración de 0.5% (volumen/volumen).

Todos los valores de mortalidad fueron corregidos por mortalidad natural utilizando la fórmula de Abbott (Abbott, 1925):

$$\% \text{ MC} = \left(1 - \frac{T_s}{C_s}\right) \times 100,$$

donde MC es la mortalidad corregida, Ts es el porcentaje de individuos sobrevivientes en el tratamiento (EEs) y Cs es el porcentaje de sobrevivientes en el control.

Bioensayo de repelencia y disuasión de la oviposición de *B. tabaci*

Plantas de tomate de 40 días de edad completamente sanas se trataron por el método de aspersión como se describió para el ensayo de actividad insecticida, siguiendo la metodología de Herrera-Gorocica *et al.* (2023). Después de la aplicación del tratamiento, las hojas se dejaron secar durante 30 min y se llevaron a un invernadero, donde las plantas tratadas con los EEs se colocaron en hileras alternas a una distancia de 40 cm de hileras de plantas de tomate infestadas con *B. tabaci*. La evaluación de repelencia y disuasión de la oviposición se realizó a los 2 y 5 días después de la aplicación de los EEs. Para tales efectos, se observaron dos hojas del tercio superior de cada planta para contar el número de adultos en el envés de las hojas. Estas hojas se cortaron y llevaron al laboratorio donde 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 Image J. Una hoja representó una repetición. Se incluyeron 10 repeticiones para cada tratamiento. El porcentaje de repelencia de adultos y disuasión de oviposición de *B. tabaci* se calculó mediante la fórmula:

$$\% \text{ Repelencia} = \left[\frac{C - T}{C + T} \right] \times 100$$

Donde C y T correspondieron a los valores de número de individuos en el control y el tratamiento, respectivamente, por lo tanto, entre mayores sean los valores indican mayor repelencia (Akhtar *et al.*, 2012).

Actividad *in vitro* de EEs de *A. compressa* contra *F. oxysporum*

Se empleó la cepa de *F. oxysporum* (GemBio acc. OM876888.1). Se cultivó en medio de cultivo PDA (Agar papa dextrosa, BD Bioxon). Para los bioensayos de inhibición de crecimiento micelial se siguió la metodología descrita por Carrillo-Morales *et al.* (2023), empleando concentraciones de 100 y 200 µg. mL⁻¹ de cada EEs, mismos que se adicionaron al medio PDA aún en estado líquido (45 °C) y en proceso de solidificación. El medio PDA con EE se vertió en cajas Petri (1 cm x 10 cm). Las cajas Petri se conservaron en refrigeración hasta su uso. Posteriormente, un disco de 5 mm de diámetro con PDA con crecimiento micelial se colocó en el centro de las placas con PDA adicionadas con EEs y placas con PDA sin adición de EEs (control). Las cajas Petri se incubaron durante 96 h a 28 °C y se midió el diámetro de la colonia fúngica con un vernier digital (INSIZE 1108-150). El ensayo se estableció por triplicado y se expresó en porcentaje de inhibición de crecimiento micelial comparado con el control, aplicando la fórmula:

$$\% \text{ ICM} = \left[1 - \left(\frac{D_c}{D_t} \right) \right] \times 100,$$

Donde ICM es el porcentaje de inhibición de crecimiento micelial, Dt es el diámetro de la zona de crecimiento en las placas tratadas y Dc es el diámetro de la zona de crecimiento en la placa de control

Análisis del perfil cromatográfico de EEs de hojas de *A. compressa* por GC-MS

La identificación de los metabolitos secundarios de los EEs de *A. compressa* se realizó mediante la técnica de la cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas. Se empleó en un GC TRACE de la marca Thermo Scientific con un detector de masas con trampa de iones ITQ900 (Thermo Electron Corporation, Milán, Italia). El gas portador fue helio con un caudal de 1 mL/min. La columna utilizada fue TRACE-5MS (30 m, 0.25 µm de película y 0.25 mm de diámetro interno). El programa utilizado fue fullscan y se inició con una temperatura de 50 °C que se mantuvo durante 1 min., posteriormente, se aplicó una rampa de temperatura con

incrementos de 7 °C/min hasta 300 °C. Los 300 °C se mantuvieron durante 5 min., la temperatura de la interfase fue de 280 °C y la temperatura de la masa fue de 200 °C.

Análisis de datos

Los datos fueron previamente transformados a función de coseno de raíz cuadrada para cumplir los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas. Los datos transformados se analizaron mediante análisis de varianza (ANOVA) y comparación de medias con la prueba Tukey ($P < 0.05$) en el software estadístico Infostat versión 2018 para Windows (Di Rienzo *et al.*, 2018). Para la discriminación de los extractos por su efecto biológico, se empleó la base de datos de compuestos mayoritarios y se analizó mediante análisis de mapas de calores y matriz de correlación de Pearson en el software RStudio para Windows versión 2023. 12.1+ 402.

RESULTADOS

Efecto tóxico sobre estadios inmaduros de *B. tabaci*

Los extractos etanólicos de *A. compressa* al 0.2% (p/v) mostraron efectos significativos ($P < 0.05$) en la mortalidad de huevos y ninfas de *B. tabaci* (Cuadro 2). En huevos, los extractos TCA y YRP causaron la mayor mortalidad, con valores de 98.1 y 99.1%, seguido de los extractos CTia, YBG y CLC que causaron entre 83.2 y 85.6% de mortalidad. El resto de los extractos etanólicos causaron entre 35.0 y 68.0% de mortalidad. En ninfas, los extractos TCA y CLC causaron mayor mortalidad, con valores de 94.7 y 97.4%, seguido de los extractos de TCB, YBG, YRP y TCC, con los valores de 83.9 a 93.9%. El resto de los extractos tuvieron efectos moderados a bajos, mismos que causaron mortalidad de ninfas entre 32.5 a 75.8% (Cuadro 2).

Repelencia en adultos y disuasión de la oviposición

Los extractos etanólicos de *A. compressa* causaron efectos significativos ($P < 0.05$) en la repelencia de adultos, pero no en la disuasión de oviposición (Cuadro 2). Para la repelencia de adultos, el extracto TCA tuvo mayor efecto (38.3 % repelencia), seguido de CTia (30.2 % repelencia). Para la disuasión de oviposición, los extractos CJC y TCC tuvieron mayor efecto (28.1 y 26.0% disuasión de oviposición), seguido del extracto TCA (22.0% disuasión de oviposición). El resto de los extractos causaron entre 5.7 a 16.8% disuasión de oviposición (Cuadro 2).

Cuadro 2. Efecto de los extractos etanólicos de *A. compressa* al 0.2% (p/v) sobre estadios inmaduros y adultos de *B. tabaci* a las 48 h posterior a la aplicación.

Table 2. Effect of ethanolic extracts of *A. compressa* at 0.2% (w/v) on immature and adult stages of *B. tabaci* 48 h after application.

Extractos	% Mortalidad		% Repelencia de adultos	% Disuasión de oviposición
	Huevos	Ninfas		
CJC	52.1 ± 12.0 bc	50.6 ± 12.8 ab	24.9 ± 7.1 ab	28.2 ± 10.1 a
CJR	46.2 ± 9.7 c	32.5 ± 10.6 b	11.0 ± 5.0 ab	16.8 ± 7.7 a
CLC	85.6 ± 3.8 ab	94.7 ± 3.2 a	28.9 ± 7.7 ab	5.7 ± 4.2 a
CTia	83.2 ± 3.9 ab	75.8 ± 12.6 ab	30.2 ± 9.9 ab	10.4 ± 7.8 a
TCA	98.1 ± 1.9 a	97.4 ± 2.6 a	38.3 ± 9.6 a	22.0 ± 8.5 a
TCB	67.9 ± 7.6 bc	83.9 ± 10.1 a	19.6 ± 7.9 ab	8.9 ± 6.0 a
TCC	55.6 ± 12.7 bc	93.9 ± 2.8 a	16.2 ± 4.9 ab	25.7 ± 10.9 a
YRP	99.1 ± 0.9 a	91.5 ± 4.2 a	19.2 ± 0.4 ab	11.5 ± 6.6 a
YBG	84.8 ± 4.5 ab	85.5 ± 3.3 a	1.1 ± 1.1 b	10.8 ± 6.5 a
OGV	34.9 ± 5.0 c	49.2 ± 22.4 ab	23.8 ± 10.2 ab	17.5 ± 10.8 a
	$P < 0.01$	$P < 0.01$	$P < 0.01$	$P = 0.29$

F = 9.50	F = 4.87	F = 2.58	F = 1.22
gl = 69	gl = 49	gl = 99	gl = 99

CJC= Chilón Joybé carretera, CJR= Chilón Joybé río, CLC= Chilón Las Canchas, CTia= Chilón Tiaquil, TCA= Tila Coquijaz alto, TCB= Tila Coquijaz bajo, TCC= Tila Coquijaz centro, YRP= Yajalón río Pupiltillo, YBG= Yajalón Banco de grava, OGV= Ocosingo Guadalupe Victoria. Medias con diferente literal en cada columna indican diferencia estadística significativa $P < 0.05$, Tukey \pm error estándar

Inhibición de crecimiento micelial en *F. oxysporum*.

Los extractos etanólicos de *A. compressa* tuvieron efectos significativos ($P < 0.05$) en el crecimiento micelial de *F. oxysporum*. En ambas concentraciones, 100 y 200 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$, el extracto CJC causó la mayor inhibición de crecimiento micelial (75.4 y 79.2%), seguido de los extractos TCB, TCC, YRP, YBG y OGV (48.4 a 55.3%). Los extractos CJR, CLC, CTia y TCA tuvieron muy bajos efectos (menor a 13.0%) en la inhibición de crecimiento micelial (Cuadro 3).

Cuadro 3. Porcentaje de inhibición del crecimiento micelial de *F. oxysporum* a las 96 h de exposición con extractos etanólicos de hojas de *A. compressa*.

Table 3. Percent inhibition of mycelial growth of *F. oxysporum* at 96 h of exposure with ethanolic extracts of leaves of *A. compressa*.

Extracto	% Inhibición de crecimiento micelial	
	(100 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$)	(200 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$)
CJC	75.41 \pm 1.6 a	79.17 \pm 1.6 a
CJR	9.42 \pm 4.3 c	11.51 \pm 4.6 c
CLC	12.46 \pm 6.9 c	5.35 \pm 3.6 c
CTia	3.50 \pm 2.8 c	10.76 \pm 5.9 c
TCA	3.45 \pm 2.5 c	5.45 \pm 4.1 c
TCB	51.83 \pm 4.3 b	51.63 \pm 2.2 b
TCC	51.64 \pm 4.5 b	53.50 \pm 2.5 b
YRP	49.62 \pm 3.2 b	55.33 \pm 2.3 b
YBG	48.35 \pm 3.9 b	54.55 \pm 3.5 b
OGV	52.42 \pm 2.6 b	53.57 \pm 2.9 b
	$P \leq 0.0001$	$P \leq 0.0001$
	F= 43.5	F= 57.9
	gl = 50	gl = 50

Medias con diferente literal en cada columna indican diferencia estadística significativa $P < 0.05$, test Tukey \pm error estándar.

Perfil cromatográfico de los EEs de *A. compressa* por GC-MS

Los análisis por GC-MS de los EEs de *A. compressa*, obtenido de las diferentes localidades, se muestran en el Cuadro 4. En general, se identificaron un total de 36 constituyentes, entre los que destacan: seis ácidos carboxílicos, un alcano alifático, una cetona cíclica, un anhídrido, tres fenoles, nueve compuestos terpénicos (dos diterpenos, cuatro sesquiterpenos, tres triterpenos), diez ésteres de ácidos carboxílicos, una lactona, un ftalato y tres fitoesteres. La abundancia de compuestos mayoritarios se determinó según el porcentaje relativo del compuesto en relación con las áreas totales de todos los compuestos presentes en el extracto (Cuadro 4).

Cuadro 4. Compuestos identificados por GC-MS en EE de hojas de *A. compressa*.**Table 4.** Compounds identified by GC-MS in EE of leaves of *A. compressa*.

No.	Familia / Compuesto	TR(min)	FQ	PM	Extracto etanólico (% área)
Ácidos carboxílicos					
1	Ácido tetradecanoico.	15.2	C ₁₄ H ₂₈ O ₂	228.37	TCA (1.8)
2	Ácido n-hexadecanoico.	16.7	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	256.42	CJC (11.55), CLC (11), TCA (14), OGV (21.3), YRP (22.8), YBG (23.5)
3	Ácido oleico.	18.1	C ₁₈ H ₃₄ O ₂	282.46	YRP (7.7), YBG (9.5)
4	Ácido 9Z,12Z,15Z-octadecatrienoico.	18.5	C ₁₈ H ₃₀ O ₂	278.43	CJC (10.5), CLC (4.5), TCA (13.4), OGV (13.3), CTia (21.3)
5	Ácido <i>cis</i> -10-nonadecenoico.	20.4	C ₁₉ H ₃₆ O ₂	296.49	CTia (3.5), TCB (5.2)
6	Ácido octadecanoico.	19.4	C ₁₈ H ₃₆ O ₂	284.48	CJC (2.9), CLC (2.2), TCA (2), TCB (14), CTia (2)
Alifático					
7	3-etil-5-(2-etilbutil)- octadecano.	22.1	C ₂₆ H ₅₄	366.71	CJC (3.8)
Cetona cíclica					
8	6-metilenbiciclo[3.2.0]hept-3-en-2-ona.	8.6	C ₈ H ₈ O	120.15	TCA (1.6)
Anhidridos					
9	Anhídrido <i>cis</i> -aconítico.	6.7	C ₆ H ₄ O ₅	156.09	CLC (1.7)
Fenoles					
10	<i>Trans</i> 6-(<i>p</i> -tolil)-2-metil-2-heptenol.	13.8	C ₁₅ H ₂₂ O	218.33	CTia (1.9), YBG (6.7)
11	Catecol.	8.6	C ₆ H ₆ O ₂	110.11	CJC (4.5), CLC (13.4), TCA (3.7), TCB (1.5)
12	1,2,3-Bencenetriol.	11	C ₆ H ₆ O ₃	126.11	CJC (3.7), CLC (12.9), TCA (5.3), TCB (1.9)
Diterpenos					
13	Neofitadieno.	15.9	C ₂₀ H ₃₈	278.52	CJC (1.7), TCB (1.6)
14	Fitol.	17.8	C ₂₀ H ₄₀ O	296.53	CJC (2.3), CLC (8.8), CTia (3.8), TCA (2.8), TCB (3.6), YRP (2.7), YBG (7.4), OGV (15.2)
Sesquiterpenos					
15	8 <i>S</i> , 13-Cedran-diol.	14.7	C ₁₅ H ₂₆ O ₂	238.37	YRP (3.6)
16	4,4,8-trimetilticiclo[6.3.1.0(1,5)] dodecano-2,9- diol.	15.6	C ₁₅ H ₂₆ O ₂	238.37	YRP (2.9)
17	Epóxido <i>cis</i> - <i>Z</i> - α -bisaboleno.	14.9	C ₁₅ H ₂₄ O	220.35	YRP (4.2)
18	1-(1,5-dimethyl-4-hexenyl)-4-metil-benceno.	11.2	C ₁₅ H ₂₂	202.33	YBG (3.3)
Triterpenos					
19	Escualeno.	24.6	C ₃₀ H ₅₀	410.72	CJC (4.5), TCA (1.8), CLC (3.0)
20	α -Amirina.	28.2	C ₃₀ H ₅₀ O	426.72	CJC (6.8), TCA (6.7), TCB (6.8), CTia (5.4)
21	β -Amirina.	28.5	C ₃₀ H ₅₀ O	426.7	CJC (11.4), TCA (13.9), TCB (11)
Ésteres de ácidos carboxílicos					
22	Éster dimetílico del ácido [1,1':2',1''-terfenil]-3',4'-dicarboxílico, 5',6'-difetil.	5.5	C ₃₄ H ₂₆ O ₄	498.6	CJR (1.8)
23	Éster metílico del ácido [1,1'-bicyclopropil]-2-octanoico, 2'-hexil.	18.3	C ₂₁ H ₃₈ O ₂	322.5	YRP (2.8)
24	Éster etílico del ácido octadecanoico.	18.6	C ₂₀ H ₄₀ O ₂	312.53	OGV (2.2)

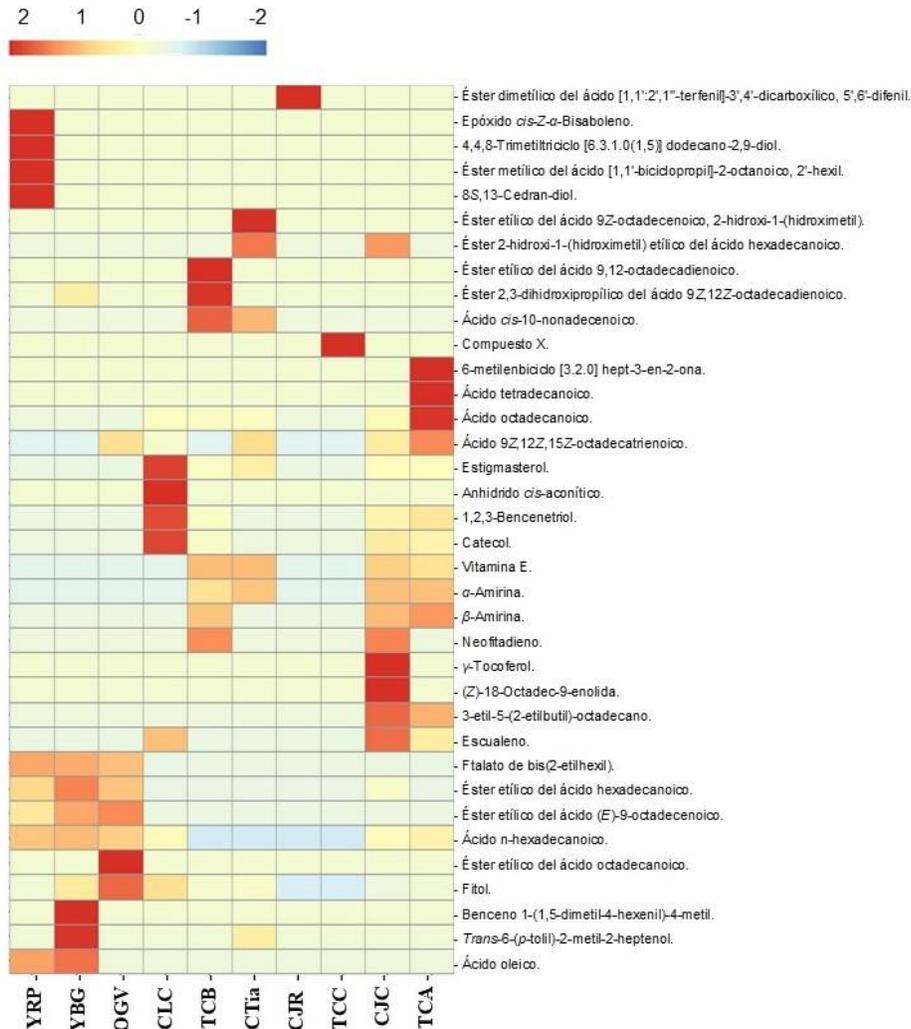
No.	Familia / Compuesto	TR(min)	FQ	PM	Extracto etanólico (% área)
25	Éster etílico del ácido 9,12-octadecadienoico.	18.7	C ₂₀ H ₃₆ O ₂	308.5	TCB (15.1), YBG (3.8)
26	Ester etílico del ácido hexadecanoico 2-hidroxi-1-(hidroximetil).	22.5	C ₁₉ H ₃₈ O ₄	330.5	CJC (1.8), CTia (2.1)
27	Éster 2,3-dihidroxi-propil del ácido 9Z,12Z-octadecadienoico.	23.3	C ₂₁ H ₃₈ O ₄	354.5	TCB (1.9)
28	Éster etílico 2-hidroxi-1-(hidroximetil) del ácido 9Z-octadecenoico.	23.8	C ₂₁ H ₄₀ O ₄	356.5	CTia (4.4)
29	Éster etílico del ácido hexadecanoico.	16.8	C ₁₈ H ₃₆ O ₂	284.48	CJC (2), YRP (7.5), YBG (11.6), OGV (8.4)
30	Éster etílico del ácido (E)-9-Octadecenoico.	18.3	C ₂₀ H ₃₈ O ₂	310.51	YRP (4.3), YBG (7.2), OGV (8.5)
31	Compuesto x.	5.4	C ₃₄ H ₄₄ Cl N ₅ O ₂	590.2	TCC (1.3)
Lactona					
32	(Z)-18-Octadec-9-enolida.	18.8	C ₁₈ H ₃₂ O ₂	280.45	CJC (6.7)
Ftalato					
33	Ftalato de bis (2-etilhexil).	21.5	C ₂₄ H ₃₈ O ₄	390.6	YRP (23.9), YBG (23.3), OGV (21.3)
Fitoesteroles					
34	γ-Tocoferol.	25.7	C ₂₈ H ₄₈ O ₂	416.68	CJC (1.7)
35	Vitamina E.	26.4	C ₂₉ H ₅₀ O ₂	430.71	CJC(2), TCA (2.2), TCB (1.7), CTia (2.2)
36	Estigmasterol.	28.1	C ₂₉ H ₄₈ O	412.69	CJC (1.8), CLC (8.7), TCA (2.8), TCB (1.8), CTia (1.5)

TR= tiempo de retención, FQ= fórmula química, PM= peso molecular. Compuesto X= éster *terc*-butílico de [5-(5-Cloro-3,4-dimetil-1H-pirrol-2-ilmetileno)-4-dimetil-5H-pirrol-2-il]-[5-(5-ciano-4, 4, 5-trimetil-4, 5-dihidro-3H-pirrol-2-ilmetileno)-4,4-dimetilpirrolidin-2-il]-ácido acético.

La distribución de 36 compuestos determinados por GC-MS varió entre extractos (Figura 2). El extracto YRP mostró mayor concentración de los compuestos epóxido de *cis-Z-α*-Bisaboleno; 8S,13-cedran diol; éster metílico del ácido [1,1'-biciclopropil]-2-octanoico, 2'-hexil y 4,4,8-trimetiltriciclo [6.3.1.0(1,5)] dodecano-2,9-diol. El extracto YBG tuvo altas concentraciones de *trans*-6-(*p*-tolil)-2-metil-2-heptenol; benceno 1-(1,5-dimetil-4-hexenil)-4-metil, seguido de ácido oleico y éster etílico del ácido hexadecanoico. El extracto OGV tuvo altas concentraciones de éster etílico del ácido octadecanoico seguido de fitol. El extracto CJC tuvo como compuestos mayoritarios a γ-Tocoferol y (Z)-18-Octadec-9-enolida, seguidos de escualeno y 3-etil-5-(2-etilbutil)-octadecano. Similarmente en el extracto TCA se encontró como compuestos mayoritarios el ácido tetradecanoico; 6-Metilenebicyclo [3.2.0] hept-3-en-2-ona; ácido octadecanoico, seguido del ácido 9Z,12Z,15Z-octadecatrienoico. El extracto CLC mostró como compuestos mayoritarios al estigmasterol y anhídrido *cis*-aconítico, seguidos de 1,2,3-bencenetriol y catecol. En el extracto CJR, el compuesto más abundante fue éster dimetílico del ácido [1,1':2',1''-terfenil]-3',4'-dicarboxílico, 5',6'-difeníl. El extracto TCC tuvo como compuesto mayoritario al éster *terc*-butílico de [5-(5-Cloro-3,4-dimetil-1H-pirrol-2-ilmetileno)-4-dimetil-5H-pirrol-2-il]-[5-(5-ciano-4,4,5-trimetil-4,5-dihidro-3H-pirrol-2-ilmetileno)-4, 4-dimetilpirrolidin-2-il]-ácido acético. El extracto CTia tuvo como compuestos mayoritarios al éster etílico 2-hidroxi-1-(hidroximetil) del ácido 9Z-octadecenoico y éster etílico del ácido hexadecanoico 2-hidroxi-1-(hidroximetil). En el extracto TCB los compuestos mayoritarios fueron éster etílico del ácido 9,12-octadecadienoico; 2,3-dihidroxi-propil éster del ácido 9Z,12Z-octadecadienoico y el ácido *cis*-10-nonadecenoico (Figura 2).

Análisis de correlación entre actividad biológica y perfil cromatográfico

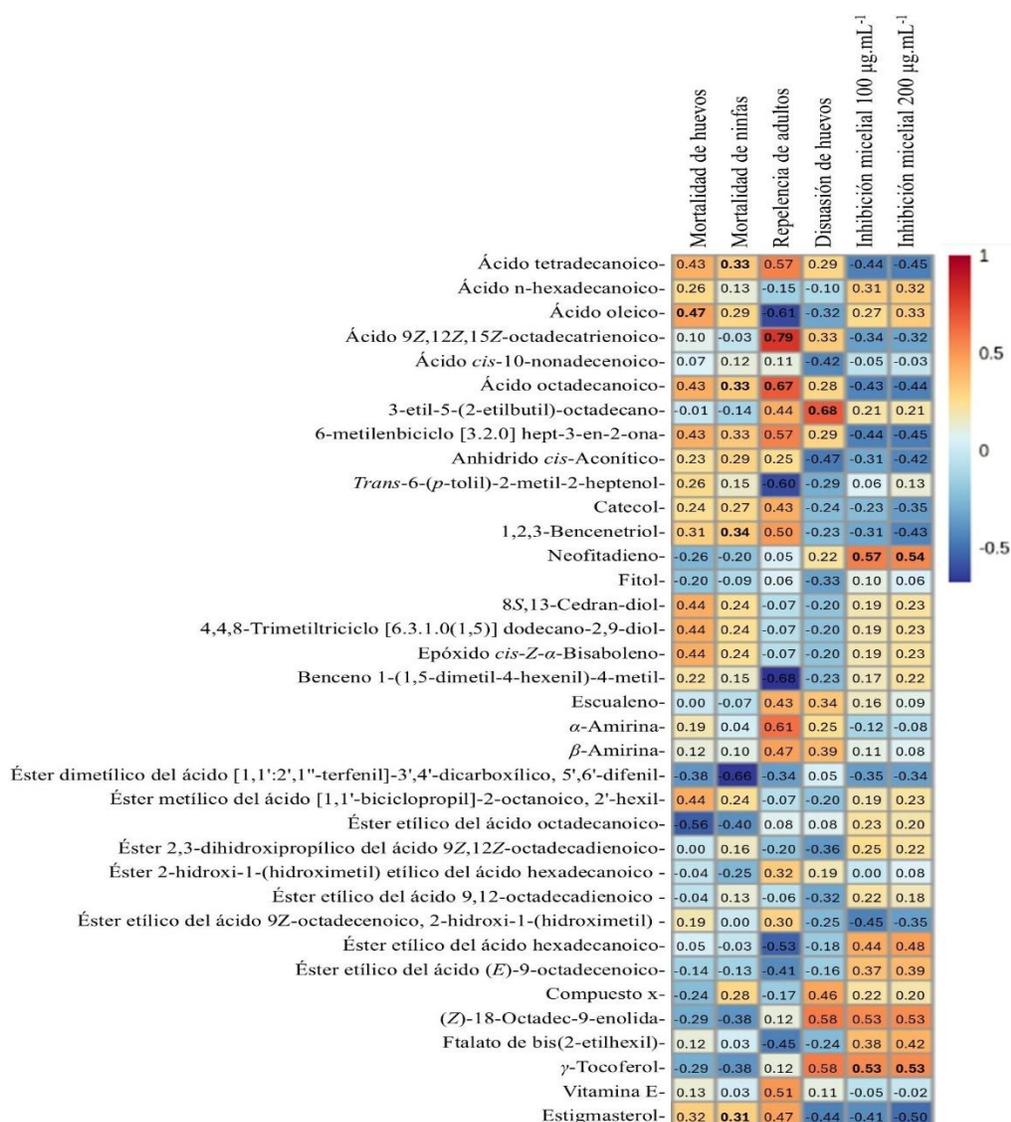
Se determinó la correlación entre la actividad biológica y la abundancia relativa de compuestos en los extractos (Figura 3), con variación de coloración azul a rojo, ubicando las correlaciones positivas como aquellas donde la mayor abundancia de los compuestos produjo mayor efecto. Para el caso de la mortalidad de *B. tabaci*, se observó que la mayor mortalidad de huevos y ninfas estuvo asociada a la alta abundancia de ácido oleico y 1,2,3-bencenetriol en los EEs, respectivamente. Se observó correlación positiva entre la repelencia de adultos y la abundancia del ácido 9Z-12Z-15Z-octadecanotrienoico y el ácido octadecanoico, en la disuasión de oviposición la correlación fue con el compuesto de 3-etil-5-(2-etilbutil)-octadecano. El mayor porcentaje de ICM en *F. oxysporum* se observó correlacionado con altas concentraciones del compuesto neofitadieno en los EEs.



Compuesto X = éster *terc*-butílico de [5-(5-Cloro-3,4-dimetil-1H-pirrol-2-ilmetileno)-,4-dimetil-5H-pirrol-2-il] - [5-(5-ciano-4,4,5-trimetil-4,5-dihidro-3H-pirrol-2-ilmetileno)-4,4-dimetilpirrolidin-2-ilen]-ácido acético.

Figura 2. Mapa de calor del análisis de clúster jerárquico de metabolitos diferenciados por GC-MS en los EEs de *A. compressa*, los porcentajes relativos de las concentraciones con tres replicas se muestran en colores que van del rojo (alta concentración) al azul (baja concentración).

Figure 2. Heatmap of a hierarchical cluster analysis of metabolites differentiated by GC-MS in *A. compressa* EEs, relative percentages of concentrations with three replicates are shown in colors ranging from red (high concentration) to blue (low concentration).



Compuesto X= éster *terc*-butílico de [5-(5-Cloro-3,4-dimetil-1H-pirrol-2-ilmetil)-, 4-dimetil-5H-pirrol-2-il] - [5-(5-ciano-4,4, 5-trimetil-4,5-dihidro-3H-pirrol-2-ilmetileno)-4,4-dimetilpirrolidin-2-ilen]-ácido acético.

Figura 3. Mapa de calor de correlación entre los compuestos de 10 extractos etanólicos de hojas de *A. compressa* y la actividad biológica contra *B. tabaci* y *F. oxysporum*, con empleo del método de distancias de Pearson y el valor del coeficiente.

Figure 3. Correlation heat map between the compounds of 10 ethanolic extracts of *A. compressa* leaves and the biological activity against *B. tabaci* and *F. oxysporum*, using Pearson's distance method and the value of the coefficient.

DISCUSIÓN

En la actualidad el uso de derivados vegetales para manejo de plagas y fitopatógenos en la agricultura es un área que ha adquirido enorme relevancia, principalmente por la ventaja de este tipo de productos sobre los agroquímicos convencionales, que incluye una fácil degradación biológica y menor riesgo de resistencia en la plaga. En el presente estudio se observó que los extractos etanólicos (EES) de hojas provenientes de diferentes poblaciones de *A. compressa* presentaron efectos tóxicos y repelentes sobre *B. tabaci*, y actividad antifúngica contra *F. oxysporum*.

De manera general la actividad de los EEs de TCA y YBG causaron alta mortalidad (> 95%) de huevos, mientras que los EEs de CLC, TCA, TCC y YRP ocasionaron alta mortalidad (> 90%) en ninfas de *B. tabaci*. Estos efectos son considerados altos, como se ha reportado en literatura con EEs al 0.2% de otras especies. Por ejemplo, los EEs de hojas de *Eugenia winzerlingii* causaron alrededor 90 a 100 % de mortalidad en huevos y ninfas de *B. tabaci* (Cruz-Estrada *et al.*, 2013, 2019b). Con respecto al potencial de *A. compressa* como fuente de extracto para el manejo de plagas. Se considera que algunas poblaciones pueden ser consideradas de alta eficiencia para el control de *B. tabaci*. Otras especies de *Ardisia*, como *A. crenata* y *A. japonica* también han mostrado alta efectividad insecticida, se ha documentado efectos antialimentarios de los extractos de *A. solanacea* ((Anjum *et al.*, 2019). Es importante mencionar que, si bien varios EEs de *A. compressa* causaron alta mortalidad en inmaduros de *B. tabaci*, su efecto en la repelencia de adultos (< 40%) y disuasión de oviposición (< 30%) fue muy bajo, lo cual indica que los metabolitos contenidos en los extractos tienen principalmente efectos tóxicos letales. Es probable que los EEs contengan metabolitos repelentes en concentraciones muy bajas, lo que pudo afectar su efectividad en la evaluación.

Los EEs de *A. compressa* (100 y 200 $\mu\text{g mL}^{-1}$) también tuvieron efectos moderados (50-80 %) en la inhibición de crecimiento micelial de *F. oxysporum*. El EE más activo (CJC) causó entre 75-80% de inhibición de crecimiento micelial (ICM). En literatura sólo existe un reporte de evaluación antifúngica de extractos acuosos de *A. compressa*, que muestra inhibición de 83% de germinación de esporas de *Hemilia vastatrix* (García-Pérez *et al.*, 2021). En otros estudios sobre evaluación de extractos orgánicos, en concentraciones de 100 y 200 $\mu\text{g mL}^{-1}$, se ha observado alta efectividad en la inhibición de crecimiento micelial, como los extractos metanólicos de hojas y tallo de *Vitex mollis* contra *F. verticillioides* que produjeron valores hasta de 90% la ICM (Valencia-Botin *et al.*, 2018). Así también el extracto hexánico de *Syzygium aromaticum* causó más del 90% de ICM en *Fusarium* spp. Los extractos etanólicos de *Mosannonna depressa* (corteza de tallo y raíz), *Parathesis cubana* (raíz) y *Piper neesianum* (hojas) causaron 100% de ICM en *F. equiseti* y *F. oxysporum* (Cruz-Cerino *et al.*, 2020). Tomando como base los resultados de estos estudios, se observa que los EEs de *A. compressa* tienen efectos moderados en *F. oxysporum*.

En el análisis GC-MS mostró que los grupos de compuestos más comunes fueron los ácidos grasos, fenoles, anhídridos, diterpenos, triterpenos, sesquiterpenos, ésteres de ácidos grasos, ftalatos y fitoesteroides. Esto concuerda con los análisis fitoquímicos previos de hojas de otras especies de *Ardisia*. Por ejemplo, Wong *et al.* (2021), aislaron compuestos fenólicos en el extracto hidro-etanol de *A. elliptica* al 50 y 70% (v/v). Yeong *et al.* (2014), reportaron una mezcla isomérica de α y β -amirina (triterpenos) y 2-metoxi-6-undecil-1,4-benzoquinona (quinona) del extracto hexánico de la raíz de *A. crispa*. Schindler *et al.* (2021), identificaron flavonoides (flavonoles and flavan-3-ol), catequina, epigallocatequina e isoquercetina de los extractos metanólicos de hojas de *A. crenata*. Ma *et al.* (2022), identificaron saponinas triterpenoides de extractos metanólicos de *A. japonica*. Syed *et al.* (2013), reportaron la presencia de alcaloides, taninos, flavonoides, saponinas, gomas y carbohidratos, esteroides, terpenoides del extracto etanólico de *A. colorata* (corteza y hojas). Derivado de estos estudios y los análisis del presente trabajo, es claro que el género *Ardisia* contiene metabolitos terpenoides, flavonoides, saponinas y esteroides.

En este estudio se determinó la correlación entre la actividad biológica y la presencia de ciertos metabolitos mayoritarios. Para el caso de *B. tabaci*, los efectos más altos se tuvieron al aplicar el extracto TCA, donde el análisis de GC-MS mostró la existencia de compuestos mayoritarios como el ácido tetradecanoico; 6-metileno biciclo [3.2.0] hept-3-en-2-ona; ácido octadecanoico; el ácido 9Z,12Z,15Z-octadecatrienoico; α -amirina; β -amirina; fitol; 1,2,3-benzenetriol; catecol; 3-etil-5-(2-etilbutil)-octadecano; escualeno, vitamina E y estigmasterol. Mientras que para la inhibición del crecimiento micelial de *F. oxysporum* el extracto que mostró mayor actividad fue CJC, que mostró como componentes mayoritarios a γ -tocoferol; α -amirina; β -amirina; (Z)-18-octadec-9-enólido; escualeno; 3-etil-5-(2-etilbutil)-octadecano; neofitadieno; 1,2,3-benzenetriol; ácido n-hexadecanoico; ácido 9Z,12Z,15Z-octadecatrienoico; ácido octadecanoico, ácido hexadecanoico; etil éster del ácido hexadecanoico; etil éster 2-hidroxil-1-(hidroximetil); catecol; fitol; vitamina E y estigmasterol.

Al analizar la presencia de metabolitos mayoritarios en los extractos y su relación con el nivel de actividad, en los mapas de calor se observó que la mortalidad de huevos se correlacionó con alta abundancia del ácido oleico. Se ha observado que el ácido oleico tiene propiedades insecticidas y funciona como protector de cultivos contra plagas, como se ha descrito en otros estudios. Por ejemplo, posee función protectora contra larvas de *Spodoptera frugiperda* (Ramos-López *et al.*, 2012). Incluso, el ácido oleico y otros ácidos grasos son letales contra varias especies de insectos fitófagos. Se ha demostrado el efecto de los ácidos grasos contra insectos puede variar dependiendo de su estructura y longitud (Cruz Estrada *et al.*, 2019a). En tanto, la mortalidad de ninfas fue correlacionada con la abundancia del compuesto 1,2,3-benzenetriol (pirogalol), dicho compuesto ha sido reportado con buena capacidad insecticida. Por su parte, la actividad de repelencia de adultos de *B. tabaci*, se asoció al contenido de ácidos grasos como el ácido 9Z-12Z-15Z-octadecanotrienoico y ácido octadecanoico; mientras que la disuasión de oviposición se correlacionó con el contenido de 3-etil-5-(2-etilbutil)- octadecano. Estos dos metabolitos no han sido reportados con efectos contra alguna especie de plaga. En general, se ha documentado que los compuestos alifáticos de cadenas largas y ácidos grasos poseen acción biológica debido a la capacidad de incorporarse a la membrana celular y generar mayor fragilidad para causar desintegración de la pared celular (Jangir *et al.*, 2020). Con respecto a la actividad antifúngica, el análisis de mapa de calor mostró correlación positiva entre la actividad biológica y el contenido de neofitadieno y α -amirina y β -amirina. Estudios sobre la actividad antifúngica de compuestos naturales, han demostrado que el neofitadieno puede actuar en sinergia con otros compuestos, principalmente ácidos grasos para ejercer su efecto antifúngico (Dikhoba *et al.*, 2019; Ramírez-López *et al.*, 2023). También se sabe que los metabolitos triterpénicos (α -amirin y β -amirina) actúan como agentes antifúngicos contra varias especies de cepas filamentosas (Dikhoba *et al.*, 2019). Diversas investigaciones señalan que estos compuestos poseen la habilidad de modificar la permeabilidad de la membrana, ocasionando liberación de cationes al citoplasma y originando degradación en la membrana celular en varias especies de hongos (Leite *et al.*, 2014; J. H. Wong *et al.*, 2019). En consecuencia, la inhibición de crecimiento fúngico podría ser el resultado de la acción sinérgica de las sustancias presentes en el extracto. Además, otros compuestos como el catecol y el fitol fueron identificados en el extracto CJC y de acuerdo con, Cruz Vázquez *et al.* (2019), el catecol tiene la capacidad de actuar como pro-oxidantes causando daños moleculares en el ADN y las proteínas. Asimismo, se ha informado que el constituyente fitoquímico fitol tiene actividad antifúngica, debido a la producción excesiva de especies reactivas de oxígeno que genera daño al ADN y desequilibrio en la membrana mitocondrial, lo que resulta en apoptosis celular (Agus, 2020).

Es importante notar que los compuestos encontrados en los EEs de *A. compressa*, sugieren que el amplio rango de metabolitos y su abundancia en *A. compressa* depende del sitio de procedencia del material vegetal, pues los factores ambientales contribuyen en la síntesis y acumulación de metabolitos secundarios en el follaje de las plantas (Vázquez-León *et al.*, 2017; Gomes *et al.*, 2019; Li *et al.*, 2020; Ma *et al.*, 2022). Varios de los grupos de metabolitos mencionados en la literatura, indican que esta especie posee alto potencial para el manejo de *B. tabaci*, principalmente por su efecto tóxico letal contra inmaduros.

CONCLUSIONES

Los EEs de las hojas de *A. compressa* poseen importantes efectos contra *B. tabaci*, particularmente resalta su actividad tóxica letal contra estados inmaduros de esta especie plaga. La actividad antifúngica contra *F. oxysporum*, sin embargo, fue moderada. El análisis del perfil cromatográfico basado en GC-MS permitió la identificación de metabolitos potenciales en hojas de *A. compressa* y su correlación con la bioactividad, donde se destacaron los ácidos grasos y ésteres de ácidos grasos, como compuestos abundantes. La bioprospección de *A. compressa* como especie abundante del Sur de México enriquece el conocimiento de las fuentes de productos botánicos para el control de plagas en la agricultura.

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

LITERATURA CITADA

- Abbott, W. S. (1925). A method of computing the effectiveness of an insecticide. *Journal of Economic Entomology*, 18(3), 265–267. <https://doi.org/10.1093/jec/18.2.265a>
- Agus, H. H. (2020). Terpene toxicity and oxidative stress. In *Toxicology: Oxidative Stress and Dietary Antioxidants* (pp. 33–42). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819092-0.00004-2>
- Akhtar, Y., Pages, E., Stevens, A., Bradbury, R., da Camara, C. A. G., & Isman, M. B. (2012). Effect of chemical complexity of essential oils on feeding deterrence in larvae of the cabbage looper. *Physiological Entomology*, 37(1), 81–91. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3032.2011.00824.x>
- Al-Abd, N. M., Nor, Z. M., Mansor, M., Zajmi, A., Hasan, M. S., Azhar, F., & Kassim, M. (2017). Phytochemical constituents, antioxidant and antibacterial activities of methanolic extract of *Ardisia elliptica*. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 7(6), 569–576. <https://doi.org/10.1016/j.apjtb.2017.05.010>
- Anjum, B., Kumar, R., Kumar, R., Prakash, O., Srivastava, R. M., & Pant, A. K. (2019). Phytochemical analysis, antioxidant, anti-inflammatory and insect antifeeding activity of *Ardisia solanacea* Roxb. Extracts. *Journal of Biologically Active Products from Nature*, 9(5), 372–386. <https://doi.org/10.1080/22311866.2019.1702899>
- Bajracharya, G. B. (2015). Diversity, pharmacology and synthesis of bergenin and its derivatives: Potential materials for therapeutic usages. In *Fitoterapia*. <https://doi.org/10.1016/j.fitote.2015.01.001>
- Carrillo-Morales, M., Wong-Villarreal, A., Aguilar-Marcelino, L., Castañeda-Ramírez, G. S., Pineda-Alegria, J. A., & Hernández-Núñez, E. (2023). Chemical composition and antifungal and nematocidal activities of the hexanic and methanolic extracts of *Syzygium aromaticum*. *ScienceAsia*, 49(1), 124–130. <https://doi.org/10.2306/scienceasia1513-1874.2022.143>
- Chatatikun, M., & Chiabchalard, A. (2017). Thai plants with high antioxidant levels, free radical scavenging activity, anti-tyrosinase and anti-collagenase activity. *BMC Complementary and Alternative Medicine*. <https://doi.org/10.1186/s12906-017-1994-7>
- Colak Ates, A., Fidan, H., Karacaoglu, M., & Dasgan, H. Y. (2019). The identification of the resistance levels of *Fusarium oxysporum* F. SP. *Radicis - Lycopersici* and tomato yellow leaf curl viruses in different tomato genotypes with traditional and molecular methods. *Applied Ecology and Environmental Research*, 17(2), 2203–2218. https://doi.org/10.15666/aecer/1702_22032218
- Cruz-Cerino, P., Cristóbal-Alejo, J., Ruiz-Carrera, V., Carnevali, G., Vera-Ku, M., Martín, J., Reyes, F., & Gamboa-Angulo, M. (2020). Extracts from six native plants of the yucatán peninsula hinder mycelial growth of *Fusarium equiseti* and *F. Oxysporum*, pathogens of *Capsicum chinense*. *Pathogens*, 9(10), 1–19. <https://doi.org/10.3390/pathogens9100827>
- Cruz-Estrada, A., Gamboa-Angulo, M., Borges-Argáez, R., & Ruiz-Sánchez, E. (2013). Insecticidal effects of plant extracts on immature whitefly *Bemisia tabaci* Genn. (Hemiptera: Aleyroideae). *Electronic Journal of Biotechnology*, 16(1), 1–9. <https://doi.org/10.2225/vol16-issue1-fulltext-6>
- Cruz-Estrada, A., Ruiz-Sánchez, E., Medina Baizabal, I. L., Balam-Uc, E., & Gamboa-Angulo, M. (2019). Effect of *Eugenia winzerlingii* extracts on *Bemisia tabaci* and evaluation of its nursery propagation. *Phyton*, 88(2), 161–170. <https://doi.org/10.32604/phyton.2019.05809>
- Cruz Estrada, A., Ruiz Sánchez, E., & Gamboa Angulo, M. (2019). *Eugenia winzerlingii* : especie cuasiendémica con propiedades bioplaguicidas al descubierto. *Desde El Herbario CICY*, 11, 207–210. http://www.cicy.mx/sitios/desde_herbario/
- Cruz Vázquez, J. K., Contreras García, L. I., Ávila Serrano, N. Y., Bernabé Pineda, M., & Ruiz, F. G. R. (2019). Evaluación de tres compuestos fenólicos como blancos potenciales en el control de la antracnosis. *Acta Universitaria*, 29, 1–14. <https://doi.org/10.15174/au.2019.2200>

- De Mejía, E. G., & Ramírez-Mares, M. V. (2011). *Ardisia*: Health-promoting properties and toxicity of phytochemicals and extracts. In *Toxicology Mechanisms and Methods*. <https://doi.org/10.3109/15376516.2011.601355>
- Deng, J., Xiao, X., Tong, X., & Li, G. (2010). Preparation of bergenin from *Ardisia crenata* Sims and *Rodgersia sambucifolia* Hemsl based on microwave-assisted extraction/high-speed counter-current chromatography. *Separation and Purification Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2010.05.018>
- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Gonzalez, L. A., Tablada, E. M., Díaz, M. P., & Balzarini, M. G. (2018). *Infostat ver.2018*. Grupo InfoStat, FCA. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. <http://www.infostat.com.ar>
- Dikhoba, P. M., Mongalo, N. I., Elgorashi, E. E., & Makhafola, T. J. (2019). Antifungal and antimycotoxigenic activity of selected South African medicinal plants species. *Heliyon*, 5(10), e02668. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02668>
- García-Pérez, J. A., Alarcón-Gutiérrez, E., & Pelayo, T. (2021). Extractos acuosos de plantas como inhibidores de la germinación de urediniosporas de *Hemileia vastatrix*, la roya anaranjada del café. *AyTBUAP*, 6(21), 45–60. <https://eoi.citefactor.org/10.11235/BUAP.06.21.04>
- Gomes, A. F., Almeida, M. P., Leite, M. F., Schwaiger, S., Stuppner, H., Halabalaki, M., Amaral, J. G., & David, J. M. (2019). Seasonal variation in the chemical composition of two chemotypes of *Lippia alba*. *Food Chemistry*, 273, 186–193. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.11.089>
- Hernández-Amasifuen, A. D., Pineda-Lázaro, J., & Noriega-córdova, H. W. (2019). Isolation and identification of *Fusarium oxysporum* obtained from producing areas of “chili pepper” *Capsicum annum* L. (Solanaceae) in the district of Barranca, Peru. *Arnaldoa*, 26(2), 689–698.
- Herrera-Gorocica, A. M., Hernández-Núñez, E., Calvo Irabien, L. M., Sánchez-Contreras, Á., Ruiz-Jiménez, A. L., Latournerie-Moreno, L., Ballina-Gómez, H. S., & Ruiz-Sánchez, E. (2023). 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. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 26(3), 1–14. <https://doi.org/10.56369/tsaes.4413>
- Jangir, M., Sharma, S., & Sharma, S. (2020). Synergistic effect of oilseed cake and biocontrol agent in the suppression of *Fusarium* wilt in *Solanum lycopersicum*. *Brazilian Journal of Microbiology*, 51(4), 1929–1939. <https://doi.org/10.1007/s42770-020-00344-8>
- Jouwa Tameye, N. S., Mvot Akak, C., Mouthé Happi, G., Frese, M., Stammler, H. G., Neumann, B., Ndjakou Lenta, B., Sewald, N., & Nkengfack, A. E. (2020). Antioxidant norbergenin derivatives from the leaves of *Diospyros gillettii* De Wild (Ebenaceae). *Phytochemistry Letters*. <https://doi.org/10.1016/j.phytol.2020.01.012>
- Kobayashi, H., & De Mejía, E. (2005). The genus *Ardisia*: A novel source of health-promoting compounds and phytopharmaceuticals. In *Journal of Ethnopharmacology*. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2004.09.037>
- Leite, M. C. A., De Brito Bezerra, A. P., De Sousa, J. P., Guerra, F. Q. S., & De Oliveira Lima, E. (2014). Evaluation of antifungal activity and mechanism of action of citral against *Candida albicans*. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2014. <https://doi.org/10.1155/2014/378280>
- Li, Y., Kong, D., Fu, Y., Sussman, M. R., & Wu, H. (2020). The effect of developmental and environmental factors on secondary metabolites in medicinal plants. In *Plant Physiology and Biochemistry*, 148, 80–89. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.01.006>
- Ma, L., Zhang, M., Otsuki, K., Lei, Y., Kikuchi, T., Wang, Y., & Li, W. (2022). Simultaneous quantitative determination of six triterpenoid saponins in *Ardisia japonica* collected from different regions of China through LC-ESI-MS. *Pharmacognosy Research*, 15(1), 138–144. <https://doi.org/10.5530/097484900260>
- Malka, O., Feldmesser, E., Van Brunschot, S., Santos-Garcia, D., Han, W. H., Seal, S., Colvin, J., & Morin, S. (2021). The molecular mechanisms that determine different degrees of polyphagy in the *Bemisia tabaci* species complex. *Evolutionary Applications*, 14(3), 807–820. <https://doi.org/10.1111/eva.13162>

- Martínez-Blanco, A., Almeraya-Quintero, S. X., Guajardo-Hernández, L. G., Pérez-Hernández, L. M., & Regalado-López, J. (2019). La utilidad de *Ardisia compressa* kunth en parcelas cafetaleras. *Agro Productividad*, 12(9), 41–43. <https://doi.org/10.32854/agrop.v12i9.1468>
- Martínez-Solórzano, G. E., Rey-Brina, J. C., Pargas-Pichardo, R. E., & Enrique-Manzanilla, E. (2020). *Fusarium* wilt by tropical race 4: Current status and presence in the American continent. *Agronomía Mesoamericana*, 31(1), 259–276. <https://doi.org/10.15517/am.v31i1.37925>
- Mehta, S., Kadian, V., Dalal, S., Dalal, P., Kumar, S., Garg, M., & Rao, R. (2022). A fresh look on bergenin: Vision of its novel drug delivery systems and pharmacological activities. *Future Pharmacology*. <https://doi.org/10.3390/futurepharmacol2010006>
- Navas-Castillo, J., Fiallo-Olivé, E., & Sánchez-Campos, S. (2011). Emerging virus diseases transmitted by whiteflies. *Annual Review of Phytopathology*, 49, 219–248. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-072910-095235>
- Neal, J. W., Davis, J. C., Bentz, J. A., Warthen, J. D., Griesbach, R. J., & Santamour, F. S. (1998). Allelochemical Activity in *Ardisia* species (Myrsinaceae) against selected arthropods. *Journal of Economic Entomology*, 91(3), 608–617. <https://doi.org/10.1093/jee/91.3.608>
- Newell, A. M. B., Yousef, G. G., Lila, M. A., Ramírez-Mares, M. V., & Gonzalez de Mejia, E. (2010). Comparative *in vitro* bioactivities of tea extracts from six species of *Ardisia* and their effect on growth inhibition of HepG2 cells. *Journal of Ethnopharmacology*, 130(3), 536–544. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2010.05.051>
- Pérez-Acevedo, C. E., Carrillo-Rodríguez, J. C., Chávez-Servia, J. L., Perales-Segovia, C., & Villegas-Aparicio, Y. (2017). Diagnóstico de síntomas y patógenos asociados con marchitez del chile en Valles Centrales de Oaxaca. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(2), 281–293. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i2.50>
- Pournami, T. S., & Pratap, C. R. (2021). Evaluation of phytochemical and antimicrobial properties of leaf extracts of *ardisia solanacea* roxb. Collected from pathiramanal island, alappuzha district, kerala state, india. *Arabian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 7(1), 175–191. <https://doi.org/10.48347/IMIST.PRSM/ajmap-v7i1.22649>
- Ramírez-López, C. B., Pérez-Mayorga, S., Ramírez-Briones, E., Macias-Rodríguez, R., & Salcedo-Pérez, E. (2023). Antifungal effect and chemical study of *Eysenhardtia polystachya* (Fabaceae) on *Phanerochaete chrysosporium* and *Ganoderma lucidum*. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 14(8), 1–11. <https://doi.org/10.29312/remexca.v14i8.3208>
- Ramos-López, M. A., González-Chávez, M. M., Cárdenas-Ortega, N. C., Zavala-Sánchez, M. A., & Pérez G., S. (2012). Activity of the main fatty acid components of the hexane leaf extract of *Ricinus communis* against *Spodoptera frugiperda*. *African Journal of Biotechnology*, 11(18), 4274–4278. <https://doi.org/10.5897/ajb11.3727>
- Sandoval-Mojica, A. F., & Capinera, J. L. (2011). Antifeedant effect of commercial chemicals and plant extracts against *Schistocerca americana* (Orthoptera: Acrididae) and *Diaprepes abbreviatus* (Coleoptera: Curculionidae). *Pest Management Science*, 69(7), 860–868. <https://doi.org/10.1002/ps.2125>
- Schindler, F., Fagner, L., Herpell, J. B., Berger, A., Brenner, M., Tischler, S., Bellaire, A., Schönenberger, J., Li, W., Sun, X., Schinnerl, J., Brecker, L., & Weckwerth, W. (2021). Dissecting metabolism of leaf nodules in *Ardisia crenata* and *Psychotria punctata*. *Frontiers in Molecular Biosciences*, 8, 1–23. <https://doi.org/10.3389/fmolb.2021.683671>
- Syed, E., Mashroor, B., Hossain, F. M. D., Bi-Illah, N., Bhattacharjee, R., & Hannan, J. (2013). Evaluation of phytochemical screening and antimicrobial activities of ethanolic extracts of leaves and bark of *Ardisia colorata*. *International Journal of Pharmaceutical and Life Sciences*, 2(4), 158–164. <https://doi.org/10.3329/ijpls.v2i4.17115>
- Tian-Liang, Xie, Q., shama, R., Yu, J., Xi-Gu-Ri-Gan, Bao, Q., Su, H., Liu, B., & Borjigidai, A. (2024). Ethnobotanical study of Zhuang medicinal herbs of *Ardisia*: variety systematization, traditional uses, phytochemistry, pharmacology, clinical application, and toxicity. *Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 76(4), 327–353. <https://doi.org/10.1093/jpp/rgad119>
- Valencia-Botin, A. J., Gutiérrez-Lomeli, M., Morales-Del-Río, J. A., Guerrero-Medina, P. J., Robles-García, M. A., Ruiz-Cruz, S., Wong-Corral, F. J., Borboa-Flores, J., Rueda-Puente, E. O., & Del-Toro-Sánchez, C. L. (2018). Efecto inhibitorio de extractos de *Vitex mollis* kunth contra bacterias y especies de *Fusarium* de importancia humana y agrícola. *Revista*

Recibido:
25/julio/2024

Aceptado:
20/noviembre/2024

- Fitotecnia Mexicana*, 41(4), 353–363. <https://doi.org/10.35196/rfm.2018.4.353-363>
- Vázquez-León, L. A., Páramo-Calderón, D. E., Robles-Olvera, V. J., Valdés-Rodríguez, O. A., Pérez-Vázquez, A., García-Alvarado, M. A., & Rodríguez-Jimenes, G. C. (2017). Variation in bioactive compounds and antiradical activity of *Moringa oleifera* leaves: influence of climatic factors, tree age, and soil parameters. *European Food Research and Technology*, 243(9), 1593–1608. <https://doi.org/10.1007/s00217-017-2868-4>
- Wong, J. H., Alfatah, M., Kong, K. W., Hoon, S., Yeo, W. L., Ching, K. C., Goh, C. J. H., Zhang, M. M., Lim, Y. H., Wong, F. T., & Arumugam, P. (2019). Chemogenomic profiling in yeast reveals antifungal mode-of-action of polyene macrolactam auroramycin. *PLoS ONE*, 14(6). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0218189>
- Wong, P. Lou, Ramli, N. S., Tan, C. P., Azlan, A., & Abas, F. (2021). Metabolomic analysis reveals the valuable bioactive compounds of *Ardisia elliptica*. *Phytochemical Analysis*, 32(5), 685–697. <https://doi.org/10.1002/pca.3015>
- Yeong, L. T., Hamid, R. A., Yazan, L. S., Khaza'ai, H., & Hamsin, D. E. Z. A. (2014). Synergistic action of compounds isolated from the hexane extract of *Ardisia crispa* root against tumour-promoting effect, *in vitro*. *Natural Product Research*, 28(22), 2026–2030. <https://doi.org/10.1080/14786419.2014.917415>