



**TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CONKAL**

**DIVERSIDAD FENOTÍPICA DE *Ardisia compressa* Kunth Y
SU POTENCIAL USO COMO FUENTE DE PLAGUICIDA
BOTÁNICO**

TESIS

Que presenta:

Jesús Rigoberto Molina Maldonado

Como requisito parcial para obtener el grado de:

Doctor en Ciencias en Agricultura Tropical Sustentable

Director de tesis.

Dr. Rubén Humberto Andueza Noh

Conkal, Yucatán, México

Septiembre, 2024.





Conkal, Yucatán, México, a 18 de septiembre del 2024

El comité de tesis del candidato a grado: Jesús Rigoberto Molina Maldonado, constituido por los CC. Dr. Rubén Humberto Andueza Noh, Dr. Esaú Ruiz Sánchez, Dr. Federico Antonio Gutiérrez Miceli, Dr. René Garruña Hernández, Dr. Luis Filipe da Conceição Dos Santos, habiéndose reunido con el fin de evaluar el contenido teórico-metodológico y de verificar la estructura y formato de la tesis titulada: **“DIVERSIDAD FENOTÍPICA DE *Ardisia Compressa* Kunth Y SU POTENCIAL USO COMO FUENTE DE PLAGUICIDA BOTÁNICO”**, que presenta como requisito para obtener el grado de Doctor en Ciencias en Agricultura Tropical Sustentable, según lo establece el Capítulo 2, inciso 2.13.3, de los Lineamientos para la Operación de los Estudios de Posgrado en el Sistema Nacional de Institutos Tecnológicos, dictaminaron su aprobación para que pueda ser presentada en el examen de grado correspondiente.

ATENTAMENTE

Dr. Rubén Humberto Andueza Noh
Director de tesis

Dr. Esaú Ruiz Sánchez
Codirector de tesis

Dr. Federico Antonio Gutiérrez Miceli
Asesor de tesis

Dr. René Garruña Hernández
Asesor de tesis

Dr. Luis Filipe da Conceição Dos Santos
Asesor de tesis



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO®

Instituto Tecnológico de Conkal

Conkal, Yucatán, México a 18 de septiembre de 2024.

DECLARATORIA DE PROPIEDAD

Declaro que la información contenida en las secciones de materiales y métodos, resultados y discusión de este documento, es producto del trabajo de investigación realizado durante mi estudio de posgrado y con base en los términos de la Ley Federal del Derecho de Autor y la Ley de la Propiedad Industrial le pertenece patrimonialmente al Instituto Tecnológico de Conkal. En virtud de lo manifestado reconozco que los productos intelectuales o desarrollos tecnológicos que se deriven de lo correspondiente a dicha información son propiedad de la citada institución educativa.

Firma tesista

Jesús Rigoberto Molina Maldonado

INDICE DE CONTENIDO

Portada interna	ii
Hoja de firmas	iii
Declaración de propiedad	iv
Agradecimientos	v
ÍNDICE DE CONTENIDO	vi
ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS	ix
RESUMEN.....	11
ABSTRACT.....	12
I CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL.....	13
1.1 INTRODUCCIÓN	13
1.2 ANTECEDENTES.....	14
1.2.1 El género <i>Ardisia</i>	14
1.2.2 <i>Ardisia compressa</i> Kunth: descripción, taxonomía y diversidad	15
1.2.3 Fitoquímica de <i>Ardisia compressa</i>	19
1.2.4 Extractos botánicos para el control de plagas y enfermedades	22
1.2.5 Cultivos agrícolas y sus plagas.....	23
1.2.6 Importancia de <i>Bemisia tabaci</i> y <i>Fusarium oxysporum</i>	24
1.2 HIPÓTESIS	29
1.3 OBJETIVOS	29
1.4.1 Objetivo general	29
1.4.2 Objetivos específicos.....	29
1.5 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL	30
1.6 LITERATURA CITADA	31
 II CAPITULO 2. DIVERSIDAD MORFOLÓGICA DE <i>Ardisia compressa</i> Kunth, DEL NORESTE DE CHIAPAS, MÉXICO.....	 44
2.1 SUMMARY	44
2.2 RESUMEN.....	45
2.3 INTRODUCCIÓN	46
2.4 MATERIALES Y MÉTODOS	47

2.4.1 Colecta de material vegetal.....	47
2.4.2 Registro de variables cualitativas	49
2.4.3 Registro de variables cuantitativas	50
2.4.4 Análisis de datos.....	53
2.5 RESULTADOS.....	53
2.5.1 Diversidad morfológica	53
2.5.2 Relaciones morfológicas entre poblaciones de <i>A. compressa</i>	57
2.6 DISCUSIÓN	60
2.6.1 Diversidad morfológica de <i>A. compressa</i>	60
2.6.2 Organización de la diversidad morfológica de <i>A. compressa</i>	62
2.7 CONCLUSIÓN.....	64
2.8 REFERENCIAS	65

III CAPITULO 3. ACTIVIDAD BIOLÓGICA DE EXTRACTOS ETANÓLICOS DE <i>Ardisia compressa</i> Kunth SOBRE LA MOSCA BLANCA <i>Bemisia tabaci</i> (Hemiptera: Aleyrodidae) y EL HONGO <i>Fusarium oxysporum</i> (Sordariomycetes: Hypocreales)...	71
3.1 RESUMEN:	72
3.2 ABSTRACT:.....	72
3.3 Introducción	73
3.4 Material y métodos.....	75
3.4.1 Recolección de plantas y obtención de extractos	75
3.4.2 Bioensayo para evaluar el efecto tóxico sobre <i>Bemisia tabaci</i>	76
3.4.3 Bioensayo de repelencia y disuasión de la oviposición de <i>B. tabaci</i>	77
3.4.4 Actividad antifúngica <i>in vitro</i>	78
3.4.5 Análisis de perfil cromatográfico	78
3.4.6 Análisis de datos.....	79
3.5 Resultados	79
3.5.1 Efecto tóxico sobre estadios inmaduros de <i>B. tabaci</i>	79
3.5.2 Repelencia en adultos y disuasión de la oviposición.....	80
3.5.3 Inhibición de crecimiento micelial en <i>F. oxysporum</i>	80
3.5.4 Perfil cromatográfico de los EEs de <i>A. compressa</i> por GC-MS.....	81

3.5.5 Análisis de correlación entre actividad biológica y perfil cromatográfico.	83
3.6 Discusión.....	86
3.7 Conclusión	88
3.8 Literatura citada	89
 IV CONCLUSIONES GENERALES.....	 95
V CAPÍTULO 5. PERSPECTIVAS	97

INDICE DE CUADROS Y FIGURAS

CAPÍTULO 1

Cuadro 1.1	Taxonomía de <i>A. compressa</i> (WFO. 2024).	17
Figura 1.1	Datos de distribución de la especie <i>A. compressa</i> Kunth en México (GBIF. 2024).	15
Figura. 1.2	Estructuras vegetales de <i>A. compressa</i> , frutos (A), semilla (B), inflorescencias y flores (C), estambres (C), arbusto natural (D) y hojas lisas de inserción alterna (E).	17
Figura 1.3	Esquema experimental desarrollado en esta investigación.	30

CAPÍTULO 2

Tabla 2.1	Sitios de colecta de nueve poblaciones silvestres de <i>A. compressa</i> Kunth del noreste del estado de Chiapas, México.	48
Tabla 2.2	Variables cualitativas de los órganos vegetales evaluados en 10 individuos de nueve poblaciones de <i>A. compressa</i> .	50
Tabla 2.3	Variables morfológicas cuantitativas registradas en nueve poblaciones silvestres de <i>A. compressa</i> Kunth.	52
Tabla 2.4	Variación en características cualitativas de hoja y fruto de nueve poblaciones silvestres de <i>A. compressa</i> , colectadas en el noreste de Chiapas, México.	54
Tabla 2.5	Comparación de medias de variables cuantitativas registradas en nueve poblaciones de <i>A. compressa</i> del estado de Chiapas, México...	56
Tabla 2.6	Vectores propios de los dos primeros componentes principales de las variables evaluadas en nueve poblaciones de <i>A. compressa</i> en Chiapas, México.	58
Figura 2.1	Distribución geográfica de nueve poblaciones silvestres de <i>A. compressa</i> Kunth colectadas en el noreste del estado de Chiapas, México.	49
Figura 2.2	Esquema del registro de características de tallo y hoja en individuos de nueve poblaciones de <i>A. compressa</i> . A: rama floreciente (variables	

	de nudos y entre nudos), B: variables morfológicas medidas en la hoja (a: ancho, b: longitud y c: apertura angular del ápice).	52
Figura 2.3	Distribución espacial de nueve poblaciones de <i>A. compressa</i> Kunth, en los dos primeros componentes principales, con base en 21 variables morfológicas.	59
Figura 2.4	Dendrograma de nueve poblaciones de <i>A. compressa</i> Kunth, colectadas en el noreste de Chiapas, México, generado con distancias de Gower y método de agrupamiento Ward.	59

CAPÍTULO 3

Cuadro 3.1	Identificación de los extractos etanólicos obtenidos de hojas de <i>A. compressa</i> y ubicación de la localidad de recolecta de las poblaciones.	75
Cuadro 3.2	Efecto de los extractos etanólicos de <i>A. compressa</i> al 0.2 % (p/v) sobre estadios inmaduros y adultos de <i>B. tabaci</i> a las 48 h posterior a la aplicación.	80
Cuadro 3.3	Porcentaje de inhibición del crecimiento micelial de <i>F. oxysporum</i> a las 96 h de exposición con extractos etanólicos de hojas de <i>A. compressa</i> .	81
Cuadro 3.4	Compuestos identificados por GC-MS en EE de hojas de <i>A. compressa</i> .	82
Figura 3.1	Mapa de México mostrando la región en el estado de Chiapas donde se recolectaron las poblaciones de <i>A. compressa</i> .	76
Figura 3.2	Mapa de calor del análisis GC-MS de diez EEs de hojas de <i>A. compressa</i> y sus correspondientes compuestos. Los promedios de metabolitos y los porcentajes relativos de tres réplicas se muestran en colores que van del rojo (alta concentración) al azul (baja concentración).	84
Figura 3.3	Mapa de calor de correlación entre los compuestos de 10 extractos etanólicos de hojas de <i>A. compressa</i> y la actividad biológica contra <i>B. tabaci</i> y <i>F. oxysporum</i> , con empleo del método de distancias de Pearson y el valor del coeficiente.	85

RESUMEN

Las plantas representan la principal fuente de metabolitos secundarios bioactivos para la industria farmacológica. La especie local *Ardisia compressa* Kunth, ha demostrado resultados interesantes como fuente de fitoquímicos con valor medicinal y alimenticia de sus hojas y frutos, pero se sabe poco sobre su potencial como fuente de plaguicidas botánicos para el control de plagas y enfermedades de los cultivos en México. Además, las plantas de origen local representan una fuente de metabolitos secundarios bioactivos. El objetivo del presente estudio fue evaluar la diversidad fenotípica de *Ardisia compressa* Kunth de la región selva Lacandona y selva norte del estado de Chiapas y su efecto como extracto etanólico contra *Bemisia tabaci* y *Fusarium oxysporum*. El trabajo se desarrolló en dos etapas experimentales. En la etapa 1, se evaluó la diversidad genética de *A. compressa* utilizando marcadores morfológicos y en la etapa 2, se evaluó la actividad biológica de extractos etanólicos (EEs) sobre el insecto plaga *B. tabaci* y el hongo *F. oxysporum* y se determinaron los constituyentes fitoquímicos de los extractos etanólicos de *A. compressa*. Los datos fueron analizados mediante Análisis de Varianza (ANOVA), análisis de conglomerados con algoritmo de Ward y distancia de Gower, y análisis de componentes principales (ACP). Los resultados de la evaluación morfológica indicaron que las poblaciones de *A. compressa*, poseen alta diversidad fenotípica organizada en tres grupos diferenciados por las características morfológicas de las poblaciones. Los extractos etanólicos, presentaron un efecto estadístico significativo ($P < 0.0001$), en mortalidad de huevos de 98 y 99% y en ninfas de 85 y 97% sobre *B. tabaci*. El efecto repelente en adultos fue menor del 50% ($p = 0.0095$). No se observó diferencia estadística significativa en la disuasión de la oviposición ($p = 0.3917$). Se observó un efecto en la inhibición de crecimiento micelial de *F. oxysporum* con valores del 52 a 75% y de 55 a 79% para las concentraciones de 100 y 200 $\mu\text{g mL}^{-1}$ respectivamente. El perfil cromatográfico de los EEs de *A. compressa* por GC MS permitió identificar grupos de metabolitos secundarios asociados con la actividad biológica sobre *B. tabaci* y *F. oxysporum*. Lo anterior, indica que los extractos de hojas de *A. compressa* representan una alternativa para el control de plagas y enfermedades.

ABSTRACT

Plants represent the main source of bioactive secondary metabolites for the pharmacological industry. The local species *Ardisia compressa* Kunth has shown interesting results as a source of phytochemicals with medicinal and food value from its leaves and fruits, but little is known about its potential as a source of botanical pesticides for the control of pests and crop diseases in Mexico. In addition, locally sourced plants represent a source of bioactive secondary metabolites. The objective of the present study was to evaluate the phenotypic diversity of *Ardisia compressa* Kunth from the Lacandon jungle region and northern jungle of the state of Chiapas and its effect as an ethanolic extract against *Bemisia tabaci* and *Fusarium oxysporum*. The work was developed in two experimental stages. In stage 1, the genetic diversity of *A. compressa* was evaluated using morphological markers and in stage 2, the biological activity of ethanolic extracts (EEs) on the insect pest *B. tabaci* and the fungus *F. oxysporum* was evaluated and the phytochemical constituents of ethanolic extracts of *A. compressa* were determined. Data were analyzed by analysis of variance (ANOVA), cluster analysis with Ward's algorithm and Gower's distance, and principal component analysis (PCA). The results of the morphological evaluation indicated that the populations of *A. compressa* have high phenotypic diversity organized in three groups differentiated by the morphological characteristics of the populations. The ethanolic extracts showed a statistically significant effect ($P < 0.0001$) in egg mortality of 98 and 99% and in nymphs of 85 and 97% on *B. tabaci*. The repellent effect on adults was less than 50% ($p = 0.0095$). No significant statistical difference was observed in oviposition deterrence ($p = 0.3917$). An effect on mycelial growth inhibition of *F. oxysporum* was observed with values of 52 to 75% and 55 to 79% for concentrations of 100 and 200 $\mu\text{g mL}^{-1}$ respectively. Chromatographic profiling of *A. compressa* EEs by GC MS allowed the identification of groups of secondary metabolites associated with biological activity on *B. tabaci* and *F. oxysporum*. This indicates that *A. compressa* leaf extracts represent an alternative for pest and disease control.

I CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL

1.1 INTRODUCCIÓN

Las especies de plantas del género *Ardisia* han sido estudiadas ampliamente por la producción de sus compuestos fenólicos (Zheng y Wu, 2007; Chang *et al.*, 2011; Newell *et al.*, 2010), que le confieren propiedades medicinales (Chandra y González de Mejía, 2004), actividad antioxidante y anti-citotoxicidad (Kobayashi y González de Mejía, 2005). Entre los grupos principales de compuestos fenólicos elucidados, se encuentran derivados del ácido hidroxibenzoico o del ácido hidroxicinámico, estilbenos, lignanos, alcoholes fenólicos y flavonoides (Quiñones *et al.*, 2012).

Una de las especies de este género, con crecimiento natural en el estado de Chiapas es *Ardisia compressa* K, esta especie se puede encontrar de forma silvestre o en los traspatios; es utilizado como sombra en plantaciones de cafeto y sus frutos son consumidos por las personas locales de las comunidades donde esta especie tiene presencia (Martínez-Blanco *et al.*, 2019). En sus tejidos, hojas, tallos y frutos, se producen diversos metabolitos secundarios que le han caracterizado un alto valor nutracéutico, a pesar de ello, sus aplicaciones en la agricultura son limitadas. Se han desarrollado diversos estudios sobre *A. compressa* basado principalmente en el conocimiento de sus propiedades fisicoquímicas con propiedades quimiopreventivas, nutracéuticas y en el tratamiento de desórdenes en la salud humana; sin embargo, a pesar de su potencial esta especie aún no ha sido caracterizada morfológicamente (Ramírez-Mares *et al.*, 2004; Lascurain *et al.*, 2010; Martínez-Blanco *et al.*, 2019).

Por otra parte, en *A. compressa* se ha reportado la presencia de metabolitos secundarios en frutos y hojas. Por lo tanto, podría ser aprovechada para obtener extractos que puedan ser utilizados en el control de plagas y enfermedades (Oerke, 2006). En este sentido, las plagas de importancia primaria como la mosca blanca *Bemisia tabaci*, una especie de insecto polífago que ataca una gama de cultivos hortícolas y ornamentales tanto de campo como invernaderos; y el hongo *Fusarium*, un patógeno principalmente de campo, causan estragos significativos provocando grandes pérdidas vegetales y económicas a nivel mundial (García *et al.*, 2007; Sumalan *et al.*, 2013; Baldin *et al.*, 2015).

Por lo tanto, el presente trabajo tiene como objetivo evaluar la diversidad fenotípica de *Ardisia compressa* Kunth de la región selva Lacandona y selva norte del estado de Chiapas y su efecto como extracto etanólico contra *Bemisia tabaci* y *Fusarium oxysporum*.

1.2 ANTECEDENTES

1.2.1 El género *Ardisia*

El género *Ardisia* contiene alrededor de 500 especies (Kobayashi y González de Mejía, 2005). Las especies de este género tienen presencia a nivel mundial en las regiones tropicales y subtropicales, para algunas especies del género, la taxonomía clásica las define como integrantes de la familia Myrsinaceae. Sin embargo, en otros estudios las han agrupado dentro de la familia Primulaceae (Tavares-Carrijo *et al.*, 2011; Jun y Nian-He, 2012).

Las especies que integran el género *Ardisia* son consideradas como una rica fuente potencial de compuestos fitoquímicos novedosos y biológicamente activos, entre los que destacan compuestos como la bergenina y norbergenina (Piacente *et al.*, 1996), ácido gálico, ardisinone, flavonoides (Newell *et al.*, 2010), aristolona (Anjum *et al.*, 2019), ardisina (González de Mejía *et al.*, 2002), entre otros.

Muchos de estos componentes fitoquímicos han sido estudiados con fines medicinales, farmacológicos, oncológicos, pero falta una exploración exhausta sobre sus aplicaciones (Kobayashi y González de Mejía, 2005). Estudios en la medicina tradicional han reportado que su consumo en forma de té podría ayudar a reducir la presencia de cáncer colorrectal (Du *et al.*, 2012), de próstata (Khan *et al.*, 2014) y de hígado (González de Mejía *et al.*, 2002). Además, otras aplicaciones sobre su uso han sido publicados y se ha provisto su empleo para el control de problemas de dolor abdominal, parásitos intestinales (lombrices), enfermedades gastro-intestinales, en problemas de la piel asociado a virus del herpes y la sarna (Koh, 2009). A pesar de los resultados generados por diversos trabajos y el consumo generalizado de estas hierbas, para casos de tratamientos oncológicos, estas especies representan un reservorio potencial en la búsqueda de metabolitos que puedan tener aplicación en la agricultura.

Los estudios con aplicación en la agricultura de las especies del género *Ardisia* son limitados, a pesar de que los compuestos fitoquímicos reportados representan ser una fuente potencial. Se ha publicado que los extractos vegetales de partes aéreas de estas plantas poseen actividades anti-alimentarias, repelentes, disuasión de oviposición, insecticida y fungicida contra diversas plagas que dañan a los cultivos (Neal *et al.*, 1998; Anjum *et al.*, 2019; Pournami y Pratap, 2021).

1.2.2 *Ardisia compressa* Kunth: descripción, taxonomía y diversidad

A. compressa, es un arbusto que se desarrolla en zonas tropicales y subtropicales de México (Figura 1), crece en altitudes de 0 a 1500 m, en un ambiente de temperatura promedio anual de 22°C y con lluvias anuales que fluctúan entre 1100-2000 mm (Ibarra-Manríquez y Tenorio-Cornejo, 2010). Su distribución es amplia a lo largo de la zona templada del sureste de la república mexicana (Lascurain *et al.*, 2010). Es una especie con baja escala de producción y poco conocida, por tanto, representa ser un recurso genético importante de explorar (Gómez-Maqueo *et al.*, 2020).



Figura 1. Distribución de la especie *A. compressa* Kunth en México (GBIF. 2024).

Sus estructuras vegetales poseen una morfología particular. El fruto (Figura 2A) es de característica pequeña, esférico, con longitudes que oscilan entre 0.8 a 1.5 cm, presenta un

color azul intenso a violeta de acuerdo con su madurez con sabor suave. La semilla (Figura 2B) es particularmente de textura rugosa y monocotiledónea (Joaquín-Cruz *et al.*, 2015). Las inflorescencias (Figura 2C) son paniculadas, ramas abiertas y racemosas; con flores que presentan un color blanco y longitud entre 5 a 6 mm, pedicelos de 4 a 6 mm de longitud; los estambres (2E) son filamentosos de longitud variable entre 1 a 2 mm y sus anteras en la parte superior del filamento (Carranza-González, 2014). Los árboles (Figura 2F), en estas plantas pueden alcanzar entre 1 y 7 m. Las hojas (Figura 2G), presentan forma lanceolada, ápice agudo y acuminado, con un margen entero, pueden ser coriáceas, con venación pinnada, presentan un color café marrón en el envés (Lascurain *et al.*, 2010). Su reproducción puede realizarse por semillas y/o por esquejes.

Las estructuras vegetales de esta especie han proporcionado cierta aplicación en la sociedad, por ejemplo, de los frutos se puede obtener productos fermentados (vinos), purés y elaboración de aguas frescas (Joaquín-Cruz *et al.*, 2015); las hojas se han empleado como té en la medicina tradicional para el tratamiento de la tos y en la medicina convencional para tratamiento de problemas hepáticos como cáncer de hígado y citotoxicidad de Células (Ramírez-Mares *et al.*, 1999; González de Mejía *et al.*, 2006).

Otras investigaciones, con relación al uso de sus estructuras han revelado la presencia de un conjunto de compuestos fitoquímicos entre los que destacan los compuestos fenólicos como antocianinas (Joaquín-Cruz *et al.*, 2015; Vázquez *et al.*, 2021). quinonas, cumarinas, saponinas (Chandra y González de Mejía, 2004; González de Mejía *et al.*, 2006; Kobayashi y González de Mejía, 2005; Newell *et al.*, 2010); y se ha demostrado que poseen efectividad en la prevención de diversos problemas cardiovasculares, diabetes, obesidad, protectores antioxidantes y anticancerígenos (Alonso-González *et al.*, 2014; Cassidy, 2018; Khoo *et al.*, 2017).

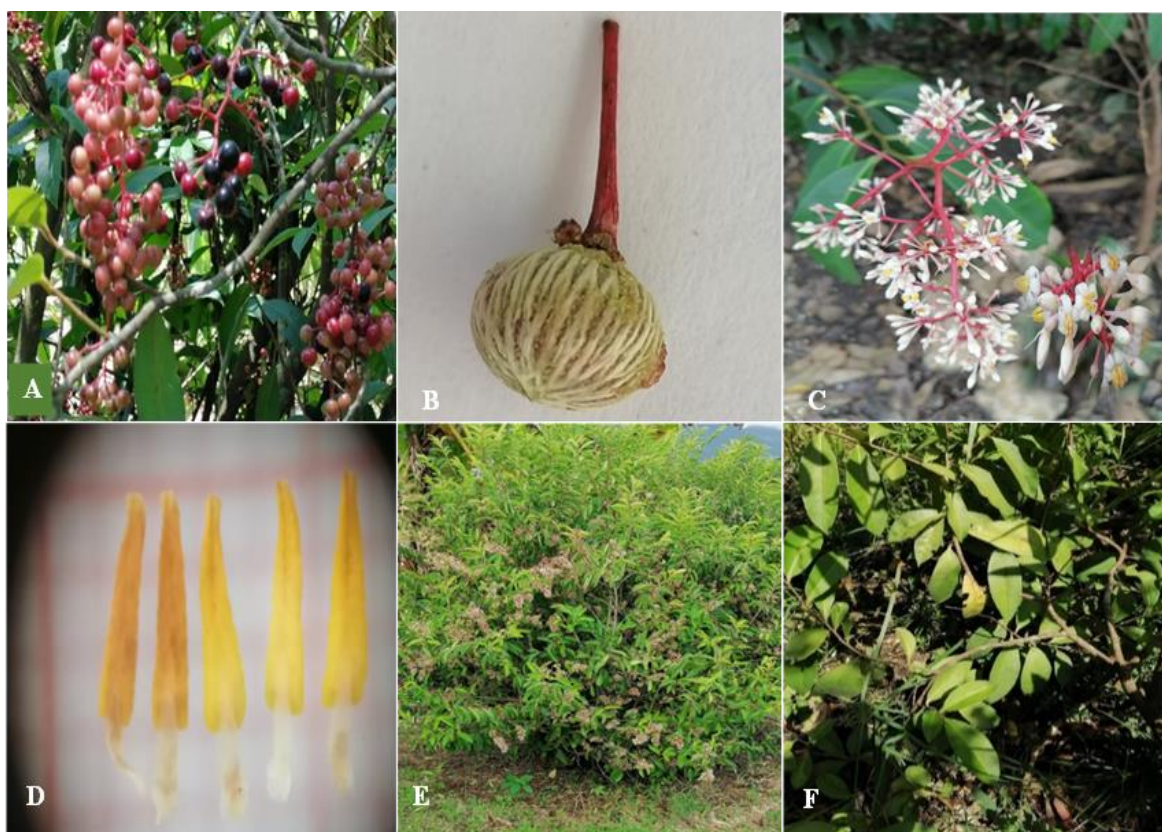


Figura 2. Estructuras vegetales de *A. compressa*, frutos (A), semilla (B), inflorescencias y flores (C), estambres (D), arbusto natural (E) y hojas lisas de inserción alterna al tallo (F) (Fotos: Jesus R. Molina Maldonado).

De acuerdo con los datos obtenidos por la Flora Mundial en línea (The World Plant List), *A. compressa* Kunth, presenta la siguiente taxonomía:

Cuadro 1. Taxonomía de *A. compressa*.

	Taxonomía
Reino:	Plantae
Subreino	Pteridobiotina (Britton & Brown)
Phylum:	Angiosperms
Orden:	Ericales (Bercht. & J. Presl)
Familia:	Primulaceae (Batsch ex Borkh).
Género:	<i>Ardisia</i> Sw
Especie:	<i>Ardisia compressa</i>
Nombre científico:	<i>Ardisia compressa</i> Kunth

Fuente: (WFO. 2024).

La diversidad genética manifiesta la variación individual incluyendo las frecuencias de los individuos dentro de una población (Rimieri, 2017). En consecuencia, la evaluación de las medidas de diversidad genética se basa en rasgos o características que proporcionan un valor para estimar que tan cercano o distante puede estar un genotipo de otro en una población, por lo tanto, la evaluación de la diversidad genética puede hacerse mediante el empleo de diferentes marcadores que incluyen: a los marcadores bioquímicos, genéticos y morfológicos.(Becerra *et al.*, 2000).

Los marcadores morfológicos hacen referencia a los distintos caracteres fenotípicos que pueden ser diferenciados de una forma sencilla y factible a través del sentido visual, algunos ejemplos de marcadores morfológicos son la forma, el color, el tamaño etc., varios de estos caracteres se transcriben como descriptores trascendentales, al momento de registrar nuevas variedades. Muchos de estos descriptores están desarrollados por International Board for Plant Genetic Resources (IBPGR), con el objeto de regular la identificación de una especie en particular (Sánchez-Urdaneta y Peña-Valdivia, 2011).

En diversos trabajos se han estudiado un sin número de especies vegetales con descriptores morfológicos, bioquímicos y moleculares; tal como: Fresnedo-Ramírez *et al.* (2011) realizaron un estudio sobre la morfo-variabilidad del capulín (*Prunus serótina* Ehrh) con el apoyo de 39 descriptores (22 cuantitativos y 17 cualitativos), describiendo una alta variabilidad morfológica con relación a factores agro-morfológicos, taxonómicos y genéticos. Tsanakas *et al.* (2018) evaluaron la diversidad genética de especies de lentejas y demostraron diferencias estadísticas significativas entre las variedades, tomando como variable el diámetro de las semillas.

Para el caso particular del género *Ardisia*, algunas especies se han evaluado mediante marcadores moleculares y morfológicos, por ejemplo; en poblaciones de *A. crenata*, las características morfológicas evaluadas de tamaño de semilla, número de frutos por rama y por planta, tamaño del fruto y altura de la planta, mostraron alta variabilidad morfológica entre los individuos de las poblaciones (Kitajima *et al.*, 2006). En las especies de *A. pusilla*, *A. japonica* y *A. crenata*, nativas del sureste asiático; el análisis de los caracteres de hoja

(forma y textura), color del fruto (blanco y rojo) y marcadores moleculares RAPD (Ampliación aleatoria de ADN polimórfico), permitieron observar alta variabilidad y similitud morfológica entre las especies, así como se logró determinar su origen geomorfológico (Ae-Kyung *et al.*, 2003). En *A. elliptica* y *A. obovata*, los caracteres morfológicos de hoja (área específica, peso fresco, peso seco), frutos y semillas (número de frutos, número de semillas); permitieron determinar su distribución (Muñoz y Ackerman, 2011).

Por otro lado, el complejo de especies *A. crenata*, *A. hanceana*, *A. lindleyana*, *A. linangensis* y *A. crenata* var. *bicolor*, fueron estudiadas con variables morfológicas de hoja (forma, margen, nódulos marginales), flor (color, inflorescencia, longitud, longitud rama floral, longitud del pedicelo), fruto (diámetro), y marcadores moleculares de secuencias internas transcritas (ITS), los resultados con ambos marcadores permitieron observar la formación de tres grupos bien definidos dentro de este complejo de especies (Jun y Nian-He, 2012).

Por lo tanto, la aplicación de marcadores morfológicos es de gran importancia para generar información básica sobre la caracterización de ejemplares vegetales y dar a conocer especies subutilizadas con potencial para la agricultura. Con relación a la especie *A. compressa* Kunth, la información sobre su caracterización morfológica es limitada y en México aún no ha sido caracterizada.

1.2.3 Fitoquímica de *Ardisia compressa*

Se ha descrito un amplio rango de metabolitos secundarios, en las especies del género *Ardisia* demostrando la presencia de fitoquímicos como polifenoles, saponinas, quinonas, isocoumarinas, triterpenos, péptidos y alquilfenoles (Foubert *et al.*, 2008; Gonzales de Mejía y Ramírez-Mares, 2011). Entre los compuestos más comunes que se han extraído de las diferentes especies de *Ardisia*; se pueden mencionar los siguientes: en *A. japónica*, se han aislado los fitoquímicos de bergenina y norbergenina (Piacente *et al.*, 1996), de *A. gigantifolia* el compuesto bergenina (Mu *et al.*, 2013), de *A. mamillata* los constituyentes de ácido gálico y ardisinone, de *A. crenata* compuestos como embelina, quercitrina,

norbergenina, bergenina (Newell *et al.*, 2010; Deng *et al.*, 2010); de *A. elíptica* metabolitos de kaempferol y norbergenina, fenoles totales y flavonoides totales (Chatatikum y Chiabchalard, 2017) y el 5-(1,2-dihydroxypentyl) benzene-1,3-diol (Zhu *et al.*, 2008).

Actualmente, en estas especies se tiene un gran conocimiento generalizado con relación a su totalidad del conjunto de fitoquímicos identificados, además de la amplia variedad de actividades bioquímicas, farmacológicas y medicinales que han sido demostradas (González de Mejía *et al.*, 2002, Kobayashi y Gonzales de Mejía, 2005; González de Mejía *et al.*, 2006;)

Los constituyentes químicos demostrados en las especies de *Ardisia*, representan un potencial significativo en el área médica (González de Mejía *et al.*, 2002, González de Mejía *et al.*, 2006), farmacéutica (Kobayashi y Gonzales de Mejía, 2005) y alimentaria ((Joaquín-Cruz *et al.*, 2015). Sin embargo, como posible alternativa en áreas agrícolas para el control biológico de plagas de cultivos de gran importancia pocas especies de *Ardisia* han sido estudiadas (Sajitha y Kannan, 2020). Varios autores han evaluado los constituyentes fitoquímicos de *Ardisia* como biopesticidas, bioinsecticidas (Ogwen *et al.*, 2002; Matias *et al.*, 2013; Alahyane *et al.*, 2020), antifúngicos (Xu *et al.*, 2018; Jiménez *et al.*, 2018; Silva *et al.*, 2020), nematocidas (Oliveira *et al.*, 2019; Scupinari *et al.*, 2020) y de acción anti alimentaria contra ciertos grupos de plagas (Anjum *et al.*, 2019).

La actividad biológica reportada en las especies vegetales del género *Ardisia*, han demostrado ser un potencial antagonista al desarrollo de ácaros e insectos plaga y de repelencia frente al ataque de patógenos (Bakan *et al.*, 2003), son componente de defensa de la planta y algunos otros para síntesis enzimática, por ejemplo, proteasas, inducidos ante una lesión originada por agresión de insectos o patógenos (Kim *et al.*, 2003; Sajitha y Kannan, 2020).

Entre las especies vegetales de *Ardisia* que se han estudiado para el control de plagas y enfermedades podemos mencionar los siguientes: en *A. crenata* y *A. japónica* donde se ha reportado un efecto *in vivo* sobre alta mortalidad en el número de oviposiciones y ninfas de *Bemisia argentifolii* y actividad acaricida contra *Trialeurodes vaporariorum* debido a las altas concentraciones de flavonoides y ácidos orgánicos solubles en agua (Neal *et al.*, 1998).

En *A. elliptica*, los compuestos como gingerol, aspidin, kaempferol y stercuresin, han demostrado tener actividad antibacteriana contra bacterias Gram positiva y Gram negativas (Nazeh *et al.*, 2017) y un alto porcentaje anti alimentario contra *Spilosoma obliqua*, la oruga peluda de yute o de Bihar (Anjum *et al.*, 2019). Otros estudios, como la evaluación de extractos de *A. solanacea*, demostraron una alta inhibición de la enzima proteasa intestinal de *Spodoptera litura* provocando la muerte del insecto plaga, por lo cual se sugiere que probablemente los compuestos polifenólicos y ácidos grasos estén involucrados en el efecto (Sajitha y Kannan, 2020). Por lo anterior, las especies de *Ardisia* y sus fitoconstituyentes representan una alternativa potencial como agentes en el control de plagas.

En la especie *A. compressa*, muchos fitoquímicos también se han extraído y publicado, por ejemplo, se ha encontrado alta presencia de los compuestos como: cianidina 3-O-galactósido, peonidin 3-O-galactósido, petunidina 3-O galactósido, M-3-O galactósido y D-3-O galactósido (Joaquín-Cruz *et al.*, 2020). Ácido gálico, ácido clorogénico, procianidina, ardisianone, flavone, glicósido de quercetina (Newell *et al.*, 2010). Otros grupos de compuestos también han sido identificados entre los que destacan alcaloides, flavonoides, cumarinas y terpenos (García-Pérez *et al.*, 2021).

Entre los constituyentes fitoquímicos reportados para *A. compressa*, se ha divulgado diferentes efectos, por ejemplo, el diterpeno poncidin, posee efectos de actividad antiestrés oxidativo (Islam *et al.*, 2016); el polifenol ácido 4-caffeoylquinico, presenta efecto antioxidante en café (Moeenfard *et al.*, 2014), además, diferentes compuestos derivados de ácidos fenólicos como el ácido rosmarínico y galloyl hexoside, han mostrado una alta capacidad como antioxidantes y raptos de radicales libres, por lo que los compuestos fenólicos que en su estructura poseen radicales oxidrilos tienen esa capacidad de formar puentes de hidrógenos e interactuar con otros compuestos (Hsu *et al.*, 2005; Piao *et al.*, 2009; Ambika-Singh y Chauhan, 2014; Alfieri y Mann, 2015; Howes *et al.*, 2018).

Actualmente, el empleo de los compuestos fitoquímicos de *A. compressa* ha demostrado ser potencialmente activo desde el punto de vista nutraceútico, sin embargo, las aplicaciones de los constituyentes fitoquímicos que posee esta especie vegetal en particular para el área

agrícola son escasas y se les ha prestado poca atención en los sectores académico, centros de investigación y gubernamentales. El único antecedente que existe de la aplicación de los componentes fitoquímicos de *A. compressa* en la agricultura es sobre la actividad de extractos acuosos de hojas de *A. compressa* e indica que los metabolitos secundarios observados poseen capacidad fúngica sobre la inhibición del crecimiento y desarrollo de las urediniosporas de *Hemileia vastatrix* quienes actúan como responsable de la roya naranja en cultivos de café (García-Pérez *et al.*, 2021).

1.2.4 Extractos botánicos para el control de plagas y enfermedades

Con propósitos de minimizar el impacto de estas plagas se han empleado técnicas que usan plaguicidas sintéticos (Nava-Pérez *et al.*, 2012) y se ha observado que estos compuestos desarrollan efectos secundarios con repercusión en la salud humana y deterioro ambiental (Altieri y Nicholls, 2000). Además de inducir resistencia de la plaga. Por tal motivo, se han promovido otras metodologías entre ellas el uso de agentes de control biológico, bio-plaguicidas de origen natural y han demostrado ser eficaces y de efecto adverso a lo sintético, motivo por el cual estas formulaciones están obteniendo un creciente desarrollo en la investigación (Alfonso, 2002; Leng *et al.*, 2011).

Los extractos botánicos han demostrado ser una de las alternativas benéficas en el control de plagas, delimitando poblaciones de insectos, reduciendo la estabilidad de desarrollo y la tasa de reproducción. (Ben *et al.*, 2001; Carlini y Grossi, 2002). En la elaboración de los extractos crudos se han empleado técnicas con diferentes solventes entre ellos acuoso-etanólico (Cruz-Estrada *et al.*, 2013), alcohólico (Romero *et al.*, 2015) y aceites esenciales (Herrera-Gorocica *et al.*, 2023).

Entre estas alternativas empleadas se ha demostrado que los extractos acuosos y orgánicos de especies vegetales poseen efectos positivos cuando son aplicados sobre insectos plaga. En estadios de *B. tabaci* se ha demostrado efectos tóxicos letales con extractos acuosos y etanólicos de especies de diferentes vegetales, por ejemplo: se ha reportado altos efectos letales en huevos, con el extracto acuoso que causó mortalidades del 98 al 100% y con el extracto etanólico un 95 a 100%; mientras, en ninfas, los extractos acuosos no reportaron

efectos insecticidas, el extracto etanólico causó del 99 y 100% de toxicidad (Cruz-Estrada *et al.*, 2013). Así mismo, se reportó una máxima mortalidad del 99 y 5% con extracto acuoso y del 89 y 100% con extracto etanólico en huevos y ninfas, respectivamente (Cruz-Estrada *et al.*, 2019).

Además, otros extractos etanólicos de otras especies vegetales como *Azadirachta indica* L. (nim) y *Ruta graveolens* L.(ruda), provocaron mortalidades entre 99 y 96%, respectivamente; sobre adultos de *B. tabaci* (Romero *et al.*, 2015). Por su parte, los aceites esenciales también han demostrado una alta capacidad insecticida y se ha publicado que esos extractos producen mortalidad en plagas de diferentes estadios, como en adultos de *Tetranychus urticae* causan toxicidad letal entre 45-95% y en ninfas entre 42-93%. En *B. tabaci*, la mortalidad de huevos se reportó entre 65-99 % y en ninfas entre 45-87% (Herrera-Gorocica *et al.*, 2023).

Por lo anteriormente descrito, es importante señalar que los extractos etanólicos son un elemento idóneo para la extracción de sustancias naturales, además de presentar un impacto favorable en el control de plagas de los cultivos.

1.2.5 Cultivos agrícolas y sus plagas

Muchos de los cultivos de importancia en la alimentación y la agricultura actualmente presentan un problema muy común y universal que refiere a plagas. Las plagas en definición se consideran un incremento en el número de individuos de una especie (vegetal o animal) en una población, poseen capacidad patogénica para las plantas o productos vegetales (NIMF, 2010). El grado de patogenicidad de los organismos (insectos, hongos, virus y bacterias) no implica únicamente su efecto destructivo sobre un cultivo, sino que también, está asociado a factores de interés económico y ecológico, de forma tal, que produce efectos en la disminución de los cultivos (rendimiento en producción), la calidad de los productos y hasta pérdida total, lo que genera grandes deterioros económicos a los productores (Jiménez-Martínez, 2009).

Frecuentemente, las hortalizas de las especies de Solanaceas, Fabaceas, Curcubitaceas, son huéspedes de diversas plagas de insectos: pulgones, cochinillas, escarabajos, gusanos cortadores, minadores (podadores de hojas), gusanos del fruto, oxiuros, moscas blancas y virus (Thompson, 2011; Capinera, 2020).

Entre las plagas de gran importancia agrícola se encuentra la plaga de la mosquita blanca *Bemisia tabaci* y microorganismos fúngicos del género *Fusarium*. La mosquita blanca *Bemisia tabaci* posee gran poder destructivo sobre los cultivos a nivel mundial (Gerlinga *et al.*, 2001), entre los cultivos más afectados se encuentran ornamentales y cultivos agrícolas como leguminosas, frutícolas y hortalizas (Brown, 2010; Dinsdale *et al.*, 2010). De igual forma, los hongos del género *Fusarium*, ocasionan grandes pérdidas económicas de productos agrícolas alimentarios tanto en pre y postcosecha, debido a la variabilidad de micotoxinas que producen (Mdee *et al.*, 2009).

1.2.6 Importancia de *Bemisia tabaci* y *Fusarium oxysporum*

La mosca blanca *Bemisia tabaci* es un insecto hemíptero Aleyrodidae (Gennadius 1889), polífago, con distribución en áreas tropicales y subtropicales a nivel mundial, que incluye América Central, América del Sur, Asia, África y este de la India (Chu *et al.*, 2007) con excepción de la Antártica (Martin *et al.*, 2000; Oliveira *et al.*, 2001).

Observaciones antiguas, según su origen indican que proceden de Grecia y se describió como *Aleyrodes tabaci* (Gennadius, 1889). Sin embargo, otros estudios sugieren que *B. tabaci* pudo ser originada de África tropical y cuya dispersión se extendió a otros continentes de Asia y Europa, o bien de la India, lugar donde tiene la mayor diversidad de especies de sus enemigos naturales (Brown *et al.*, 1995). Con relación a su hospedero, posee una versatilidad morfológica y adopta incomparables nombres análogos de la especie, los más comunes son la mosca blanca del tabaco, del algodón o del camote.

Las hembras de *B. tabaci* depositan sus huevos en la parte del envés de las hojas. Un periodo de 16 a 31 días es requerido para el completo ciclo de vital de esta especie. El huevo eclosiona entre 5 y 9 días hasta el primer estadio, de acuerdo con las características de

humedad, temperatura y tipo de huésped donde sea depositado (Abubakar *et al.*, 2022). El primer estadio es de color amarillo blanquecino, con forma ovalada, plana y escamosa, posteriormente son transformadas en amarillentas ninfas con forma de cúpula en el segundo estadio, continua un tercer estadio con una coloración amarillo brillante recién mudado. Progresivamente las ninfas oscurecen y adopta una forma sutilmente estrecha en su estructura (Kedar *et al.*, 2014). En el cuarto estadio las ninfas adquieren una forma de ojos saltados que son fácilmente observables y con cuerpo de color blanco amarillento; conocido este período como “ninfa de ojos rojos” o “pupa” (Perring *et al.*, 2018). La fase de pupa es plana, semejante a la mosca blanca adulta, permanente y produce habitualmente fluidos cerosos (Rodríguez *et al.*, 2019; Capinera, 2020). En su fase adulta *Bemisia tabaci* sale del lado posterior de la caja de la pupa a través de una incisión en la parte superior (Kedar *et al.*, 2014). La hembra adulta posee estómago grande y esférico y el del macho es adelgazado (Perring *et al.*, 2018).

Alrededor de 500 especies de plantas con 74 familias son perjudicadas por *B. tabaci* (McAuslane. 2000), originando diversos problemas anatómicos y fisiológicos del vegetal, desde agotamiento en la planta, amarillamiento foliar, problemas de deshidratación y retraso de crecimiento, secreción de aguamiel en flores, hojas y frutos, hasta el desarrollo y crecimiento de hongos saprófitos. Los daños ocasionados de forma permanente en las plantas cultivadas producen bajo rendimiento de producción y mala calidad en los productos de origen alimenticio. (Oliveira *et al.*, 2001; Ellsworth y Martínez-Carrillo, 2001; Bayhan *et al.*, 2006; Espinel *et al.*, 2008; Stansly y Natwick, 2010).

Entre los cultivos habitualmente empleados como hospederos de *B. tabaci* y en los que provocan daño de forma directa, se encuentran la papa, pepino, melón, tomate, cacahuete, frijol, algodón, soya, sandía (McAuslane, 2000) y otros cultivos como, tabaco, yuca, calabaza, lechuga y papaya, también han sido afectado por patógenos transmitidos por la mosca blanca (Lugo *et al.*, 2011). En tanto, los daños ocasionados por *Bemisia tabaci* en la planta, han sido clasificados como directos e indirectos (Espinel *et al.*, 2008; Wang *et al.*, 2017).

El daño directo, se genera cuando la savia de la parte baja de la hoja es absorbida por ninfas o adultos, estas liberan una toxina que perturba la fotosíntesis, bloqueando la función de los tejidos vasculares xilema y floema, por lo que, las hojas se contraen y generan disminución del rendimiento vegetal como producto al déficit fotosintético (Sharma y Chander, 1998). El daño indirecto, se da en el proceso de succión de savia, al provocar ruptura celular lo que produce aguamiel, sustrato de atracción de otros organismos como hormigas y hongos, este último produce la llamada fumagina causado por infestación y proliferación del hongo saprófito *Capnodium* spp (Butani y Jotwani, 1984; Sharma y Chander, 1998), provocando en las plantas aspecto pegante y disminuyendo el rendimiento de biomasa por inhibición de la fotosíntesis (Thorat *et al.*, 2020).

En el manejo de las plagas por *B. tabaci*, se han realizado diversos estudios, de acuerdo con Bass *et al.* (2015), se ha empleado una gran cantidad de insecticidas, como solución a los problemas que producen estos insectos que succionan savia de sus plantas hospederas. Dentro de los insecticidas más comunes y utilizados en todo el mundo en el tratamiento y control de plagas están el acetamiprid, clotianidina, imidacloprid, tiametoxam, dinotefuran y nitenpiram; frecuentemente los más empleados para el manejo de la mosquita blanca son los piretroides, piriproxifeno (hormona juvenil) y neonicotinoides (Chu *et al.*, 2006; Luo *et al.*, 2010) observándose una reducción alta en la tasa de poblaciones de mosquita blanca; sin embargo, estos organismos han generado resistencia al insecticida -neonicotinoides- (Luo *et al.*, 2010; Pan *et al.*, 2011). En consecuencia, el uso de estos insecticidas además de tener un efecto en el objetivo blanco, poseen toxicidad elevada en otros organismos no objetivo y provocando a su vez daño adyacente al medio ambiente (del Puerto Rodríguez *et al.*, 2014; Cimino *et al.*, 2016).

El género *Fusarium*, es un amplio rango de microorganismos fúngicos que tienen un gran impacto económico en los sistemas agrícolas, destruyen la gran mayoría de cultivos frutales y hortalizas. En algunas especies el daño provocado generalmente es irreversible en el huésped con impactantes pérdidas económicas (García *et al.*, 2007). Los hongos de este género son considerados particularmente hongos de campo, cosmopolitas, con características

anatómicas de ascomicetos filamentosos, septados, conidióforos y micelio bien desarrollado o talos unicelulares (García *et al.*, 2007; Sumalan *et al.*, 2013).

Entre las especies que provocan la marchitez de los cultivos en México se encuentran *F. oxysporum* y *F. solani*. Que, además en condiciones prósperas estas especies pueden asociarse a géneros como *Phytophthora spp.*, *Rhizoctonia spp.*, *Phytium spp.*, para formar un complejo fitopatógeno que provocan grandes pérdidas económicas al causar daños a los cultivos (Rivera, 2009). Por ejemplo, en México, en los cultivos como *Solanum tuberosum*, las pérdidas causadas por una subespecie de *F. oxysporum* pueden alcanzar entre 10-53 % (Villa-Martínez *et al.*, 2015).

Durante muchos años, el control de estas enfermedades fúngicas también ha dependido considerablemente por tratamientos con pesticidas de síntesis química. Sin embargo, el uso de estas formulaciones plantea graves riesgos para la salud humana, así como de contaminación ambiental (Abdel-Monahim *et al.*, 2011). Lo que ha provocado la aparición de microorganismos resistentes favoreciendo a las enfermedades fúngicas con mayor frecuencia. En el sentido de controlar este problema, ha sido necesario explorar e implementar nuevas estrategias que posibiliten su uso, sin efectos tóxicos para los humanos y organismos no dirigidos (Naeini *et al.*, 2010).

Por lo tanto, el control de *F. oxysporum* ha sido investigado ampliamente y diversos estudios han demostrado que la aplicación de extractos vegetales procedentes de diversos solventes posee actividad agonista contra esta especie fúngica. Por ejemplo, Jasso *et al.* (2007), evaluaron tratamientos de extractos etanólicos en especies de *Flourensia spp.* (maravilla de campo) y observaron efecto fungicida, inhibiendo el desarrollo del micelio en más del 90 % en comparación de fungicidas sintéticos. De igual manera, Alkhail (2005) evaluó extractos acuosos por arrastre de vapor y etanólicos de especies vegetales como *Allium sativum*, *Azardiachta indica*, *Cymogopogon proxims*, *Carum carvi* y *Eugenia caryophyllus*, en comparación a un compuesto sintético llamado benomilo y encontró que los extractos acuosos de las especies vegetales empleadas tuvieron una eficiencia entre el 60 % y 90 % de actividad fungicida idénticos a los obtenidos por benomilo. Por otro lado, al

estudiar el manejo de *F. oxysporum* empleando, los extractos etanólicos y acuosos de las especies mencionadas anteriormente y la adición de un control biológico (*Trichoderma* spp.), los resultados indicaron que los extractos vegetales superan al control biológico. Basado en lo anterior, en este trabajo de investigación se hace necesario generar información sobre la actividad biológica que pueda causar, en cepas de *F. oxysporum*, los extractos de *A. compressa* procedente del estado de Chiapas.

1.2 HIPÓTESIS

La diversidad fenotípica de las poblaciones de *A. compressa* se encuentra condicionada a factores agroecológicos de las zonas de distribución.

Los extractos etanólicos de *A. compressa* tienen efectos de supresión *in vivo* sobre poblaciones de insectos plaga (*B. tabaci*) en plantas de tomate, y efectos de inhibición de crecimiento fúngico de *Fusarium oxysporum*, en condiciones *in vitro*.

1.3 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo general

Evaluar la diversidad fenotípica de *Ardisia compressa* Kunth de la región selva Lacandona y selva norte del estado de Chiapas y su efecto como extracto etanólico contra *Bemisia tabaci* y *Fusarium oxysporum*.

1.4.2 Objetivos específicos

Evaluar la diversidad morfológica de las poblaciones de *A. compressa* de las regiones selva Lacandona y selva norte Tulijá en el estado de Chiapas.

Evaluar el efecto de los extractos etanólicos de *A. compressa* contra el insecto plaga *Bemisia tabaci*.

Evaluar el efecto de extractos etanólicos de *A. compressa* contra cepas fúngicas de *F. oxysporum*.

Caracterizar la presencia de metabolitos secundarios de las poblaciones de *A. compressa* mediante cromatografía de gases masas GC-MS.

1.5 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

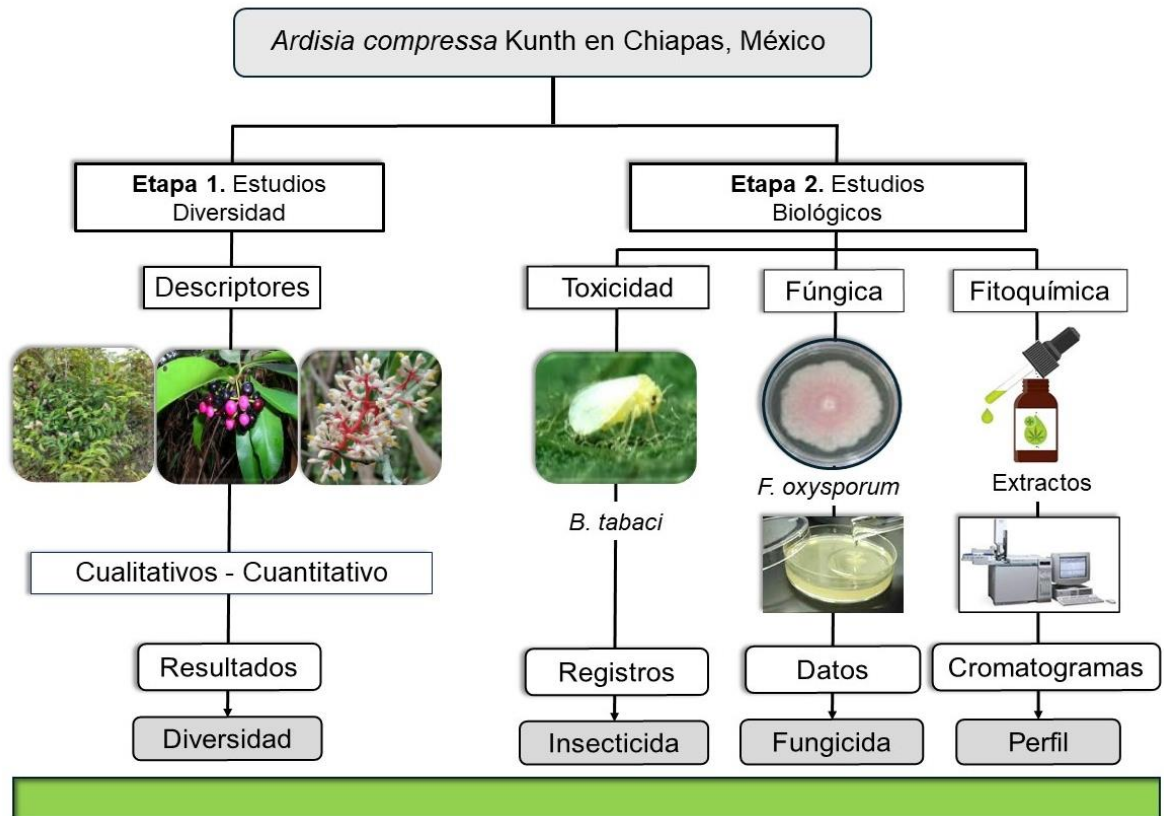


Figura 3. Esquema experimental desarrollado en esta investigación.

1.6 LITERATURA CITADA

- Abdel-Monaim MF, Abo-Elyousr KAM, Morsy KM. 2011. Effectiveness of plant extracts on suppression of damping-off and wilt diseases of lupine (*Lupinus termis* Forsik). Crop protection 30(2): 185-191.
- Abubakar M, Koul B, Chandrashekar K, Raut A, Yadav D. 2022. Whitefly (*Bemisia tabaci*) Management (WFM) Strategies for Sustainable Agriculture: A Review. Agriculture 12: 1317. <https://doi.org/10.3390/agriculture12091317>.
- Ae-Kyung L, Jeung-Keun S, Mark R, Janet S. 2003. Analysis of genetic relationships of *Ardisia* spp. using RAPD markers, The Journal of Horticultural Science and Biotechnology 78(1): 24-28. DOI: 10.1080/14620316.2003.11511580.
- Aguilar-Astudillo E, Rodríguez-Hernández C, Bravo-Mojica H, Soto-Hernández RM, Bautista-Martínez N, Guevara-Hernández F. 2019. Efecto insectistático de extractos etanólicos de clavo y pimienta en *Trialeurodes vaporariorum* West. (Hemiptera: Aleyrodidae). Acta Zoológica Mexicana (nueva serie) 35: 1–11. <https://doi.org/10.21829/azm.2019.3502068>.
- Alahyane H, Ait Babahmad R, Aboussaid H, Atibi Y, Aimrane A, Oufdou K, El Messoussi S. 2020. Chemical composition and acaricidal activities of jatropha curcas l. extract against oriental red mite, *Eutetranychus orientalis* (Klein) (Acari: Tetranychidae). The Journal of Animal and Plant Sciences 30(5): 1163-1171.
- Alfieri A, Mann GE. 2015. Bioactive nutraceuticals and stroke: activation of endogenous antioxidant pathways and molecular mechanisms underlying neurovascular protection. In: Watson, R.R., Preedy, V.R.B.T. (Eds.). Bioactive Nutraceuticals and Dietary Supplements in Neurological and Brain Disease 365-379 p.
- Alfonso M. 2002. Los plaguicidas botánicos y su importancia en la agricultura orgánica. Agricultura Organica 2: 26-30 pp.
- Alkhail AA. 2005. Antifungal activity of some extracts against some plant pathogenic fungi. Pak. J. Biol. Sci. 8(3): 413-417.
- Alonso-González SA, Garduño-Siciliano L, Cano-Europa E, Ortiz-Butrón MR, Martínez-Galero E, Meléndez-Camargo ME. 2014. Antioxidant and hypoglycaemic effects of *Ardisia compressa* (HBEK, myrsinaceae) extract in type 2 diabetic rats. Tropical Journal of Pharmaceutical Research 13(6): 913-920.

- Altieri M, Nicholls CI. 2000. Agroecología: Teoría y práctica para una agricultura sustentable. Serie textos básicos para la formación ambiental. Primera edición. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Red de Formación Ambiental para América Latina y el Caribe. 250 p
- Ambika-Singh PP, Chauhan SMS. 2014. Activity-guided isolation of antioxidants from the leaves of *Terminalia arjuna*. Natural Product Research 28(10): 760–763.
- Anjum B, Kumar R, Kumar R, Prakash O, Srivastava RM, Pant AK. 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. doi:10.1080/22311866.2019.1702899.
- Bakan B, Billy AC, Melcion D, Cahagnier B, Regnault Roger C, Philogene BJ, Richard Molard D. 2003. Possible role of plants phenolics in the production of trichothecenes by *Fusarium graminearum* strains on different fractions of maize kernels. Journal of Agricultural and food chemistry, 51(9): 2826-2831.
- Baldin ELL, Aguiar GP, Fanela TLM, *et al.* 2015. Bioactivity of *Pelargonium graveolens* essential oil and related monoterpenoids against sweet potato whitefly, *Bemisia tabaci* biotype B. Journal of Pest Science, 88, 191-199. <https://doi.org/10.1007/s10340-014-0580-8>.
- Bass C, Denholm I, Williamson MS, Nauen R. 2015. The global status of insect resistance to neonicotinoid insecticides. Pesticide Biochemistry Physiology. 121: 78-87.
- Bayhan E, Ulusoy MR, Brown JK. 2006. Host range, distribution, and natural enemies of *Bemisia tabaci* “B biotype” (Hemiptera: Aleyrodidae) in Turkey. Journal of Pest Science 79(4): 233-240. doi:10.1007/s10340-006-0139-4
- Becerra VV, Paredes CM. 2000. Uso de marcadores bioquímicos y moleculares en estudios de diversidad genética. Agricultura Técnica 60(3), 270-281. <https://dx.doi.org/10.4067/S0365-28072000000300007>
- Brown JK, Frohlich DR, Rosell RC. 1995. The sweetpotato or silverleaf whitefly: biotipes of *Bemisia tabaci* or a species complex. Annual Review of Entomology 40: 511-534.
- Brown JK. 2010. Phylogenetic biology of the *Bemisia tabaci* sibling species group. In: “*Bemisia*: Bionomics and Management of a Global Pest. (P. A. Stansly y SE. Naranjo, Edits.) Springer.

- Butani DK, Jotwani MG. 1984. Tomato, In: "Insects in Vegetables" publ. By Periodical Expert Book Agency. Delhi. 22-34 p.
- Capinera J. 2020. Handbook of Vegetable Pests; Academic Press: Cambridge, MA, USA.
- Carlini CR, Grossi-de Sá MF. 2002. Plant toxic proteins with insecticidal properties a review on the potentialities as bioinsecticide. *Toxicon* 40: 1515-1539.
- Carranza-González E. 2014. Flora del bajío y de regiones adyacentes. Fascículo 182. Instituto de Ecología, A.C. Centro Regional del Bajío Pátzcuaro, Michoacán. 2014. *Ardisia compressa* Kunth, Nov. Gen. Sp. Pl. 3(11): 245. 1818.
- Cassidy A. 2018. Berry Anthocyanin Intake and Cardiovascular Health. *Molecular Aspects of Medicine* 61: 76-82. DOI: 10.1016/j.mam.2017.05.002.
- Chandra S, González de Mejía E. 2004. Polyphenolic compounds, antioxidant capacity, and quinone reductase activity of an aqueous extract of *Ardisia compressa* in comparison to mate (*Ilex paraguariensis*) and green (*Camellia sinensis*) teas. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 52:3583-3589. <https://doi.org/10.1021/jf0352632>.
- Chang CP, Chang HS, Peng CF, Lee SJ, Chen IS. 2011. Antitubercular resorcinol analogs and benzenoid C-glucoside from the roots of *Ardisia cornudentata*. *Planta médica* 77(1): 60-65. <https://doi.org/10.1055/s-0030-1250094>.
- 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* 17(1), 487. <https://doi.org/10.1186/s12906-017-1994-7>
- Chu D, Jiang T, Liu G, Jiang D, Tao Y, Fan Z, Zhou H, Bi Y. 2007. Biotype status and distribution of *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) in Shandong province of China based on mitochondrial DNA markers. *Environmental Entomology* 36(5): 1290-1295. <https://doi.org/10.1093/ee/36.5.1290>.
- Chu D, Zhang YJ, Brown JK, Cong B, Xu BY, Wu QJ, Zhu GR. 2006. The introduction of the exotic Q biotype of *Bemisia tabaci* from the Mediterranean region into China on ornamental crops. *The Florida Entomologist* 89(2): 168-174. <http://www.jstor.org/stable/4092462>.

- Cimino AM, Boyles AL, Thayer KA, Perry MJ. 2016. Effects of neonicotinoid pesticide exposure on human health: a Systematic review. *Environ Health Perspect* 125(2):155-162. doi: 10.1289/EHP515.
- 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: Aleyrodidae). *Electronic Journal of Biotechnology* 16(1): 6-6. DOI: 10.2225/vol16-issue1-fulltext-6
- del Puerto-Rodríguez AM, Suárez-Tamayo S, Palacio-Estrada DE. 2014. Efectos de los plaguicidas sobre el ambiente y la salud. *Revista Cubana de Higiene y epidemiología* 52(3): 372-387.
- 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. *Sep Purif Technol*, 74:155-159.
- Dinsdale A, Cook L, Riginos C, Buckley Y, de Barro P. 2010. Refined global analysis of *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Sternorrhyncha: Aleyrodoidea: Aleyrodidae) mitochondrial cytochrome oxidase 1 to identify species level genetic boundaries. *Annals of Entomology Society of America* 103(2): 196-208. <https://doi.org/10.1603/AN09061>.
- Du GJ, Zhang Z, Wen XD, Yu C, Calway T, Yuan CS, Wang CZ. 2012. Epigallocatechin Gallate (EGCG) is the most effective cancer chemopreventive polyphenol in green tea. *Nutrients* 4(11):1679-1691.
- Ellsworth PC, Martinez-Carrillo JL. 2001. IPM for *Bemisia tabaci*: a case study from North America. *Crop Protection* 20(9): 853-869. Doi:10.1016/s0261-2194(01)00116-8.
- Espinel C, Torres L, Grijalba E, Villamizar L, Cotes AM. 2008. Preformulados para control de la mosca blanca *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) en condiciones de laboratorio. *Revista Colombiana de Entomología* 34(1): 22-27.
- Foubert K, Thenius M, Apers S, Vlietinck AJ, y Pieters L. 2008. Chemistry, distribution and biological activities of 13, 28-epoxy-oleanane saponins from the plant families Myrsinaceae and Primulaceae. *Current Organic Chemistry*, 12(8): 629-642.
- Fresnedo-Ramírez J, Segura S, Muratalla L. 2011. Morphovariability of capulin (*Prunus serotina* Ehrh.) in the central-western region of Mexico from a plant genetic resources

- perspective. *Genetic Resource Crop Evolution* 58: 481-495. DOI 10.1007/s10722-010-9592-2.
- GBIF (Global Biodiversity Information Facility. 2024. <https://doi.org/10.15468/dl.dmhy52>). Accessed on: 01 August 2024.
- García JMD, Shagarodsky T, Fresneda, JA, Fundora YH, González J. 2007. Caracterización de especies del género *Fusarium* en el cultivo del garbanzo (*Cicer arietinum*) en las provincias ciudad Habana y La Habana. *Temas de Ciencia y Tecnología* 32(11): 63-66.
- García-Pérez J-A, Alarcón-Gutiérrez E, Torres Pelayo V del R. 2021. Extractos acuosos de plantas como inhibidores de la germinación de urediniosporas de *Hemileia vastatrix*; la roya anaranjada del café. *Alianzas y Tendencias BUAP* 6(21): 45-60. <https://drive.google.com/file/d/1EwNETNjHTsojNvFk85gIAxsJlZkTu4eK/view>
- Gerlinga D, Alomar O, Arnób J. 2001. Biological control of *Bemisia tabaci* using predators and parasitoids. *Crop Protection* 20(9): 779-799. DOI:10.1016/S0261-2194(01)00111-9.
- Gómez-Maqueo A, Escobedo-Avellaneda Z, Welte-Chanes, J. 2020. Phenolic Compounds in Mesoamerican Fruits-Characterization, Health Potential and Processing with Innovative Technologies. *International Journal of Molecular Sciences* 21(21): 8357. DOI: 10.3390/ijms21218357.
- González de Mejía E, Ramírez-Mares MV, Nair MG. 2002. Topoisomerase I and II enzyme inhibitory aqueous extract of *Ardisia compressa* and ardisin protect against benomyl oxidation of hepatocytes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50 (26): 7714-7719.
- González de Mejía E, Chandra S, Ramírez-Mares MV, Wang W. 2006. Catalytic inhibition of human DNA topoisomerase by phenolic compounds in *Ardisia compressa* extracts and their effect on human colon cancer cells. *Food and Chemical Toxicology* 44(8): 1191-1203. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2006.01.015>.
- González de Mejía E y Ramírez Mares MV. 2011. *Ardisia*: health-promoting properties and toxicity of phytochemicals and extracts. *Toxicology Mechanisms and Methods* 21(9): 667-674.

- Herrera-Gorocica AM, Hernández-Núñez E, Calvo-Irabien LM, Sánchez-Contreras Á, Ruiz-Jiménez AL, Latournerié-Moreno L, Ballina-Gómez H y 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). doi: <http://dx.doi.org/10.56369/tsaes.4413>.
- Howes MJR. 2018. Phytochemicals as anti-inflammatory nutraceuticals and phytopharmaceuticals. In *Immunity and inflammation in health and disease*. Academic Press. 363-388p.
- Hsu CA, Yu RC, Chou CC. 2005. Production of beta-galactosidase by *Bifidobacteria* as influenced by various culture conditions. *International Journal of Food Microbiology* 104(2):197-206. DOI: 10.1016/j.ijfoodmicro.2005.02.010.
- Ibarra-Manríquez G, Tenorio-Cornejo G. 2010. Diversidad de frutos de los árboles del bosque tropical perennifolio de México. *Acta Botánica Mexicana*, 90: 51-104.
- Islam MT, da Mata AMOF, de Aguiar RPS, Paz MFCJ, de Alencar MVOB, Ferreira PMP, de Carvalho Melo-Cavalcante AA. 2016. Therapeutic potential of essential oils focusing on diterpenes. *Phytotherapy Research* 30 (9): 1420-1444.
- Jasso D, Hernández CD, Angulo SJL, Rodríguez GR, Villarreal QJ, Lira SR. 2007. Antifungal activity in vitro of *Flourensia* spp. extracts on *Alternaria* sp., *Rhizoctonia solani*, and *Fusarium oxysporum*. *Industrial Crops and Products* 25(2): 111-116.
- Jiménez CM, Sgariglia MA, Soberón JR, Vattuone MA, Sampietro DA. 2018. Extracts and phenolic compounds from *Zuccagnia punctata* as fungicide seed protectants for corn. *Annals of Applied Biology* 173(2): 112-120.
- Jiménez-Martínez E. 2009. Métodos de control de plagas. Universidad Nacional Agraria (UNA). 1ª. Ed. Managua, Nicaragua. 172 p. ISBN: 978-99924-1-005-9. <https://cenida.una.edu.ni/relelectronicos/RENH10J61me.pd>.
- Joaquín-Cruz E, Dueñas M, García-Cruz L, Salinas-Moreno Y, Santos-Buelga C, García-Salinas C. 2015. Anthocyanin and phenolic characterization, chemical composition, and antioxidant activity of chagalapoli (*Ardisia compressa* K.) fruit: A tropical source of natural pigments. *Food Research International* 70:151-157 <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2015.01.033>.

- Joaquín-Cruz E, Hernández-Rodríguez L, Jiménez-Alvarado R, Alonso-Carrillo N; Cruz-Sosa F, Román-Guerrero A. 2020. Water-in oil nano emulsions loaded with *Ardisia compressa* K. bioactive compounds: evaluation of their physicochemical stability and functional activities. *Journal of Dispersion Science and Technology* 43(8):1-14. DOI: 10.1080/01932691.2020.1848573.
- Jun W, Nian-He X. 2012. *Ardisia crenata* complex (Primulaceae) studies using morphological and molecular data. Botany. Dr. Mworio (Ed). ISBN: 978-953-51-0355-4. En J. D. Mworio, Botany. 226 p. Croatia: Intech.
- Kedar SC, Saini RK, Kumaranag KM. 2014. Biology of cotton whitefly, *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) on cotton. *Journal Entomology Research* 38: 135-139.
- Khan N, Bharali DJ, Adhami VM, Siddiqui IA, Cui H, Shabana SM, Mukhtar H. 2014. Oral administration of naturally occurring chitosan-based nanoformulated green tea polyphenol EGCG effectively inhibits prostate cancer cell growth in a xenograft model. *Carcinogenesis* 35(2): 415-423.
- Khoo HE, Azlan A, Tang ST, Lim SM. 2017. Anthocyanidins and Anthocyanins: colored pigments as food, pharmaceutical ingredients and the potential health benefits. *Food and Nutrition Research* 61, 1361779. DOI: 10.1080/16546628.2017.1361779.
- Kim SI, Chae SH, Young HS, Yeon SH, Ahn YJ. 2011. Contact and fumigant toxicity of plant essential oils and efficacy of spray formulations containing the oils against B- and Q-biotypes of *Bemisia tabaci*. *Pest Management Science* 67: 1093-1099. DOI: 10.1002/ps.2152.
- Kitajima K, Fox AM, Sato T, Nagamatsu D. 2006. Cultivar selection prior to introduction may increase invasiveness: evidence from *Ardisia crenata*. *Biological Invasions*. Springer 8:1471-1482. DOI 10.1007/s10530-005-5839-9
- Kobayashi H y Gonzalez de Mejia E. 2005. The genus *Ardisia*: A novel source of health-promoting compounds and phytopharmaceuticals. *Journal of Ethnopharmacology* 96(3):347-354. DOI:10.1016/j.jep.2004.09.037
- Koh HL, Chua TK, Tan CH. 2009. Guide to medicinal plant, an illustrated, scientific and medicinal approach. World Scientific, Singapore, 292. <https://doi.org/10.1142/9789812837103>

- Lascurain M, Avendaño S, Del Amo S, Niembro A. 2010. Guía de frutos silvestres comestibles en Veracruz. Veracruz, México: Fondo Sectorial para la Investigación, el Desarrollo y la Innovación Forestal, Conafor-Conacyt.
- Leng P, Zhang Z, Pan G, Zhao M. 2011. Applications and development trends in biopesticides. *African Journal of Biotechnology* 10(86): 19864-19873.
- Lugo MOY, Guzmán UR, García ERS, León FJ. 2011. Geminivirus transmitidos por mosca blanca (*Bemisia tabaci*) en tomate del Valle Agrícola de Culiacán, Sinaloa. *Revista Mexicana de Fitopatología* 29(2):109-118.
- Luo C, Jones CM, Devine GJ, Zhang F, Denholm I, Gorman K. 2010. Insecticide resistance in *Bemisia tabaci* biotype Q (Hemiptera: Aleyrodidae) from China. *Crop Protection* 29: 429-434. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2009.10.001>.
- Martin JH, Mifsud D, Rapisarda C. 2000. The whiteflies (Hemiptera: Aleyrodidae) of Europe and Mediterranean basin. *Bulletin of Entomological Research* 90(5): 407-448. DOI: 10.1017/s0007485300000547.
- Martínez-Blanco A, Almeraya-Quintero SX, Guajardo-Hernández LG, Pérez-Hernández LM y Regalado-López J. 2019. La utilidad de *Ardisia compressa* Kunth en parcelas cafetaleras. *Agro-Productividad* 12(9):41-46. <https://doi.org/10.32854/agrop.v12i9.1468>.
- Matias R, Roel AR, Andrade Filho NN, Schleder EEJD, Yasunaka DS, Cardoso CAL. 2013. Control of silverleaf whitefly in cassava grown in the greenhouse treated with *Anacardium humile* (Anacardiaceae) extract. *Bioscience Journal* 29(6): 1815-1822. <https://seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/21971>.
- McAuslane HJ, Smith HA. 2000. Sweetpotato Whitefly B biotype, *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Insecta: Hemiptera: Aleyrodidae). *University of Florida Institute of Food and Agricultural Sciences EENY-129*:1-10
- Mdee LK, Masoko P, Eloff JN. 2009. The activity of extracts of seven common invasive plant species on fungal phytopathogens. *South African Journal of Botany* 75 (2), 375-379. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2009.02.003>.
- Moeenfarid M, Rocha L, Alves A. 2014. Quantification of caffeoylquinic acids in coffee brews by HPLC-DAD. *Journal of Analytical Methods in Chemistry* 2014: 965353. <https://doi.org/10.1155/2014/965353>

- Mu LH, Feng JQ, Liu P. 2013. A new bergenin derivative from the rhizome of *Ardisia gigantifolia*. Natural Product Research 27(14):1242-1245. <https://doi.org/10.1080/14786419.2012.724415>
- Muñoz MC, Ackerman JD. 2011. Spatial distribution and performance of native and invasive *Ardisia* (Myrsinaceae) species in Puerto Rico: The anatomy of an invasion. Biological Invasions 13: 1543-1558. DOI 10.1007/s10530-010-9912-7.
- Naeini A, Ziglari T, Shokri H, Khosravi AR. 2010. Assessment of growth-inhibiting effect of some plant essential oils on different *Fusarium* isolates. Journal de Mycologie Médicale 20(3): 174-178. <https://doi.org/10.1016/j.mycmed.2010.05.005>
- Nava-Pérez E, García-Gutiérrez C, Camacho-Báez JR, Vázquez-Montoya EL. 2012. Biopesticides: an option for the biological pest control. Ra Ximhai 8(3):17-29.
- Nazeh M Al-Abd, Zurainee Mohamed N, Marzida M, Asdren Z, Mohd SH, Fadzly A, Mustafa K. 2017. Phytochemical constituents, antioxidant and antibacterial activities of methanolic extract of *Ardisia elliptica*. Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine 7(6): 569-576.
- Neal Jr JW, Davis JW, Bentz JA, Warthen Jr DJ, Grieschbach RJ, Santamour Jr FS. 1998. Allelochemical activity in *Ardisia* species (Myrsinaceae) against selected arthropods. Journal of Economic Entomology 3: 608-617. doi:10.1093/jee/91.3.60
- Newell AM, Yousef GG, Lila MA, Ramírez-Mares MV, de Mejia EG. 2010. Comparative in vitro bioactivities of tea extracts from six species of *Ardisia* and their effect on growth inhibition of HepG2 cells. Journal Ethnopharmacology 130(3):536-44. DOI: 10.1016/j.jep.2010.05.051.
- NIMF(Normas Internacionales para Medidas Fitosanitarias). 2010. Glosario de Términos Fitosanitarios. Publicación num.5.
- Oerke EC. 2006. Crop losses to pests. The Journal of Agricultural Science 144: 31.
- Ogwen MJ, Yenesew A, Juma B. 2002. Bioactive compounds from some Kenyan ethnomedicinal plants: Myrsinaceae, Polygonaceae and *Psiadia punctulata*. Phytochemistry Reviews 1: 311–323. <https://doi.org/10.1023/A:1026029609500>
- Oliveira DF, Costa VA, Terra WC, Campos VP, Paula PM, y Martins SJ. 2019. Impact of phenolic compounds on *Meloidogyne incognita* in vitro and in tomato plants. Experimental parasitology 199:17-23.

- Oliveira M, Henneberry T, Anderson P. 2001. History, current status, and collaborative research projects for *Bemisia tabaci*. Crop Protection 20(9): 709-723. [https://doi.org/10.1016/S0261-2194\(01\)00108-9](https://doi.org/10.1016/S0261-2194(01)00108-9).
- Pan H, Chu D, Ge D, Wang S, Wu Q, Xie W, Jiao X, Liu B, Yang X, Yang N, Su Q, Xu B, Zhang Y. 2011. Further spread of and domination by *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) biotype Q on field crops in China. Journal of Economic Entomology 104(3): 978-85. DOI: 10.1603/ec11009.
- Perring TM, Stansly PA, Liu TX, Smith HA, Andreason SA. 2018. Whiteflies: Biology, ecology, and management. In Sustainable Management of Arthropod Pests of Tomato, 1st ed.; Wakil, W., Brust, G.E., Perring, T.M., Eds.; Academic Press: Cambridge, MA, USA. pp. 73–110.
- Piacente S, Pizza C, De Tommasi N, Mahmood N. 1996. Constituents of *Ardisia japonica* and their in vitro anti-HIV activity. Journal of Natural Products 59(6): 565-569. <https://doi.org/10.1021/np960074h>
- Piao MJ, Kang KA, Zhang R, Ko DO, Wang ZH, Lee KH. 2009. Antioxidant properties of 1, 2, 3, 4, 6-penta-O-galloyl- β -D-glucose from *Elaeocarpus sylvestris* var. ellipticus. Food Chemistry 115(2): 412-418. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.12.020>
- Pournami TS, Pratap-Chandran 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.
- Quiñones M, Miguel M, Aleixandre A. 2012. Los polifenoles, compuestos de origen natural con efectos saludables sobre el sistema cardiovascular. Nutrición hospitalaria: órgano oficial de la Sociedad Española de Nutrición Parenteral y Enteral 27(1):76-89.
- Ramírez-Mares MV, Chandra S, de Mejia EG. 2004. In vitro chemopreventive activity of *Camellia sinensis*, *Ilex paraguariensis* and *Ardisia compressa* tea extracts and selected polyphenols. Mutation Research. 554(1-2): 53-65. DOI: 10.1016/j.mrfmmm.2004.03.002.
- Ramírez-Mares MV, Fatell S, Villa-Treviño S, González de Mejía E. 1999. Protection of extract from leaves of *Ardisia compressa* against benomyl-induced cytotoxicity and

- genotoxicity in cultured rat hepatocytes. *Toxicol In Vitro* 13(6): 889-96. DOI: 10.1016/s0887-2333(99)00071-5.
- Rimieri P. 2017. La diversidad y la variabilidad genéticas: dos conceptos diferentes asociados al germoplasma y al mejoramiento genético vegetal. *BAG. Journal of basic and applied genetics*, 28(2), 7-13.
- Rivera JMN. 2009. Marchitez del chile poblano (*Capsicum annuum L.*): identificación molecular del agente causal, detección en semillas, histopatología y alternativas de control. Tesis doctoral. Colegio de Postgraduados, Texcoco, México, 98 p.
- Rodríguez E, Téllez M, Janssen D. 2019. Whitefly control strategies against tomato leaf curl New Delhi virus in greenhouse zucchini. *International Journal Environment. Reserch Public Health* 16: 2673.
- Rojas MR. 2000. Los begomovirus, En: *El Mosaico Dorado y otras enfermedades del frijol común causadas por Gemini virus transmitidos por mosca blanca en la América Latina*. F. J. Morales (ed.). Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Palmira, Colombia. 87-106 p.
- Romero R, Morales P, Pino O, Cermeli M, González E. 2015. Actividad insecticida de seis extractos etanólicos de plantas sobre mosca blanca. *Revista de Protección Vegetal* 30:11-16.
- Sajitha R, Kannan VM. 2020. Screening of Plant Extracts to Identify Extracts Containing Inhibitors Against Larval Gut Proteases of *Spodoptera litura* (Fabricius) (Lepidoptera: Noctuidae). *International Journal of Research in Agricultural Sciences* 7(1): 47-53.
- Sánchez-Urdaneta AB, Peña-Valdivia CB. 2011. Morphological descriptor for genus *Psidium* characterization. *Revista de la Facultad de Agronomía, Universidad del Zulia* 28(3), 303-343.
- Scupinari T, Mannocho Russo H, Sabino Ferrari AB, da Silva Bolzani V, Dias WP, de Oliveira Nunes E, Hoffmann-Campo CB, Zeraik ML. 2020. *Crotalaria spectabilis* as a source of pyrrolizidine alkaloids and phenolic compounds: HPLC-MS/MS dereplication and monocrotaline quantification of seed and leaf extracts. *Phytochemical analysis : PCA* 31(6): 747-755. <https://doi.org/10.1002/pca.2938>.
- Sharma K, Chander S. 1998. Spatial distribution of jassid, *Amrasca biguttula* (Ishida) on cotton. *Indian Journal of Entomology* 60(4): 326-328.

- Silva B, Souza MM, Badiale FE. 2020. Antioxidant and antifungal activity of phenolic compounds and their relation to aflatoxin B1 occurrence in soybeans (*Glycine max* L). *Journal of the Science of Food and Agriculture* 100(3):1256-1264.
- Stansly PA, Natwick ET. 2010. Integrated systems for managing *Bemisia tabaci* in protected and open field agriculture. In: “*Bemisia*: Bionomics and Management of a Global Pest (P.A. Stansly, S.E. Naranjo, eds.). Springer. Pp. 467-497. DOI:10.1007/978-90-481-2460-2_17
- Sumalan RM, Alexa E, Poiana MA. 2013. Assessment of inhibitory potential of essential oils on natural mycoflora and *Fusarium* mycotoxins production in wheat. *Chemistry Central Journal* 7(1):1-12.
- Tavares-Carrijo T, Carolina-da Silva FA, Freitas MF, Goncalves-Esteves V, Luna-Peixoto A. 2011. Insights on *Ardisia* and *Stylogyne* (Myrsinoideae–Primulaceae) based on pollen morphology. *Plant Systematics and Evolution* 297:261–269. DOI 10.1007/s00606-011-0515-2
- Thompson WMO. 2011. Introduction: whiteflies, Gemini viruses and recent events, In W. M. O. Thompson (ed.) *The whitefly, Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) interaction with Geminivirus-infected plants. Springer, Berlin, Germany. Pp. 1-13.
- Thorat SR, Kumar S, Patel J. 2020. Bio efficacy of different pesticides against whitefly (*Bemisia tabaci* Gennadius) in tomato. *Journal of Entomology and Zoology Studies* 8: 1428-1431.
- Tsanakas GF, Mylona PV, Koura K, Gleridou A, Polidoros AN. 2018. Genetic diversity analysis of the Greek lentil (*Lens culinaris*) landrace ‘Eglouvis’ using morphological and molecular markers. *Plant Genetic Resources* 16(5): 469-477. DOI: 10.1017/S1479262118000096.
- Vázquez-Sánchez AY, Corfield R, Sosa N, Salvatori D, Schebor C. 2021. Physicochemical, functional, and sensory characterization of apple leathers enriched with acácul (*Ardisia compressa* Kunth) powder. *LWT* 146: 111472. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111472>.
- Villa-Martínez A, Pérez-Leal R, Morales-Morales HA, Basurto-Sotelo M, Soto-Parra JM y Martínez-Escudero E. 2015. Situación actual en el control de *Fusarium* spp. y

- evaluación de la actividad antifúngica de extractos vegetales. *Acta agronómica* 64(2): 194-205.
- Wang R, Zhang W, Che W, Qu C, Li F, Desneux N, Luo C. 2017. Lethal and sublethal effects of cyantraniliprole, a new anthranilic diamide insecticide, on *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) MED. *Crop Protection*. 91: 108-113. DOI: 10.1016/j.cropro.2016.10.001.
- WFO (World Flora Online). 2024. *Ardisia compressa* Kunth. World Flora Online. Published on the Internet; <http://www.worldfloraonline.org/taxon/wfo-0000544087>. DOI.10.5281/zenodo.8079052. Accessed on: 20 Apr 2024.
- Xu D, Deng Y, Han T, Jiang L, Xi P, Wang Q, y Gao L. 2018. In vitro and in vivo effectiveness of phenolic compounds for the control of postharvest gray mold of table grapes. *Postharvest Biology and Technology*, 139:106-114.
- Zheng Y y Wu FE. 2007. Resorcinol derivatives from *Ardisia maculosa*. *Journal of Asian Natural Products Research* 9(6-8): 545-549. <https://doi.org/10.1080/10286020600882692>.
- Zhu Y, Pin W, Nai LW, Xin SY. 2008. Two new phenolic compounds from *Ardisia gigantifolia*. *Chinese Chemical Letters*, 19(6): 693-695. doi:10.1016/j.cclet.2008.04.002.

II CAPITULO 2. DIVERSIDAD MORFOLÓGICA DE *Ardisia compressa* Kunth, DEL
NORESTE DE CHIAPAS, MÉXICO

MORPHOLOGICAL DIVERSITY OF *Ardisia compressa* Kunth FROM
NORTHEAST OF CHIAPAS, MEXICO

Jesús Rigoberto Molina-Maldonado¹, Rubén Humberto Andueza-Noh^{2*}, Esaú Ruiz-
Sánchez¹, René Garruña², Federico Antonio Gutiérrez-Miceli³ and Luis Filipe da
Conceição-Dos Santos⁴

¹División de Estudios de Posgrado, Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico
de Conkal, Mérida, Yucatán. Av. Tecnológico s/n Conkal, Yucatán, C.P. 97345. E-mail:
dd20800276@conkal.tecnm.mx

²CONACYT-Instituto Tecnológico de Conkal, Mérida, Yucatán. Av. Tecnológico s/n
Conkal, Yucatán, C.P. 97345.

³Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. Carretera Panamericana Km. 1080,
C.P. 29050, Apartado Postal: 599.

⁴Universidad Autónoma de Yucatán. C. 60 491A, Parque Santa Lucia, Centro, 97000
Mérida, Yucatán.

*Corresponding autor E-mail: ruben.andueza@itconkal.edu.mx

Artículo publicado en la revista: Tropical and Subtropical Agroecosystems

2.1 SUMMARY

Background. *Ardisia compressa* Kunth, is a wild species native from tropical evergreen
forests of Mexico, it produces fruits with phytochemical, ecological and dietary potencial. Its
fruits are appreciated by people from local communities. However, in Mexico there are no
studies that allow knowing the state of its phenotypic diversity. **Objective.** Characterize the
morphological diversity of *A. compressa* populations from Chiapas state, Mexico.
Methodology. 90 individuals of nine wild populations of *A. compressa* were evaluated using

45 morphological traits (16 qualitative and 29 quantitative). The qualitative data were subjected to descriptive analysis and quantitative data were used in an analysis of variance (ANOVA) and finally the qualitative and quantitative data were analyzed simultaneously by means of a multivariate analysis with the Ward-MLM Method. **Results.** The qualitative traits showed phenotypic variability in the characteristics of leaf and fruit color. The quantitative data showed significant differences ($P \leq 0.05$) in all traits evaluated. The results of the principal component analysis (PCA) and cluster analysis (UPGMA) grouped the populations into three morphological groups differentiated by the similarity of the morphological traits of the populations and not by their geographical origin. **Implications.** The results in this study should be considered to implementing strategies of plant production and conservation of *A. compressa*. **Conclusion.** A wide phenotypic variability was found organized into three morphological groups defined based on characteristics of tree height, number of fruits, number of flowers and ratio of length to thickness leaf. The quantitative traits allowed us to observe the greatest morphological variability in the populations of *A. compressa*.

Key words: Phenotype, qualitative, quantitative, multivariate analysis

2.2 RESUMEN

Antecedentes. *Ardisia compressa* es una especie silvestre nativa de bosques tropicales perennifolios de México, produce frutos con potencial ecológico, fitoquímico y dietético. Sus frutos son apreciados por las personas de las comunidades locales. Sin embargo, en México no existen estudios que permitan conocer el estado de su diversidad fenotípica. **Objetivo.** Caracterizar la diversidad morfológica de poblaciones de *A. compressa* del estado de Chiapas, México. **Metodología.** Se evaluaron 90 individuos de nueve poblaciones silvestres de *A. compressa* mediante 45 características morfológicas (16 cualitativas y 29 cuantitativas). Los datos cualitativos fueron sometidos a un análisis descriptivo y los cuantitativos a un análisis de varianza (ANOVA) y finalmente, los datos cualitativos y cuantitativos fueron analizados simultáneamente mediante un análisis multivariado con el método de agrupamiento Ward-MLM. **Resultados.** Las variables cualitativas mostraron variabilidad fenotípica en las características de color de hoja y fruto. Las variables cuantitativas mostraron diferencia significativa ($P \leq 0.05$) en todas las variables evaluadas. Los resultados del análisis de componentes principales (ACP) y de conglomerados (UPGMA) agruparon a las poblaciones en tres grupos morfológicos, diferenciados por las características morfológicas de las poblaciones y no por su origen geográfico. **Implicaciones.** Los resultados de este estudio podrían ser considerados para el desarrollo de estrategias de producción y conservación de *A. compressa*. **Conclusiones.** Se encontró amplia variabilidad fenotípica, organizada en tres grupos morfológicos que fueron definidos con base en características de altura de la planta, número de frutos, número de flores y relación de longitud por grosor de la hoja, principalmente. Las variables cuantitativas permitieron observar la mayor variabilidad morfológica en las poblaciones de *A. compressa*.

Palabras claves: Fenotipo, cualitativo, cuantitativo, análisis multivariado.

1 ⁶Departamento de Posgrado e Investigación, Instituto Tecnológico Superior de Calkiní.
2 Avenida Ah Canul, S/N, Calkiní, Campeche. C.P. 24930.

3 * Corresponding autor: esau.ruiz@itconkal.edu.mx

4

5 **3.1 RESUMEN:**

6 La mosquita blanca *Bemisia tabaci* y el hongo *Fusarium oxysporum*, causan elevadas
7 pérdidas económicas en cultivos hortícolas. *Ardisia compressa* es una especie vegetal
8 ampliamente distribuida en el Sur de México, cuyo follaje tiene enorme potencial como
9 fuente de productos botánicos para el control de plagas en la agricultura. El objetivo del
10 presente estudio fue evaluar la actividad biológica de extractos etanólicos (EE) de hojas de
11 *A. compressa* sobre *B. tabaci* y *F. oxysporum*, así como determinar el perfil cromatográfico
12 de los extractos. Se emplearon 10 poblaciones silvestres de *A. compressa* recolectadas en el
13 Estado de Chiapas. Por cada población se obtuvo su respectivo EE al 0.2 % (p/v). La
14 evaluación del efecto tóxico contra *B. tabaci* mostró que los extractos TCA y YRP causaron
15 mayor mortalidad de huevos (98 y 99 %) y de ninfas (97 %). Los extractos TCA y CTia
16 causaron mayor efecto de repelencia de adultos (38 y 30 %), y los EE CJC y TCC causaron
17 la mayor disuasión de oviposición (28 y 26 %). La evaluación de actividad antifúngica (100
18 y 200 µg mL⁻¹) sobre *F. oxysporum*, mostró que el extracto CJC causó la mayor inhibición
19 de crecimiento micelial (75 y 79 %). El análisis de correlación mediante mapas de calor
20 mostró que los efectos de toxicidad y repelencia de los extractos etanólicos de *A. compressa*
21 sobre *B. tabaci*, estuvieron asociados con las mayores concentraciones de ácido oleico, ácido
22 9Z-12Z-15Z-octadecanotrienoico, ácido octadecanoico, 3-etil-5-(2-etilbutil)-octadecano,
23 (Z)-18-octadec-9-enolida y γ-Tocoferol. De la misma manera, los mayores porcentajes de
24 inhibición de crecimiento micelial para *F. oxysporum* estuvieron asociados con las altas
25 concentraciones de neofitadieno.

26

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

29

3.2 ABSTRACT:

The whitefly *Bemisia tabaci* and the fungus *Fusarium oxysporum* cause high economic losses in horticultural crops. *Ardisia compressa* 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. 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 TCA and YRP extracts caused the highest mortality of eggs (98 and 99 %) and nymphs (97 %). The evaluation of repellent activity showed that TCA and CTia extracts had a greater effect on adults (38 and 30 %), and CJC and 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, (Z,Z,Z)-9,12,15-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.