TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CONKAL

Efecto repelente de las plantas aromáticas sobre las poblaciones de *Bemisia tabaci* Genn en cultivos de tomate

TESIS

Que presenta:

Angel Manuel Herrera Gorocica

Como requisito parcial para obtener el grado de:

Maestro en Ciencias en Horticultura Tropical

Director de tesis:

Dr. Horacio Salomón Ballina Gómez

Conkal, Yucatán, México

Junio, 2019

SEP
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de Conkal

Conkal, Yucatán, México, a 11 de Junio del 2019.

El comité de tesis del candidato a grado: Angel Manuel Herrera Gorocica, constituido por los CC. Horacio Salomón Ballina Gómez, Guadalupe del Carmen Reyes Solís, y Esaú Ruiz Sánchez, habiéndose reunido con el fin de evaluar el contenido teórico-metodológico y de verificar la estructura y formato de la tesis titulada: **Efecto repelente de las plantas aromáticas sobre las poblaciones de *Bemisia tabaci* Genn en cultivos de tomate,** que presenta como requisito parcial para obtener el grado de Maestro en ciencias en Horticultura tropical, 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. Horacio Salomón Ballina Gómez
Director de Tesis

Dra. Guadalupe del Carmen Reyes Solís
Co-directora de Tesis

Dr. Esaú Ruiz Sánchez
Asesor de Tesis

Conkal, Yucatán, México, a 11 de Junio del 2019.

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.

Angel Manuel Herrera Gorocica

AGRADECIMIENTOS

A mi comité, conformado por el Dr. Horacio Ballina-Gómez, el Dr. Esaú Ruiz-Sánchez y la Dra. Guadalupe Reyes-Solís, por la magnífica asesoría brindada a lo largo de lo que duró la maestría, por la increíble calidad humana que poseen, su paciencia y por haberme apoyado en la recta final a concluir éste documento en tiempo record.

A la Dra. Laura Yesenia Solís-Ramos, quien junto con su equipo de trabajo del laboratorio de biotecnología vegetal de la Universidad de Costa Rica (Adriana, Andrea y Kevin), además de brindarme su confianza y consejos, también me ofrecieron una grandiosa amistad durante mi travesía en la estancia académica.

A Roberto Ruiz, por sus valiosas aportaciones a éste documento tanto académicas como personales. Un gran compañero y hermano.

A toda mi generación, pues con los altibajos lograron hacer de éste viaje algo único y memorable.

A todas las personas que amablemente me apoyaron en la implementación, mantenimiento y recolecta de datos en los experimentos de campo en Chenche de las Torres. Sin su ayuda no hubiera sido posible éste trabajo.

Y por último, pero no menos importante, al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por brindarme el apoyo económico para la realización de mis estudios de Maestría, y por la oportunidad de conocer otras formas de hacer ciencia fuera del país a través de la beca Mixta.

DEDICATORIA

"A mis padres, Don Miguel Arcángel Herrera y May y Doña María Isela Gorocica Tún, sin ellos nada de esto se hubiera hecho realidad"

ÍNDICE DE CONTENIDO

Índice de cuadros…… viii

Índice de figuras…… ix

RESUMEN……..…….. xi

ABSTRACT……..……... xii

I. CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL……... 1

1.1 INTRODUCCIÓN GENERAL...……... 1

1.2 ANTECEDENTES...…….. 2

1.2.1 Tomate…….. 2

1.2.2 Mosquita blanca……... 3

1.2.3 Componentes volátiles orgánicos en las plantas aromáticas…… 3

1.3 HIPÓTESIS...……. 5

1.4 OBJETIVOS..…… 5

1.4.1 Objetivo general……... 5

1.4.2 Objetivos específicos……... 5

1.5 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTA…….. 6

1.6 LITERATURA CITADA.……. 8

II. CAPÍTULO 2. "ARE THE AROMATIC PLANTS EFFECTIVE TO REPEL INSECT PESTS? A META-ANALYSIS"…… 14

SUMARY……... 14

1. INTRODUCTION…… 14

2. MATERIALS AND METHODS……. 15

3. RESULTS…… 16

4. DISCUSSION…….. 18

5. CONCLUSION..…….. 20

6. REFERENCES……..... 21

III. CAPÍTULO 3. EFECTO DE PLANTAS AROMÁTICAS EN LA REPELENCIA DE *Bemisia tabaci* Genn EN TOMATE…….. 31

3.1 RESUMEN……... 31

3.1.1 Abstract…….. 31
3.2 INTRODUCCIÓN……..……. 32
3.3 MATERIALES Y MÉTODOS.……... 33
3.3.1 Sitio de estudio y obtención de plantas aromáticas……..... 33
3.3.2 Evaluación de repelencia en olfatómetro……... 34
3.3.3 Evaluación de la densidad de población de *B. tabaci* en campo 35
3.3.4 Evaluación de incidencia y severidad en virosis…… 36
3.3.5 Análisis de datos…… 36
3.4 RESULTADOS……..... 38
3.4.1 Evaluación de atracción en olfatómetro……. 38
3.4.2 Densidad de población de *B. tabaci* en campo…….. 40
3.4.3 Virosis del tomate…….. 41
3.5 DISCUSIÓN……..…….. 42
3.6 CONCLUSIÓN…… 44
3.7 LITERATURA CITADA..……... 45
IV. CAPÍTULO 4. CONCLUSIONES GENERALES…… 50

Índice de cuadros

I. CAPÍTULO 2.

Table 1. Review of published studies testing the effect of aromatic plants on phytophagous and natural-enemies……. 24

Table 2. Heterogeneity statistics for each model in the repellence in phytophagous and natural enemies frequency analysis……. 24

II. CAPÍTULO 3.

Cuadro 3. Lista de especies aromáticas estudiadas con sus claves de identificación…….. 33

Cuadro 4. Índice de repelencia (IR) de las plantas aromáticas en cada tratamiento agrupadas por bioensayo en olfatómetro con un intervalo de confianza (IC) del 95%..... 39

Cuadro 3. Número promedio de adultos de mosquita blanca por hoja de tomate en cultivos intercalados con lavanda, paiché, perejil y tomillo en 14-70 días después del trasplante en campo……. 40

Cuadro 4. Número promedio de huevos de mosquita blanca por cm^2 de hojas tomate en cultivos intercalados con lavanda, paiché, perejil y tomillo en 14-70 días después del trasplante en campo…….. 40

Cuadro 5. Número promedio de ninfas de mosquita blanca por cm^2 de hojas tomate en cultivos intercalados con lavanda, paiché, perejil y tomillo en 14-70 días después del trasplante en campo…….. 41

Índice de figuras

I. CAPÍTULO 2.

Figure 1. Effect size (average and 95% confidence interval) of the aromatic plants on phytophagous and natural enemies. Effect sizes were considered significant if the 95% confidence intervals did not overlap with zero and within the analyzes were considered different from each other if their 95% confidence intervals did not overlap. n: sample size; n_{fs}: security number; * indicates statistical robustness of n_{fs}. The mean effect size (E ++) and the CI of the 95% bias for all the response variables……... 25

Figure 2. Effect size of the repellence (mean and 95% confidence interval) of the species of aromatic plants on insect phytophagous. Effect sizes were considered significant if the 95% confidence intervals did not overlap with zero. The sizes of the effects within the analyzes were considered different from each other if their 95% confidence intervals did not overlap. n: sample size; n_{fs}: security number; * indicates statistical robustness of n_{fs}. The mean effect size (E ++) and the CI of the 95% bias for all the response variables……. 26

Figure 3. Effect size of the repellency of the aromatic plant families on insect phytophagous (mean and 95% confidence interval). Effect sizes were considered significant if the 95% confidence intervals did not overlap with zero and within the analyzes were considered different from each other if their 95% confidence intervals did not overlap. n: sample size; n_{fs}: security number; * indicates statistical robustness of n_{fs}. The mean effect size (E ++) and the CI of the 95% bias for all the response variables……... 27

Figure 4. Effect size of the attraction of natural enemies toward aromatic plants species (average and 95% confidence interval). Effect sizes were considered significant if the 95% confidence intervals did not overlap with zero and within the analyzes were considered different from each other if their 95% confidence intervals did not overlap. n: sample size; n_{fs}: security number; * indicates statistical robustness of

n_{fs}. The mean effect size (E ++) and the CI of the 95% bias for all the response variables……... 28

Figure 5. Effect size of the attraction of natural enemies toward aromatic plants families (average and 95% confidence interval). Effect sizes were considered significant if the 95% confidence intervals did not overlap with zero and within the analyzes were considered different from each other if their 95% confidence intervals did not overlap. n: sample size; n_{fs}: security number; * indicates statistical robustness of n_{fs}. The mean effect size (E ++) and the CI of the 95% bias for all the response variables……... 29

Figure 6. Effects size of the repellency of aromatic plants on phytophagous insects depending on their grouping by diet or type of diet they present (average and 95% confidence interval). Effect sizes were considered significant if the 95% confidence intervals did not overlap with zero and within the analyzes were considered different from each other if their 95% confidence intervals did not overlap. n: sample size; n_{fs}: security number; * indicates statistical robustness of n_{fs}. The mean effect size (E ++) and the CI of the 95% bias for all the response variables……...… 30

CAPÍTULO III.

Figura 1. Respuestas de *Bemisia tabaci* (% promedio de insectos + EE) al tomate + plantas aromáticas (T + PA) relativo al aire humidificado, así como al tomate (T) contra el tomate + plantas aromáticas (T + PA). Las pruebas se realizaron en un olfatómetro en el laboratorio. Pruebas de X2:*** <0.001…….. 38

Figura 2. Incidencia y severidad de begomovirus y su variación a través del tiempo en plantaciones de tomate intercalado con diferentes plantas aromáticas……..… 42

RESUMEN

Se han realizado varios estudios para evaluar el efecto de las plantas aromáticas como plagas repelentes de insectos. Sin embargo, no existe una revisión sistemática sobre la efectividad de esta técnica para el control de plagas, por lo que el objetivo de este estudio fue analizar el efecto de las plantas aromáticas para repeler a los insectos plaga. Para ello, se realizó una búsqueda exhaustiva, recuperando los artículos relevantes de las plataformas: Google Scholar, Only Library, Science Direct, Springer Journal, Taylor & Francis y Wiley Online Library. Examinamos 42 artículos, de los cuales solo 14 cumplieron con los criterios de inclusión en el meta-análisis. De estos artículos, 407 estudios fueron seleccionados para ser evaluados. Posteriormente se evaluó el efecto repelente de 18 plantas aromáticas en individuos adultos de *B. tabaci* en laboratorio por medio de un olfatómetro y en campo con un cultivo intercalado con tomate. El meta-análisis arrojó que al menos una parte de las plantas aromáticas evaluadas, son efectivas para modificar el comportamiento de la comunidad de insectos, los fitófagos respondieron negativamente y los enemigos naturales de manera positiva. De las especies aromáticas evaluadas para repelencia fitófaga y atracción de enemigos naturales, las más efectivas pertenecen a las familias Asteraceae y Lamiaceae. En los experimentos, de las 18 especies evaluadas en laboratorio, sobresalieron como repelentes a adultos de mosquita blanca, lavanda, paiché, perejil y tomillo que posteriormente se evaluaron en campo, donde los efectos repelentes de las plantas aromáticas fueron notorios en la alteración de la oviposición y posterior crecimiento de ninfas de la mosquita blanca.

ABSTRACT

Several studies have been conducted to evaluate the effect of aromatic plants as insect repellent pests. However, there is no systematic review on the effectiveness of this technique for the control of pests, so the objective of this study was to analyze the effect of aromatic plants to repel insect pests. For this, an exhaustive search was carried out, recovering the relevant articles of the platforms: Google Scholar, Only Library, Science Direct, Springer Journal, Taylor & Francis and Wiley Online Library. We examined 42 articles, of which only 14 met the inclusion criteria in the meta-analysis. Of these articles, 407 studies were selected to be evaluated. Subsequently, the repellent effect of 18 aromatic plants in adult *B. tabaci* individuals was evaluated in the laboratory by means of an olfactometer and in the field with an intercropped tomato culture. The meta-analysis showed that at least a part of the evaluated aromatic plants are effective to modify the behavior of the insect community, the phytophagous responded negatively and the natural enemies positively. Of the aromatic species evaluated for phytophagous repellency and attraction of natural enemies, the most effective belong to the families Asteraceae and Lamiaceae. In the experiments, of the 18 species evaluated in the laboratory, they excelled as repellents to adults of whitefly, lavender, paiché, parsley and thyme that were later evaluated in the field, where the repellent effects of the aromatic plants were notorious in the alteration of the oviposition and subsequent growth of whitefly nymphs.

CAPÍTULO 1.

1.1 INTRODUCCIÓN GENERAL

Las plantas aromáticas (PAs) desempeñan un papel complejo al aumentar la biodiversidad y también darle soporte a la fauna útil. Las asociaciones de ellas son repelentes a muchas plagas, que dependiendo de la superficie cubierta en el sistema pueden ser estratégicamente utilizadas (Abdo y Riquelme, 2008).

Dado que la principal comunicación de los insectos plaga es regida por los colores y los olores, la diversidad de las PAs crea un ambiente heterogéneo de olores. Ello produce un sinergismo debido a su distribución espacial, lo que ocasiona un obstáculo en el ingreso de plagas, además de facilitar la posibilidad del encuentro con su enemigo natural (Bleeker *et al*., 2009).

La mosquita blanca, *Bemisia tabaci* Genn. (Hemiptera: Aleyrodidae), es un insecto polífago que infesta más de 600 especies de plantas hospederas en todo el mundo (Oliveira *et al*., 2001) y es una de las especies más destructivas en regiones tropicales y subtropicales. Las lesiones se producen a través de la alimentación directa por la succión de la savia, pero principalmente de forma indirecta por la transmisión de virus, trastornos fisiológicos de las plantas, la contaminación con ligamaza y el crecimiento de hongos asociados. La transmisión de enfermedades es la forma más importante de daño, más de 100 virus diferentes son transmitidos por *B. tabaci*, la mayoría de los cuales pertenecen al género Begomovirus (Jones, 2003). La mosquita blanca se combate casi exclusivamente mediante el uso de insecticidas químicos, pero esta estrategia es limitada debido a la ubicación de adultos y ninfas en la superficie abaxial de la hoja. Además, la resistencia a los insecticidas se produce en respuesta a las pulverizaciones continuas, y un número creciente de insecticidas se han vuelto ineficaces con la invasión de nuevos biotipos de *B. tabaci* en nuevas partes del mundo (Luo *et al*., 2010). Estos insectos también inducen diferentes enzimas de desintoxicación como una estrategia de defensa cuando enfrentan una variedad de cambios en sus huéspedes (Xu *et al*., 2014).

Después de la herbivoría, la liberación de compuestos volátiles vegetales inducidos por herbívoros (HIPV) puede tener un efecto repelente sobre los áfidos (Babikova *et al*., 2014). El cultivo intercalado con especies aromáticas, además de repeler a los herbívoros,

atrae y conserva enemigos naturales, asegurando así la supresión continua de los áfidos (Khan *et al*., 2008).

Debido al aumento dramático en la abundancia, los costos y las dificultades para manejar *B. tabaci* exclusivamente con insecticidas químicos, existe una enorme demanda para el desarrollo de nuevas estrategias para controlar la mosquita blanca.

Esta grave situación ha llevado a la búsqueda de métodos ecológicos, sostenibles y eficientes para controlar la mosca blanca, como el empleo de una estrategia repelente de cultivos intercalados para el manejo integrado de plagas (MIP) (Cook *et al*., 2007; Khan *et al*., 2008). Por lo tanto en este trabajo se han planteado las siguientes preguntas de investigación: ¿Son efectivas las plantas aromáticas para repeler insectos plaga? ¿Qué especie aromática repele más a *Bemisia tabaci* Genn? ¿Presentan el mismo efecto repelente las plantas aromáticas tanto en laboratorio como en campo? Se ha estimado que hay más de 600 tipos de plantas hospedantes para la mosca blanca (Oliveira *et al*., 2001) pero solo algunas de los productos químicos volátiles de estas plantas desempeñan un papel importante en la orientación del comportamiento y la selectividad de *B. tabaci* (Hegde *et al*., 2012).

1.2 ANTECEDENTES

1.2.1 Tomate

Solanum lycopersicum L. es la especie reportada en México, su domesticación se dio entre Veracruz y Puebla, donde persiste en forma silvestre. El tomate y sus parientes silvestres se distribuyen en la parte occidente de Sudamérica a lo largo de la costa, los Andes, Perú, norte de Chile, las Islas Galápagos y gran parte de México, entre otros países (SNITT, 2016).

México y Perú son considerados los dos centros independientes de domesticación del tomate, de ahí su gran diversidad en recursos genéticos de la especie (principalmente criollos y silvestres). Su centro de origen se circunscribe a la región andina de Perú, el único sitio donde hay especies parientes del tomate. No obstante, la variedad cerasiforme, precursora del tomate domesticado, transportó sus semillas de forma natural hasta llegar a Mesoamérica donde la cultivaron y se convirtió en un producto básico en la alimentación de los nativos (SNITT, 2016).

1.2.2 Mosquita blanca

La mosquita blanca *Bemisia tabaci* Genn. (Hemiptera: Aleyrodidae) es una de las plagas de insectos de mayor importancia agrícola a nivel mundial (Brown, 2010). Aunque este insecto ha sido considerado como un grupo de especies hermanas con aproximadamente 33 biotipos (Brown *et al*., 1995; Gill y Brown, 2010), el análisis genético reciente sugiere que *B. tabaci* es un complejo de especies que comprende quizás 24 o más especies morfológicamente indistinguibles (De Barro *et al*., 2011). *B. tabaci* se distingue de otras mosquitas blancas por sus características fenotípicas variables, que incluyen el rango de hospedadores, la fecundidad, la dispersión, la capacidad de vectorización de virus y el potencial de daño (Stansly y Naranjo, 2010). Por ejemplo, el biotipo B se caracteriza por un rango de huéspedes notablemente amplio, un alto potencial reproductivo y la capacidad de inducir trastornos fisiológicos en las plantas y desarrollar resistencia a los insecticidas químicos (Costa y Brown, 1990; Prabhaker *et al*., 1999).

Además, es un insecto polífago que infesta más de 600 especies de plantas hospederas en todo el mundo (Oliveira *et al*., 2001) y es una de las especies más destructivas en regiones tropicales y subtropicales. Las lesiones se producen a través de la alimentación directa por la succión de la savia, pero principalmente de forma indirecta por la transmisión de virus, trastornos fisiológicos de las plantas, la contaminación con ligamaza y el crecimiento de hongos asociados. La transmisión de enfermedades es la forma más importante de daño, más de 100 virus diferentes son transmitidos por *B. tabaci*, la mayoría de los cuales pertenecen al género Begomovirus (Jones, 2003).

1.2.3 Componentes volátiles orgánicos en las plantas aromáticas

Inicialmente, la detección visual de plantas hospedadoras por moscas blancas adultas a través del color de las hojas fue el énfasis principal en los modelos de selección de plantas hospederas (Mound, 1962; Vaishampayan *et al*., 1975), pero recientemente, se está prestando atención al papel del olfato en la selección del hospedero (Bleeker *et al*., 2009). Varios estudios han demostrado que, además de señales visuales, las señales volátiles de plantas específicas son responsables de la selección inicial (Bleeker *et al*., 2011).

Las plantas tienen la capacidad de producir una gran variedad de metabolitos secundarios. Crean y almacenan una amplia gama de componentes volátiles orgánicos (VOCs, por sus siglas en inglés) en flores, hojas, frutos y raíces, donde los compuestos se preparan y almacenan para ser liberados en la atmósfera circundante en cualquier instante (Hegde *et al*., 2012), este sistema de respuesta puede ser una defensa constitutiva. Hierbas como la salvia (*Salvia officinalis* L.) y tomillo (*Thymus vulgaris* L.) plantadas como cultivos intercalados entre las plantas de cultivo de coles de Bruselas (*Brassica oleracea gemmifera* L.) podrían reducir significativamente la oviposición de la polilla de la espalda de diamante (*Plutella xylostella* L.) (De Moraes *et al*, 2001; Dover, 1986).

Sobre la base de una serie de bioensayos de olfatómetro Carvalho *et al*., (2017) sugiere que los volátiles constitutivos de cilantro tienen un efecto enmascarante del olor en los volátiles de tomate. Las plantas aromáticas, incluido el cilantro, producen altas cantidades de metabolitos secundarios volátiles. Por lo tanto, las plantas aromáticas son buenos candidatos para probar diseños de cultivos intercalados que tienen como objetivo repeler o enmascarar los olores para alterar la selección de hospedadores por plagas de insectos. Estudios previos han demostrado esto en los huertos (Song *et al*., 2010a, b), cultivo de té, *Cammelia sinensis* (L.) Kunze (Zhang *et al*., 2014), de *Chrysanthemum morifolium* (Sun, *et al*. 2015) y vegetales (Sarker *et al*., 2007).

En respuesta al ataque de los herbívoros, las plantas aromáticas producen semioquímicos denominados volátiles de plantas inducidas por herbívoros (HIPV) que actúan para repeler plagas y atraer a sus enemigos naturales. Las plantas dañadas y, en algunos casos, intactas también producen señales volátiles que advierten a otras plantas de un ataque inminente (Khan, 2008).

1.3 HIPÓTESIS

Las plantas aromáticas presentan efecto repelente a mosquita blanca en laboratorio (olfatómetro) y, en campo disminuyen los niveles de infestación en plantas de tomate al intercalarlas.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 General

Determinar el efecto repelente de las plantas aromáticas (PA) sobre las poblaciones de *Bemisia tabaci* Genn en cultivos de tomate.

1.4.2. Específicos

Analizar el efecto de las plantas aromáticas para repeler insectos plaga a través de un meta-análisis.

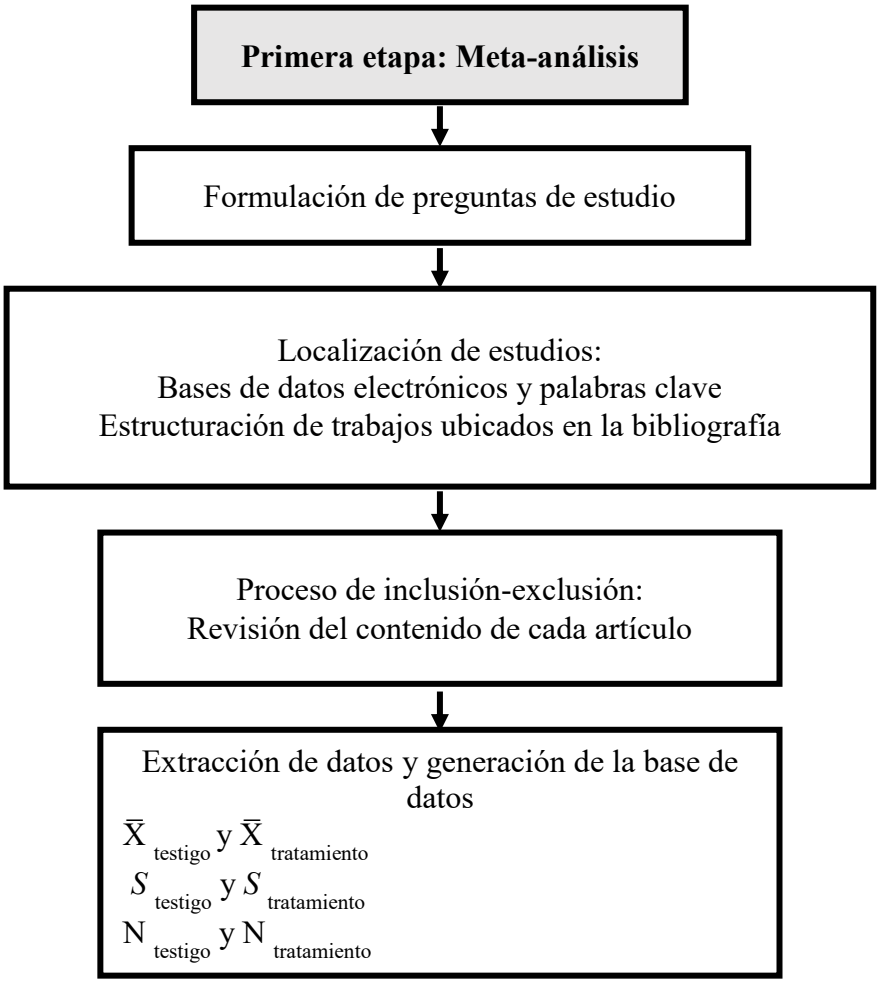
Evaluar el efecto repelente de plantas aromáticas a individuos adultos de *Bemisia tabaci* Genn a través de bioensayos bajo condiciones controladas de laboratorio.

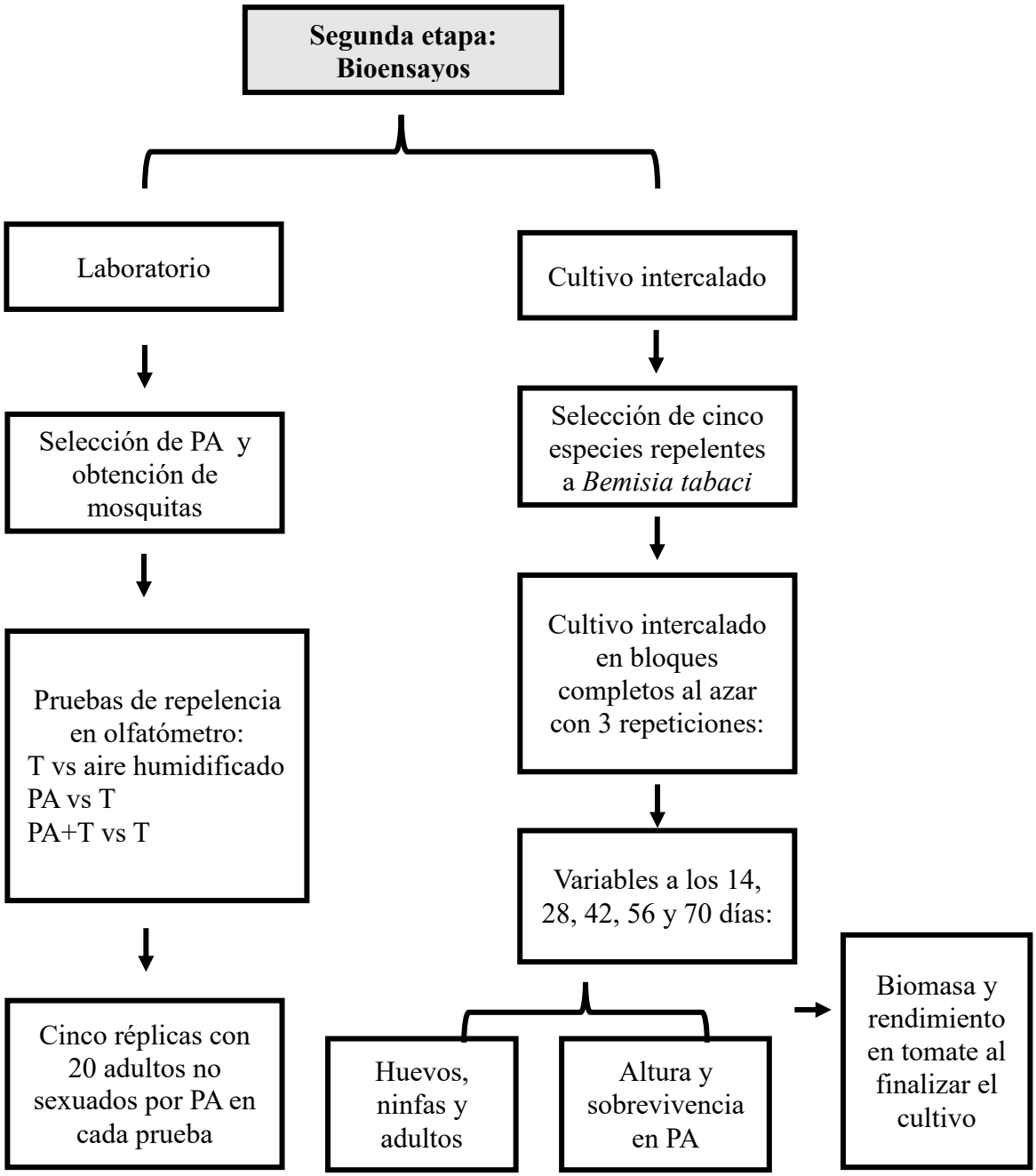
Evaluar el efecto repelente sobre huevos, ninfas y adultos de *B. tabaci* en cuatro especies aromáticas preseleccionadas en el bioensayo anterior, a través de un cultivo intercalado de tomate bajo condiciones de campo.

Evaluar el efecto repelente de especies aromáticas sobre *B. tabaci* en las respuestas de incidencia y severidad de la virosis causada por begomovirus en un cultivo intercalado de tomate bajo condiciones de campo.

1.5 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

El presente trabajo está integrado por dos etapas: 1) Realización del meta-análisis y 2) Bioensayos en el Laboratorio de Plagas Agrícolas del DEPI en el Instituto Tecnológico de Conkal/Tecnológico Nacional de México y en campo, en Chenché de las Torres, comisaría del municipio de Temax, Yucatán.




Segunda etapa:
Bioensayos
Laboratorio
Selección de PA y obtención de mosquitas
Pruebas de repelencia en olfatómetro:
T vs aire humidificado
PA vs T
PA+T vs T
Cinco réplicas con 20 adultos no sexuados por PA en cada prueba
Cultivo intercalado
Selección de cinco especies repelentes a *Bemisia tabaci*
Cultivo intercalado en bloques completos al azar con 3 repeticiones:
Variables a los 14, 28, 42, 56 y 70 días:
Huevos, ninfas y adultos
Altura y sobrevivencia en PA
Biomasa y rendimiento en tomate al finalizar el cultivo

1.6 LITERATURA CITADA

Abdo Guadalupe y H. Riquelme Antonio. 2008. Las aromáticas en la huerta orgánica y su rol en el manejo de los insectos. Ediciones Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Buenos Aires, Argentina. Segunda edición.

Amaral D.S.S., M. Venzon, M. V. A. Duarte, F. F. Sousa, A. Pallini, J. D. Harwood. 2013. Non-crop vegetation associated with chili pepper agroecosystems promote the abundance and survival of aphid predators. Biol Control. 64: 338–346.

Babikova Z., L. Gilbert, T Bruce, S. Y. Dewhirst, J. A. Pickett, D. Johnson. 2014. Arbuscular mycorrhizal fungi and aphids interact by changing host plant quality and volatile emission. Funct Ecol. 28: 375-385.

Bleeker, P. M., P. J. Diergaarde, K. Ament, J. Guerra, M. Weidner, S. Schütz, M. T. J. de Both, M. A. Haring, R. C. Schuurink. 2009. The role of specific tomato volatiles in tomato-whitefly interaction. Plant Physiology. 151: 925–935.

Bleeker, P. M., P. J. Diergaarde, K. Ament, S. Schütz, B. Johne, j. Dijkin, H. Hiemstra, R. de Gelder, M. T. de Both, M. W. Sabelis, M. A. Haring, R. C. Schuurink. 2011. Tomato-produced 7-epizingiberene and R-curcumene act as repellents to whiteflies. Phytochemistry. 72: 68–73.

Brown, J.K., D. R. Frohlich, R. C. Rossell. 1995. The sweet potato or silver leaf whiteflies: biotypes of *Bemisia tabaci* or a species complex? Annu. Rev. Entomol. 40, 511e534.

Brown J.K. 2010. Bemisia: phylogenetic biology of the *Bemisia tabaci* sibling species group. In: Stansly, P.A., Naranjo, S.E. (Eds.), Bemisia: Bionomics and Management of a Global Pest. Springer, Amsterdam, pp. 31e67.

Carvalho, M. G., O. C. Bortolotto, M. U. Ventura. 2017. Aromatic plants affect the selection of host tomato plants by *Bemisia tabaci* biotype B. Entomologia Experimentalis et Applicata. 162: 86-92.

Cook, S. M., Z. R. Khan, J. A. Pickett. 2007. The use of 'push–pull' strategies in integrated pest management. Annual Review of Entomology 52: 375–400.

Costa, H. S. y J. K. Brown. 1990. Variability in biological characteristics, isozyme patterns and virus transmission among populations of Bemisia tabaci in Arizona. Phytopathology 80, 877e888.

Butler S. J., J. A. Vickery, K. Norris. 2007. Farmland biodiversity and the footprint of agriculture. Science. 315: 381–384.

Dassou A.G. y P. Tixier. 2016. Response of pest control by generalist predators to local-scale plant diversity: a meta-analysis. Ecol Evol. 6: 1143-1153.

De Barro, P.J., S. S. Liu, L. M. Boykin, A. B. Dinsdale. 2011. *Bemisia tabaci*: a statement of species status. Annu. Rev. Entomol. 56, 1e19.

De Moraes C.M., M. C. Mescher, J. H. Tumlinson. 2001. Caterpillar-induced nocturnal plant volatiles repel conspecific females. Nature. 410: 577-580.

Dover J.W. 1986. The effect of labiate herbs and white clover on *Plutella xylostella* oviposition. Entomol Exp Appl. 42: 243-247.

Gill, R., J. K. Brown. 2010. Systematics of Bemisia and Bemisia relatives: can molecular techniques solve the Bemisia tabaci complex conundrumea taxonomist's viewpoint. In: Stansly, P.A., Naranjo, S.E. (Eds.), Bemisia: Bionomics and Management of a Global Pest. Springer, Amsterdam, pp. 5e29.

Hambäck P. A., M. Björkman, B. Rämert, R. J. Hopkins. 2009. Scale-dependent responses in cabbage herbivores affect attack rates in spatially heterogeneous systems. Basic and Applied Ecology. 10: 228–236.

Hegde, M., J. N. Oliveira, J. G. da Costa, E. Loza-Reyes, E. Bleicher, A. E. Santana, J. C. Caulfield, P. Mayon, S. Y. Dewhirst, T. J. Bruce. 2012. Aphid antixenosis in cotton is activated by the natural plant defence elicitor cis-jasmone. Phytochemistry. 78: 81-88.

Khan Z.R., D. G. James, C. A. O. Midega, J. A. Pickett. 2008. Chemical ecology and conservation biological control. Biological Control. 45: 210-224.

Jones D.R. 2003. Plant viruses transmitted by whiteflies. European Journal of Plant Pathology. 109: 195–219.

Landis D.A., S. D. Wratten, G. Gurr. 2000. Habitat management to conserve natural enemies of arthropod pests in agriculture. An Rev Entom. 45, 175–201.

Luo C., C. M. Jones, G. Devine, F. Zhang, I. Denholm, K. Gorman. 2010. Insecticide resistance in *Bemisia tabaci* biotype Q (Hemiptera: Aleyrodidae) from China. Crop Protection. 29: 429–434.

Mound L.A. 1962. Studies on the olfaction and colour sensitivity of *Bemisia tabaci* (Genn.) (Homoptera, Aleyrodidae). Entomologia Experimentalis et Applicata 5: 99–104.

Oliveira M. R. V., T. J. Henneberry, P. Anderson. 2001. Challenges and opportunities for pest management of *Bemisia tabaci* in the New Century. Crop Protection. 20: 709–723.

Potting R. P. J., J. N. Perry, W. Powell. 2005. Insect behavioural ecology and other factors affecting the control efficacy of agroecosystem diversification strategies. Ecological Modelling. 182: 199–216.

Prabhaker N., N. C. Toscano, D. L. Coudriet. 1999. Comparison of neem, urea, and amitraz as oviposition supressants and larvicides against *Bemisia argentifolii* (Homoptera: Aleyrodidae). J. Econ. Entomol. 92, 40e46.

Sarker P. K., M. M. Rahman, B. C. Das. 2007. Effect of intercropping of mustard with onion and garlic on aphid population and yield. Journal of Bio-Science. 15: 35–40.

Sistema nacional de investigación y transferencia tecnológica para el desarrollo rural sustentable (SNITT), Agenda nacional de investigación, innovación y transferencia de tecnología agrícola 2016-20122. 2016. México, D.F. Primera edición.

Song B. Z., M. C. Wang, Y. Kong, Y. C. Yao, H. Y. Wu, et al. 2010a. The structure characteristics of arthropod community in plots of pear orchard intercropped with different aromatic plants. Scientia Agricultura Sinica. 43: 769–779.

Song B. Z., M. C. Wang, Y. Kong, Y. C. Yao, W. Y. Wu, Z. R. Li. 2010b Interaction of the dominant pests and natural enemies in the experimental plots of the intercropping aromatic plants in pear orchard. Scientia Agricultura Sinica. 43: 3590–3601.

Stansly, P.A. Y S. E. Naranjo. 2010. Bemisia: Bionomics and Management of a Global Pest. Springer, Amsterdam, 528 pp.

Sun H., F. Zhang, S. Chen, Z. Guan, J. Jiang, W. Fang y F. Chen. 2015. Effects oh aphid herbivory on volatile organic compounds of *Artemisia annua* and *Chrysanthemum morifolium*. Biochemical Systematics and Ecology. 60: 225-233.

Tscharntke T., R. Bommarco, Y. Clough, T. O. Crist, D. Kleijn, T. A. Rand, J. M. Tylianakis, S. Van Nouhuys, S. Vidal. 2007. Conservation biological control and enemy diversity on a landscape scale. Biol. Control. 43: 294–309.

Tylianakis J. M., T. Tscharntke, O. T. Lewis. 2007. Habitat modification alters the structure of tropical host-parasitoid food webs. Nature. 445: 202–205.

Vaishampayan S.M., G. P. Waldbauer, M. Kogan. 1975. Visual and olfactory responses in orientation to plants by the greenhouse whitefly, *Trialeurodes vaporariorum* (Homoptera: Aleyrodidae). Entomologia Experimentalis et Applicata. 18: 412–422.

Wyckhuys K. A. G., Y. Lu, H. Morales, L. L. Vazquez, J. C. Legaspi, P. A. Eliopoulos, L. M. Hernandez. 2013. Current status and potential of conservation biological control for agriculture in the developing world. Biol. Control. 65, 152–167.

Xu S.Q., F. Chai, X. An, S. Han. 2014. Comparison of detoxification enzymes of *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) biotypes B and Q after various host shifts. Florida Entomologist. 97: 715–723.

Zhang, Z., Z. Luo, Y. Gao, L. Bian, X. Sun, Z. Chen. 2014. Volatiles from non-host aromatic plants repel tea green leafhopper *Empoasca vitis*. Entomologia Experimentalis et Applicata 153: 156–169.

CAPÍTULO 2.

"ARE THE AROMATIC PLANTS EFFECTIVE TO REPEL INSECT PESTS? A META-ANALYSIS"

Angel Manuel Herrera-Gorocica[a], Horacio S. Ballina-Gómez[a], Esaú Ruíz-Sánchez[a], Guadalupe Reyes-Solís[b], Roberto Rafael Ruiz-Santiago[a] and Laura Y. Solís-Ramos[c]
[a]División de Estudios de Posgrado e Investigación, Instituto Tecnológico de Conkal, Tecnológico Nacional de México. 97345. Conkal, Yucatán, México. [b]Centro de Investigaciones Regionales Dr. Hideyo Noguchi, Universidad Autónoma de Yucatán. 97000. Mérida, Yucatán, México. [c]Biotecnología de Plantas, Escuela de Biología, Universidad de Costa Rica, Sede Rodrigo Facio, San Pedro, Costa Rica
angel.herrera@itconkal.edu.mx
horacio.ballina@itconkal.edu.mx (Corresponding autor)
esau.ruiz@itconkal.edu.mx
guadalupe.reyes@correo.uady.mx
roberto.ruiz@itconkal.edu.mx
laura.solisramos@ucr.ac.cr

SUMARY

Several studies have been conducted to evaluate the effect of aromatic plants as insect repellent pest. However, there is no systematic review on the effectiveness of this technique for the control of pests, therefore the objective of this study was to analyze the effect of aromatic plants to repel pest insects. For this, an exhaustive search was carried out, recovering the relevant articles of the platforms: Google Scholar, Only Library, Science Direct, Springer Journal, Taylor & Francis and Wiley Online Library. As key words were used "aromatic plants", "intercalated", "intercalated aromatics", "olfactometer", "repellent aromatic plants", "no attraction", "repellent", "volatile" and "antifeedant effect". The sample size, means and standard deviation of each study were used. At least a part of the aromatic plants evaluated in various experiments, are effective to modify the behavior of the community of insects, phytophagous responded negatively, and natural enemies positively. We found 821 articles, 42 of them were examined and only 13 met our inclusion criteria. A total of 406 studies were extracted for the meta-analysis. Of the 25 aromatic species evaluated for phytophagous repellency and attraction of natural enemies, the most effective belong to the families Asteraceae, Lamiaceae. *Ocimum x citriodorum*, *O. basilicum*, *Mentha canadensis* and *Tagetes patula* were the ideal species to be used as part of the management and control of pests, since they release volatiles that repel phytophagous insects and at the same time attract their natural enemies. On the other hand, we observed that feeding specialization and feeding habits influence the behavior of phytophages in the presence of aromatic plants, so they are factors to take into account in the implementation of the technique.

Keywords: Phytophagous, Natural enemies, Olfactometer, Intercropping, Volatiles.

1. INTRODUCTION

The orientation of arthropods in natural environments is strongly determined by the relationship between volatile plant diversity and the diversity of plant species. In addition, the structural complexity of the vegetation affects the diversity of the volatility of the plants,

and therefore, the orientation of the arthropods (Randlkofer et al., 2010). The visual detection of host plants through the color of the leaves was the main emphasis in the models of selection of host plants (Mound, 1962; Vaishampayan et al., 1975), but in recent years, attention has been paid to paper of smell in host selection (Bleeker et al., 2009). Several studies have shown that, in addition to visual cues, the volatiles of specific plants are responsible for the initial selection (Bleeker et al., 2011). On the other hand, the study of the complementary plants determined that they can affect the performance of the pests in their hosts due to their potential to emit volatile organic compounds (VOC's) and their effectiveness depended not only on the species, but also on its disposition in the cultivation system (Issa et al., 2016).

Plants produce a variety of secondary metabolites, and create and store a wide range of VOC's in flowers, leaves, fruits and roots, where compounds are prepared and stored to be released at any time (Hegde et al., 2012). The resource concentration hypothesis (Root, 1973) predicts that plants in highly diverse plant communities experience lower herbivorous insect infestations than plants in less diverse communities. Since the 1980s, it was already known that crop interleaving influences pest insect populations (Perrin, 1980; Altieri and Letourneau, 1982; Andow, 1982), and when performing experiments with olfactometers, aphids showed a preference for the smell of healthy plants compared to infested plants, which indicated that the volatiles of these determined the choice of insects (Sun et al., 2015). Plants such as sage (*Salvia officinalis* L.) and thyme (Thymus vulgaris L.) planted as intercropping between the Brussels sprouts (*Brassica oleracea gemmifera* L.) plants significantly reduced the oviposition of the diamond back moth (*Plutella xylostella* L.) (De Moraes et al., 2001; Dover, 1986). This response system can be a constitutive defense on the herbivory of insects in which the plants can release mixtures of VOC's against the herbivory caused by phytophagous insects (Estell et al., 2013).

Studies that address the influence of plant species diversity on volatile plants within a habitat are scarce, despite the fact that the effects of plant metabolites on the behavior and performance of arthropods have been studied intensively (Després et al., 2007). In addition, we have little knowledge about the interactive mechanisms between structural and chemical features of the plant and how they affect the behavior of arthropods in diverse habitats in the field. More information is required to obtain a deeper insight into the relationship between the diversity of plant species, the structural complexity of the plant and the volatile chemical complexity (Randlkofer et al., 2010). It is a fact that aromatic plants can affect the composition of the arthropod community and reduce herbivore populations by attracting beneficial insects, such as generalist predators. As an example, basil can be recommended as a complementary crop in biological conservation control programs, not only because of its well-known negative effects in pests, but also because of its attractiveness to generalist predatory insects such as *C. cubana* (Batista et al., 2017).

For this, in this study the objective was to analyze the effect of the aromatic plants to repel pest insects by means of a meta-analysis to identify patterns of behavior of the insects and thus determine if the use of aromatic plants is effective to repel pest insects.

2. MATERIALS AND METHODS

We searched for specific literature in electronic media such as Google Scholar, and first level magazines and indexed in: Only Library, Science Direct, Springer Journal, Taylor & Francis and Wiley Online Library. The following combinations of keywords were used to perform the searches: "intercrop aromatic plants", "intercropping aromatic", "aromatic plants repellent", "no attraction", "deterrence", "no preference", "volatiles" and "not feeding effect".

Reports with potential to meet the eligibility criteria were examined: 1) the studies have evaluated the repellency of agricultural pests with aromatic plants in field, laboratory or greenhouse conditions, 2) the total number of adults, nymphs or eggs is reported of the organisms repelled; and 3) the sample size, measures of variance and p-value for the control and experimental groups are provided. Data from a single article that reported more than one aromatic species or were evaluated by different methods were considered independent studies.

The repellent and attractant effects of the aromatic plants were evaluated using a relationship (response quotient) of the effect compared to a control group where the insects were not exposed to said plants. As a result, the negative values in the response ratio indicate a repellent effect of the aromatic species towards the insects, while the positive result indicates an attractive effect to the insects. To calculate the effect size for each variable, the mean, the sample size and the standard deviation for the control and experimental groups were obtained. If the studies did not provide these data, univariate statistical data (F, t, and p) were used to calculate the effect size (Rosenberg et al., 2002). All standard error values were transformed into standard deviation according to the equation: $SD = SE \sqrt{n}$, where SD is the standard deviation, SE is the standard error and n is the sample size (Monsreal-Ceballos et al., 2017).

A separate analysis was performed to evaluate the influence of aromatic plants on insects. The variables analyzed were repellence and attraction. The size of the effect was calculated using the Hedges statistic: $d = [(XO-XY) / s] J$, where XO is the average response to the control group, XY is the average response to the experimental group, s is the combined SD and J is the correction factor for the bias due to the size of the sample (Gurevitch and Hedgez, 2001).

The analysis was performed in the statistical program Meta Win 2.1 using fixed-effect models (Rosenberg et al., 2002). The confidence intervals were generated at a confidence level of 95% (bootstrap with bias correction) for all effect sizes from 999 iterations. The effects were considered significant if the confidence intervals do not overlap with zero (Monsreal-Ceballos et al., 2017).The existing bias in the data set was assessed using the security number (nfs), using the Rosenberg method (Rosenthal, 1979; Rosenberg, 2005). The nfs indicate the number of non-significant, unpublished or missing studies that should be added to the meta-analysis to change the results from significant to non-significant. The results are considered robust when the nfs is greater than $5n + 10$, where n is the number of studies (Rosenthal, 1979). The sample size, means and standard deviation of each study were used. Also used as factors were the family to which they belong, the protected crop, the plague they repel, the technique that was used, and the maximum response time.

3. RESULTS

Among 821 articles found based on the keywords, 42 were analyzed based on the title and abstracts within the first evaluation stage. Only 13 reports met the selection criteria, of this last selection we obtained 406 independent studies (Table 1). Not all selected articles provided data for all response variables. For repellency of phytophagous insects were processed 244 studies and 162 for natural enemies, while for repellency of aromatic plants were 241. Also, for repellency of plant families were processed 240 studies. Instead, for attraction of aromatic plants were processed 144 studies, while for attraction of plant families 179. In addition, for feeding specialization were processed 213 studies and 217 for feeding

guilds. For the meta-analysis, the repellent effect of the aromatic plants is indicated by the negative values in the repellency variable, and the positive values indicate attraction.

Table 1

Overall, we found that the aromatic plants influenced on repellence and attraction responses for the phytophagous insects and natural enemies, respectively. For phytophagous insects we found a repellence with an effect size of -0.1886 (bias % CI = -0.3309 to -0.0475), while the natural enemies were attracted to aromatic plants with an effect size of 0.4213 (bias % CI =0.3112 to 0.5277) (Fig. 1; Table 2).

Table 2

Figure 1

The studies indicated that of the 25 aromatic species tested, nine showed repellent significant effects. Among plant species with most robust response were *Centaurea cyanus*, *Lavandula pinnata*, *Lavandula angustifolia*, *Ageratum houstonianum*, *Rosmarinus officinalis*, *Cymbopogon nardus*, *Thymus vulgaris* and *Chrisantemum morifolium*. *Thymus vulgaris* showed significant difference with *Lavandula angustifolia* and *Ageratum houstonianum*. In the other hand and surprisingly four species were attracted for phytophagous insect, *Coriandrum sativum*, *Artemisia annua*, *Medicago sativa* and *Foeniculum vulgare* although only the first two were statistically robust (Fig. 2).

Figure 2

When we analyze the effect of plant family in repellent response, we found to Poaceae as the plant family of most repellence with a significant difference followed by Asteraceae and Lamiaceae. On the other hand, Apiaceae and Fabaceae attracted significantly to phytophagous insects, although in the case of Apiaceae showed the biggest attraction (Fig. 3).

Figure 3

The analysis of the natural enemies showed a pattern of attraction towards the aromatic plants quite consistent. In five plant species these responses were statistically robust, *Nepeta cataria*, *Coriandrum sativuum*, *Tagetes patula*, *Mentha canadensis* and *Ocimum basilicum* (Fig. 4), while in *Ocimum x citriodorum* and *Saturela hortensis* it did not. In the case of *Centaurea cyanus*, *Mentha aplocalyx* and *Ageratum houstonianum* the responses were neutral although not significantly robust.

Figure 4

When we analyzed the attraction of the natural enemies toward families of aromatic plants, we found that Apiaceae showed the highest attraction followed by Lamiaceae; and finally, Asteraceae although in this case, the response was not statistically robust (Fig. 5).

Figure 5

The analysis of the repellency in the feeding specialization group showed that only polyphagous insects were repelled by aromatic plants. In the case of polyphagous and monophagous insects showed neutral responses, although certain repellency and attraction responses were perceived, respectively. In the feeding guilds, the chewing and sucking insects showed significant responses to the aromatic plants, even when the sucking insects were the only ones repelled (Fig. 6).

Figure 6

4. DISCUSSION

This work supports the fact that a considerable number of aromatic plants evaluated in several experiments, are effective to modify the behavior of the insect community, producing that phytophagous insects respond negatively, and positively the natural enemies (Batista et al., 2017), although the efficiency of repellency and attraction studies varies according to the specific plant-insect interaction system studied.

In our study we found that of the 25 aromatic species analyzed for phytophagous insect repellency, the most effective belong to the families Asteraceae, Lamiaceae and Poaceae. Within the Asteraceae family, *Centaurea cyanus*, *Ageratum houstonianum* and *Artemisia annua* were the species with the greatest effects; it is possible that these responses were produced by compounds such as polyacetylenes and terpenoids, as well as sesquiterpene lactones, phytochemicals that plants use to defend themselves (Kelsey and Shafizadeh, 1980). These phytochemicals are present in greater quantity and more frequently in some of the Asteraceae species, which causes them to exhibit repellent characteristics towards phytophagous insects. The case of *Calendula officinalis* and *Chrisanthemum morifolium* should be taken with carefulness, since although they belong to the same family, they do not show any effect on insects. Previous studies show that some aromatic species have greater repellence ability when they are in flowering as a result of the high concentrations of phytochemicals associated with this stage (Muley et al., 2009; Lin and Harnly, 2010). On the other hand, in the Lamiaceae family, the most repellent species were *Lavandula angustifolia*, *L. pinnata*, *Rosmarinus officinalis* and *Thymus vulgaris*, these species belonging to the subfamily Nepetoideae have been clearly recognized as aromatic plants due to their high concentration of terpenoids that originates an insecticidal effect (Regnault-Roger, 1993; Zhang et al., 2014). Also, within the Poaceae family only *Cymbopogon nardus* had repellent effects. One of the characteristics of this species is that it contains sesquiterpene terpenoids and lactones in such quantities that they can, not only repel, but also kill insect pests (Mahalwal and Ali, 2003). These qualities give this special group attention as a suitable candidate in the establishment of integrated pest management.

Interestingly, when the effects of the aromatic plant species on the natural enemies were analyzed, they all showed a strong attraction tendency but in different dimensions. For example, *Nepeta cataria* and *Saturela hortensis*, despite being quite effective in repelling insects of medical importance such as mosquitoes (Phirmohammadi et al., 2016), did not repel phytophagous insects, although both species possess a large amount of lactones and terpenoids, compounds associated with the attraction of natural enemies (Sakan et al., 1965; Phirmohammadi et al., 2016). In addition, when *Coriandrum sativum* was analyzed it did not

repeled the phytophagous insects but rather surprisingly attracted them and also their natural enemies. Previous reports by Carvalho et al. (2017) show an opposite result to our study, since they found a decrease of the infestation of *Bemisia tabaci* in tomato up to 50% when was intercropped with *C. sativum*. We believe that although the results of the analysis are robust, few studies were included, a situation for which this result should be taken with caution, giving guidelines to investigate more about the effects of *C. sativum* in modifying the behavior of the insect community. On the other hand, we found that *Ocimum x citriodorum*, *O. basilicum*, *Mentha canadensis* and *Tagetes patula* were species that in addition to repelling insect pests, also attracted natural enemies, which makes them plant models to be considered in the biological management and control of pests (Zhang et al., 2016). These effects are based on the fact that they contain compounds such as polyacetylenes, terpenoids, as well as sesquiterpene lactones (Kelsey and Shafizadeh, 1980; Regnault-Roger, 1993; Zhang et al., 2014). These qualities are mostly observed in most of the species evaluated here and that belong to the Lamiaceae and Asteraceae families (Batista et al., 2017; Tang et al., 2012; Wan et al., 2015).

When we analyze the repellent effect of the aromatic plants in the phytophagous insects, we observe that their behavior was determined by their feeding specialization and feeding habits (Szendrei and Rodríguez-Saona, 2009). For example, the monophagous insects did not show any repellent reaction to the presence of the aromatic plants, which could be a result of high feeding specialization and, therefore, the volatile compounds of other plants do not prevent them from finding their natural host (Bruce et al., 2005; Szendrei and Rodríguez-Saona, 2009; Turlings et al., 1998). However, the oligophagous insects were more susceptible to being repelled by volatiles of aromatic plants as result of semi-specialized feeding habits, since by not feeding on a single host, their search ability can be interrupted by the presence of other volatiles, which causes a lack of control and subsequent repellency (Bruce et al., 2005; Turlings et al., 1998). On the other hand, the tendency of the polyphagous insects to be repelled, could be due to the level of feeding specialization that they present, since being insects with a wider range of diet (respect to diverse taxonomic families) and therefore, they do not discriminate easily the VOC's of the aromatic plants, which could produce confusion in the choice of plants from which they feed (Bruce et al., 2005). These results support the theory of the specific odor recognition relationship proposed by Bruce et al. (2005), which establishes that insects find their host depending on the proportion of volatiles emitted by the plant, since they contain the same olfactory receptor neurons (ORN) regardless of the degree of specialization they present; this means that they are capable of perceiving a full range of VOC's. In addition, the degree of specialization allows them to learn to identify and discriminate them depending on their needs through particular blends of VOC's (Bruce et al., 2005; Pask and Ray, 2016).

The analysis in the alimentary habits showed that the use of aromatic plants to repel phytophagous insects was effective only in the sucking insects, that are main members of the group of the insects oligophagous and polyphagous (Bruce et al., 2005). It is possible that these responses are due to the fact that plants that are attacked by sucking insects, emit a lower amount of VOC's into the environment which causes them to be easily masked by the volatiles of the aromatic plants (Meiners, 2015; Turlings et al., 1998). The galling and mining insects did not show any repellency effect towards the aromatic plants. This suggest on the one hand, that the low number of studies affected the direction (positive of negative) of the repellency responses taking in account that results were not robust; and on the other hand,

that the feeding specialization may have played a fundamental role considering that these groups are assessed as monophagous (Jankowska and Wojciechowicz-Zytko, 2016).

5. CONCLUSSION

The present meta-analysis provides relevant information on the general patterns of repellency responses of aromatic plants to pest insects and natural enemies, although it only analyzes 13 articles (406 studies), considers all the scientific publications from 1993 until 2018 in the main search engines for articles focused on the repellence of pest insect. Therefore, these results would serve as a basis to direct future studies of repellency of aromatic plants on pest species and their effect on the community of natural enemies.

Ac

1. REFERENCES

Altieri, M.A., Letourneau, D.K. 1982. Vegetation management and biological control in agroecosystems. Crop. Prot. 1: 405-530. https://doi.org/10.1016/0261-2194(82)90023-0

Andow, D.A., 1982. Plant diversity and insect populations: interactions among beans, weeds and insects. Ph.D., Cornell University, 201 pp.

Batista, M.C., Fonseca, M.C.M., Teodoro, A.V., Martins, E.F., Pallini, A., Venzon. M. 2017. Basil (*Ocimum basilicum* L.) attracts and benefits the green lacewing *Ceraeochrysa cubana* Hagen. Biological Control. 110. 98-106. https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2017.04.013

Beizhou, S., Jie, Z., Jinghui, H., Hongying, W., Yun, K., Yuncong, Y. 2011. Temporal dynamics of the arthtopod community in pear orchards intercropped with aromatic plants. Pest Manag Sci. 67: 1107-1114. DOI 10.1002/ps.2156

Beizhou, S., Jie, Z., Winggins, N.L., Yuncong, Y., Guangbo, T., Xusheng, S. 2012. Intercropping with aromatic plants decreases herbivore abundance, species richness, and shifts arthropod community trophic structure. Environ Entomol. 41(4): 872-879. http://dx.doi.org/10.1603/EN12053

Bleeker, P.M., Diergaarde, P.J., Ament, K., Guerra, J., Weidner, M., et al. 2009. The role of specific tomato volatiles in tomato-whitefly interaction. Plant Physiology. 151: 925–935. https://doi.org/10.1104/pp.109.142661

Bleeker, P.M., Diergaarde, P.J., Ament, K., Schütz, S., Johne B., et al. 2011. Tomato-produced 7-epizingiberene and R-curcumene act as repellents to whiteflies. Phytochemistry. 72: 68–73. https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2010.10.014

Bruce, T.J.A., Wadhams, L.J., Woodcock, C.M. 2005. Insect host location: a volatile situation. Trends in Plant Science. 10(6): 269–274. https://doi.org/10.1016/j.tplants.2005.04.003

Carvalho, M.G., Bortolotto, O.C., Ventura, M.U. 2017. Aromatic plants affect the selection of host tomato plants by *Bemisia tabaci* biotype B. Entomologia Experimentalis et Applicata. 162: 86-92. DOI: 10.1111/eea.12534

De Moraes, C.M., Mescher M.C., Tumlinson, J.H. 2001. Caterpillar-induced nocturnal plant volatiles repel conspecific females. Nature. 410: 577-580. DOI: 10.1038/35069058

Després, L., David, J.-P., Gallet, C. 2007. The evolutionary ecology of insect resistance to plant chemicals. *Trends in Ecology and Evolution*, *22*, 298–307. https://doi.org/10.1016/j.tree.2007.02.010

Dover, J.W. 1986. The effect of labiate herbs and white clover on *Plutella xylostella* oviposition. Entomol Exp Appl. 42: 243-247. DOI: 10.1111/j.1570-7458.1986.tb01029.x

Estell, R.E., James, D.K., Fredrickson, E.L. Anderson, D.M. 2013. Within-plant distribution of volatile compounds on the leaf surface of Flourensia cernua. Biochem. Syst. Ecol. 48, 144-150. https://doi.org/10.1016/j.bse.2012.11.020

Gurevitch, J., Hedgez, L.V. 2001. Meta-analysis: combining results of independent experiments. 347–369 in Barton, K. E., & Koricheva. The ontogeny of plant defense and herbivory: characterizing general patterns using meta-analysis. Am Nat 175:481–493.

Hegde, M., Oliveira, J.N., da Costa, J.G., Loza-Reyes, E., Bleicher, E., Santana, A.E., Caulfield, J.C., Mayon, P., Dewhirst, S.Y. Bruce, T.J. 2012. Aphid antixenosis in cotton is activated by the natural plant defence elicitor cis-jasmone. Phytochemistry. 78: 81-88. DOI: 10.1016/j.phytochem.2012.03.004

Issa, R.B., Gautier H., Gomez L. 2016. Influence of neighbouring companion plants on the performance of aphid populations on sweet pepper plants under greenhouse conditions. Agricultural and Forest Entomology. 19(2): 181-191. https://doi.org/10.1111/afe.12199

Jankowska B., Wojciechowicz-Zytko, E. 2016. Effect of intercropping carrot (*Daucus carota* L.) with two aromatic plants, coriander (*Coriandrum sativum* L.) and summer savory (*Satureja hortensis* L.) on the population density of select carrot pests. Folia Horticulturae. 28(1): 13-18. DOI: 10.1515/fhort-2016-0002

Kelsey R.G., Shafizadeh F. 1980. Glandular trichomes an sesquiterpene lactones of *Artemisia nova* (Asteraceae). Biochemical Systematics and Ecology. 8: 371-377. https://doi.org/10.1016/0305-1978(80)90039-3

Lin, L-Z., Harnly, J.M. 2010. Identification of the phenolic components of chrysanthemum flower (*Chrysanthemum morifolium* Ramat). Food Chemitry. 120. 319-326. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.09.083

Mahalwal, V.S., Ali, M. 2003. Volatile constituents of Cymbopogon nardus (Linn.) Rendle. Flavour and Fragance Journal. 18: 73-76. https://doi.org/10.1002/ffj.1144

Meiners T. 2015. Chemical ecology and evolution of plant–insect interactions: a multitrophic perspective. Curr Opin Insect Sci 8:22–28 https://doi.org/10.1016/j.cois.2015.02.003

Monsreal-Ceballos, R.J, Ruiz-Sánchez, E., Ballina-Gómez, HS., Reyes-Ramírez, A., González-Moreno, A. 2018. Effects of botanical insecticides on hymenopteran parasitoids: a Meta-analysis approach. Neotropical entomology. 42(4) https://doi.org/10.1007/s13744-017-0580-5

Moreno, C.R. and Racelis, A.E. 2015. Attraction, repellence, and predation: role of companion plants in regulating *Myzus persicae* (Sulzer) (Hemiptera: Aphidae) in organic kale systems of south Texas. Southwestern entomologist. 40(1): 1-14. http://dx.doi.org/10.3958/059.040.0101

Mound, L.A. 1962. Studies on the olfaction and colour sensitivity of *Bemisia tabaci* (Genn.) (Homoptera, Aleyrodidae). Entomologia Experimentalis et Applicata 5: 99–104. https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.1962.tb00571.x

Muley, B.P., Khadadadi, S.S., Banarase, N.B. 2009. Phytochemical constituents and pharmacological activities of *Calendula officinalis* Linn (Asteraceae): A review. Tropical Journal of Pharmaceutical Research. 8(5): 455-465. http://dx.doi.org/10.4314/tjpr.v8i5.48090

Pask, G.M., Ray A. 2016. Insect Olfactory Receptors: An interface between chemistry and biology.101-122 in Zufall, F., Munger, S. (Edithors) Chemosensory Transduction. USA. 430 pp. **eBook ISBN:** 9780128017869

Perrin, R.M., 1980. The role of environmental diversity in crop protection. Prot. Ecol., 2: 77-114.

Pirmohammadi, M., Shayeghi, M., Vatandoost, H., Abaei, M.R., Mohammadi, A., Bagheri, A., Khoobdel, M., Bkhshi, H., Primohammadi, M., Tavassoli, M. 2016. Chemical composition and repellent activity of *Achillea vermiculata* an *Satureja hortensis* against *Anopheles stephensi*. J. Arthropod-Borne Dis. 10(2): 201-210. PMID: 27308278

Randlkofer, B., Obermaier, E., Hilker, M. Meiners, T. 2010. Vegetation complexity – The influence of plant species diversity and plant structures on plant chemical complexity and arthropods. Basic and Applied Ecology. 11. 383-395. https://doi.org/10.1016/j.baae.2010.03.003

Regnault-Roger, C. Hamraoui A. 1993. Efficiency of plants from the south of France used as traditional protectants of *Phaseolus vulgaris* L. against its bruchid *Acanthoscelides obtectus* (Say). J.Stored Prod.Res. 29(3): 259-264 https://doi.org/10.1016/0022-474X(93)90008-R

Root, R.B. 1973. Organization of a plant-arthropod association in simple and diverse habitats: The fauna of collards (*Brassica oleracea*). *Ecological Monographs*, *43*, 95–120. https://doi.org/10.2307/1942161

Rosenberg, M.S. 2005. The file-drawer problem revisited: a general weighted method for calculating fail-safe numbers in meta-analysis. Evolution 59(2):464–468. https://doi.org/10.1111/j.0014-3820.2005.tb01004.x

Rosenberg, M.S., Adams, D.C. Gurevitch, J. 2002. MetaWin: statistical software for meta-analysis. Version 2.1. Sinauer, Sunderland.

Rosenthal, R. 1979. The file drawer problem and tolerance for null results. Psychcol Bull 86(3): 638–641. http://dx.doi.org/10.1037/0033-2909.86.3.638

Sakan, T., Isoe, S., Hyeon, S.B., Katsumura, R. Maeda, T. 1965. The exact nature of matatabilactone and the terpenes of nepeta cataria. Tetrahedron Lettera. 46: 4097-4102. https://doi.org/10.1016/S0040-4039(01)99572-3

Sun, H., Zhang, F., Chen, S., Guan, Z., Jiang, J., Fang W., Chen, F. 2015. Effects oh aphid herbivory on volatile organic compounds of Artemisia annua and Chrysanthemum morifolium. Biochemical Systematics and Ecology. 60: 225-233. https://doi.org/10.1016/j.bse.2015.04.023

Szendrei, Z., Rodríguez-Saona, C. 2009. A meta-analysis of insect pest behavioral manipulation with plant volatiles. Entolomogia Experimentalis et Applicata. 134: 201-210. https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.2009.00954.x

Tang, G.B., Song, B.Z., Zhao, L.L., Sang, X.S., Wan, H.H., Zhang, J., Yao, Y.C. 2012. Repellent and attractive effects of herbs on insects in pear orchards intercropped with aromatic plants. Agroforest syst. 87: 27.-285. https://doi.org/10.1007/s10457-012-9544-2

Turlings, T.C.J., Bernasconi, M., Bertossa, R., Bigler, F., Caloz, G., Dorn, S. 1998. The induction of volatile emissions in maize by three herbivore species with different feeding habits: possible consequences for their natural enemies. Biological Control 11: 122–129. https://doi.org/10.1006/bcon.1997.0591

Vaishampayan, S.M., Waldbauer, G.P., Kogan, M. 1975. Visual and olfactory responses in orientation to plants by the greenhouse whitefly, *Trialeurodes vaporariorum* (Homoptera: Aleyrodidae). Entomologia Experimentalis et Applicata. 18: 412–422. https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.1975.tb00418.x

Wan, H.H., Song, B.Z., Tang G.B., Zhang, J., Yao, Y.C. 2015. What are the effects of aromatic plants and meteorological factor son Pseudococcus comstocki and its predators in pear orchards? Agroforest syst. 89(3) https://doi.org/10.1007/s10457-015-9789-7

Zhang, Z., Luo, Z., Gao, Y., Bian, L., Sun, X., Chen, Z. 2014. Volatiles from non-host aromatic plants repel tea green leafhopper *Empoasca vitis*. Entomologia Experimentalis et Applicata. 153: 156–169. https://doi.org/10.1111/eea.12236

Zhang, Z., Sun, X., Xin, Z., Luo, Z., Gao, Y., Bian, L., Chen, Z. 2013. Identification and field evaluation of non-host volatiles disturbing host location by the tea geometrid, *Ectropis obliqua*. J Chem Ecol. 39(10): 1284-1296. DOI 10.1007/s10886-013-0344-6

Zhang, Z., Zhou, C., Xu, Y., Huang, X., Zhang, L., Mu, W. 2016. Effects of intercropping tea with aromatic plants on population dynamics of arthropods in Chinese tea plantations. J Pest Sci. 90(1): 227-237. https://doi.org/10.1007/s10340-016-0783-2

Table 5. Review of published studies testing the effect of aromatic plants on phytophagous and natural-enemies.

Article	Author	Year	Technique	Number of studies	
				Phytophagous	**Natural enemies**
1	Sun et al.	2015	Olfactometer	10	
2	Regnault-Roger and Hamraoui	1993	Petri dish	12	
3	Beizhou et al.	2011	Intercropping	3	3
4	Beizhou et al.	2012	Intercropping	24	48
5	Carvalho et al.	2017	Olfactometer	14	
6	Issa et al.	2016	Intercropping	24	
7	Zhang et al.	2016	Intercropping	48	
8	Zhang et al.	2014	Intercropping	15	5
9	Zheng et al.	2013	Intercropping	20	
10	Wan et al.	2015	Intercropping	8	48
11	Tang et al.	2012	Intercropping	32	32
12	Jakowska et al.	2016	Intercropping	30	12
13	Moreno y Racelis	2015	Intercropping	4	14

Table 6. Heterogeneity statistics for each model in the repellence in phytophagous and natural enemies frequency analysis.

	Phytophagous			Natural enemies		
	df	Q_B	*P*	df	Q_B	*P*
Full Model	243	3023.8	<0.0001	161	343.9	<0.0001
$A_{romatic}$ P_{lant} Species	24	682.2	<0.0001	10	46.8	<0.0001
$A_{romatic}$ P_{lant} Families	6	260.4	<0.0001	2	20.8	<0.0001

df, degrees of freedom; Q_B, variation in effect size explained by the model.

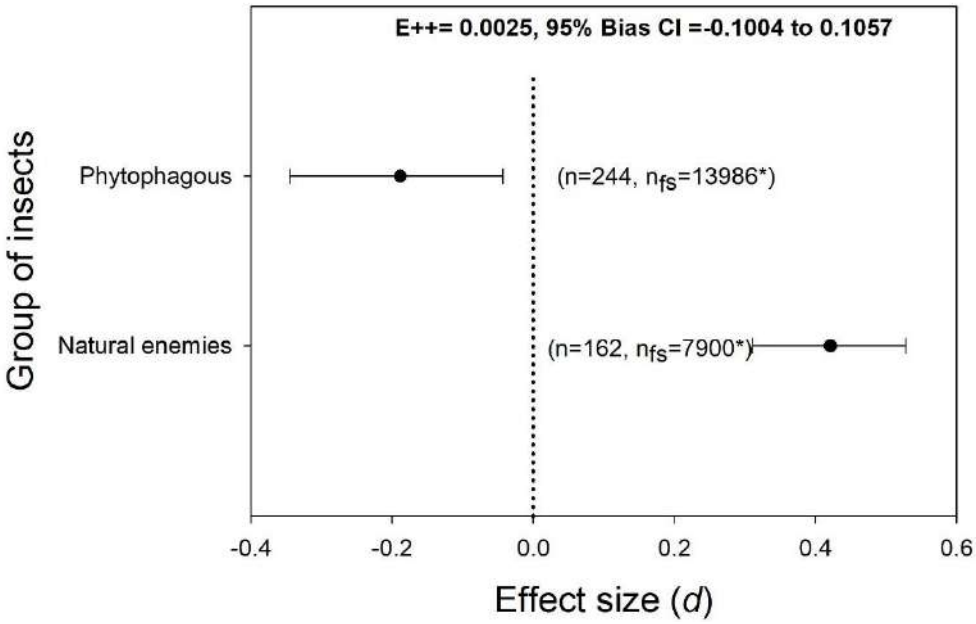


Figure 1. Effect size (average and 95% confidence interval) of the aromatic plants on phytophagous and natural enemies. Effect sizes were considered significant if the 95% confidence intervals did not overlap with zero and within the analyzes were considered different from each other if their 95% confidence intervals did not overlap. n: sample size; n_{fs}: security number; * indicates statistical robustness of n_{fs}. The mean effect size (E ++) and the CI of the 95% bias for all the response variables.

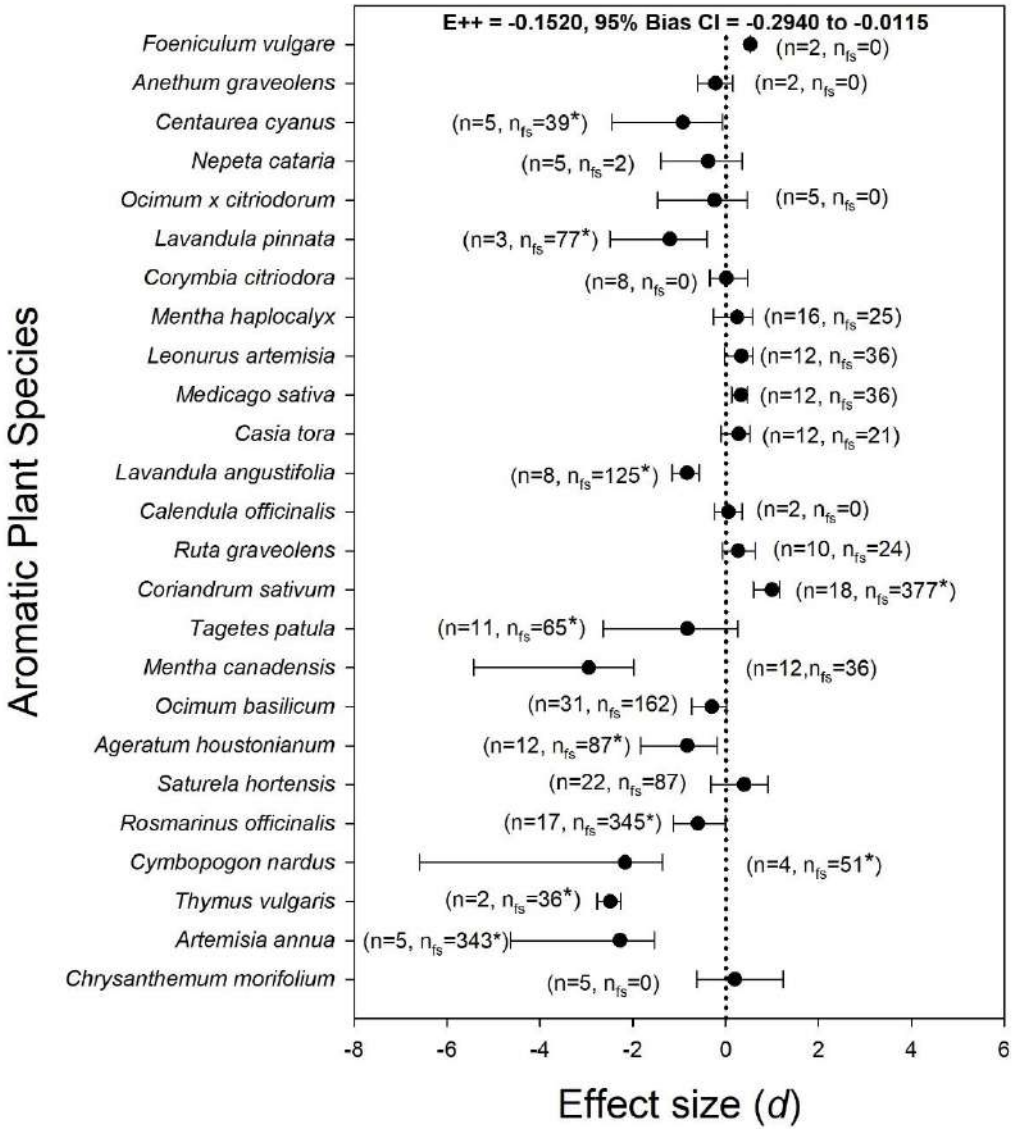


Figure 2. Effect size of the repellence (mean and 95% confidence interval) of the species of aromatic plants on insect phytophagous. Effect sizes were considered significant if the 95% confidence intervals did not overlap with zero. The sizes of the effects within the analyzes were considered different from each other if their 95% confidence intervals did not overlap. n: sample size; n_{fs}: security number; * indicates statistical robustness of n_{fs}. The mean effect size (E ++) and the CI of the 95% bias for all the response variables.

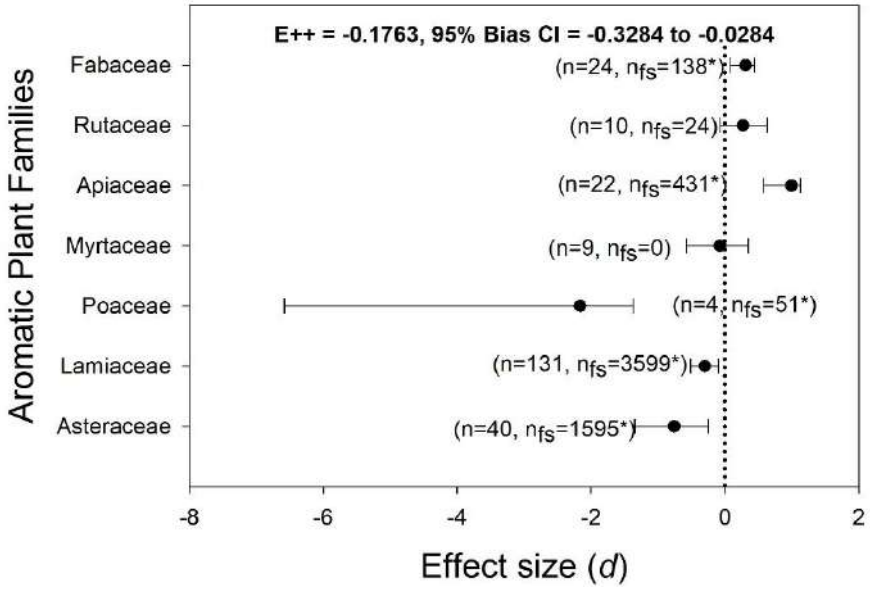


Figure 3. Effect size of the repellency of the aromatic plant families on insect phytophagous (mean and 95% confidence interval). Effect sizes were considered significant if the 95% confidence intervals did not overlap with zero and within the analyzes were considered different from each other if their 95% confidence intervals did not overlap. n: sample size; n_{fs}: security number; * indicates statistical robustness of n_{fs}. The mean effect size (E ++) and the CI of the 95% bias for all the response variables.

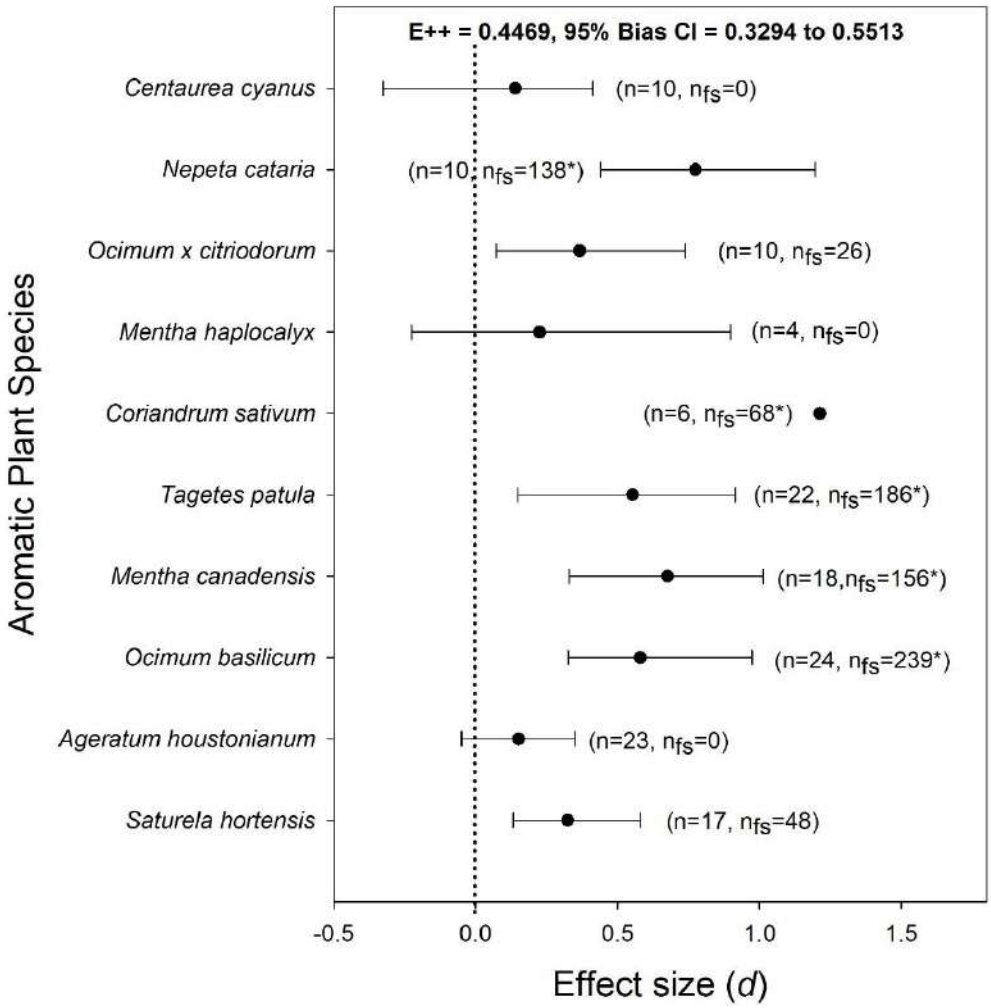


Figure 4. Effect size of the attraction of natural enemies toward aromatic plants species (average and 95% confidence interval). Effect sizes were considered significant if the 95% confidence intervals did not overlap with zero and within the analyzes were considered different from each other if their 95% confidence intervals did not overlap. n: sample size; n_{fs}: security number; * indicates statistical robustness of n_{fs}. The mean effect size (E ++) and the CI of the 95% bias for all the response variables.

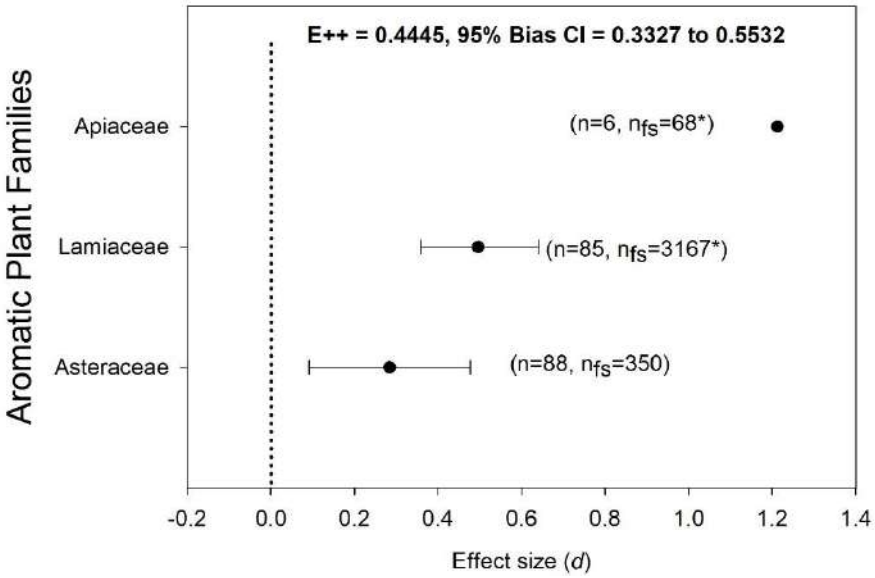


Figure 5. Effect size of the attraction of natural enemies toward aromatic plants families (average and 95% confidence interval). Effect sizes were considered significant if the 95% confidence intervals did not overlap with zero and within the analyzes were considered different from each other if their 95% confidence intervals did not overlap. n: sample size; n_{fs}: security number; * indicates statistical robustness of n_{fs}. The mean effect size (E ++) and the CI of the 95% bias for all the response variables.

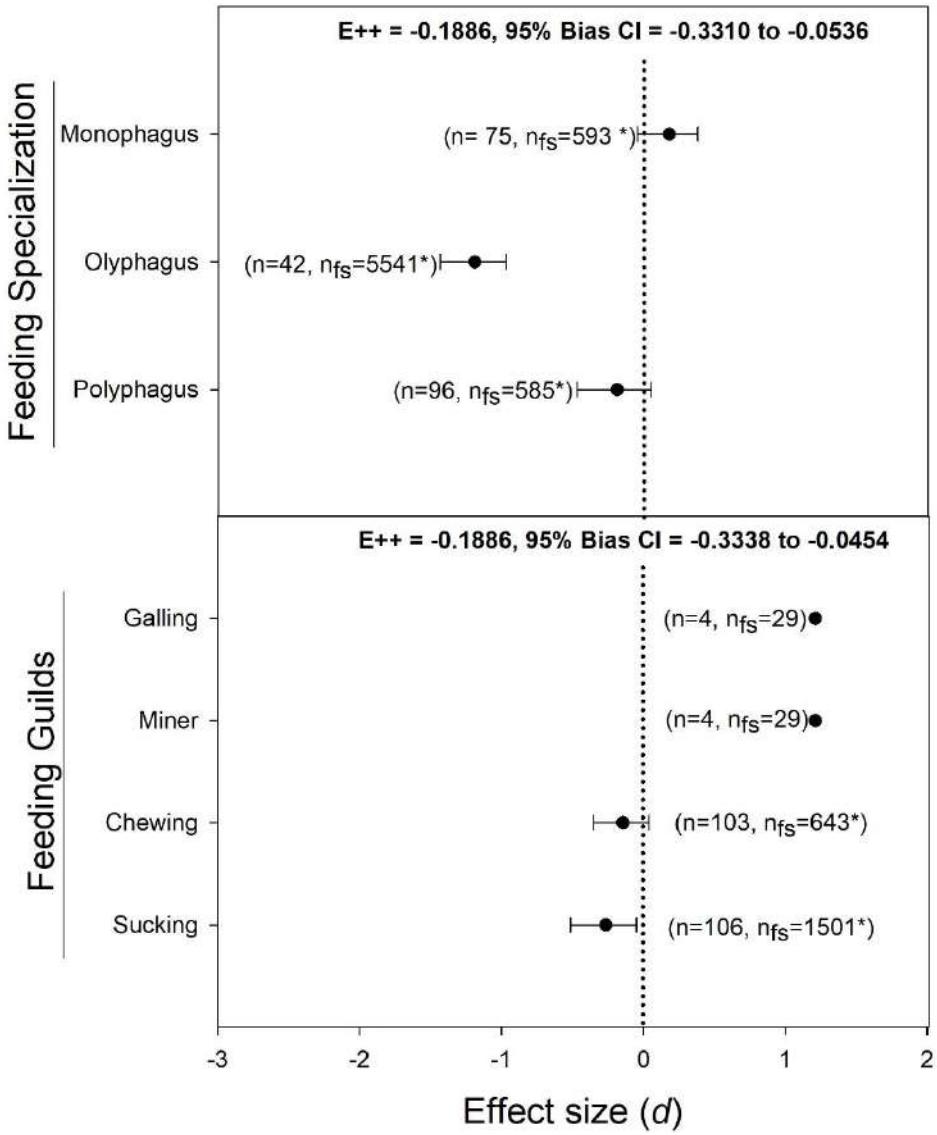


Figure 6. Effects size of the repellency of aromatic plants on phytophagous insects depending on their grouping by diet or type of diet they present (average and 95% confidence interval). Effect sizes were considered significant if the 95% confidence intervals did not overlap with zero and within the analyzes were considered different from each other if their 95% confidence intervals did not overlap. n: sample size; n_{fs}: security number; * indicates statistical robustness of n_{fs}. The mean effect size (E ++) and the CI of the 95% bias for all the response variables.

CAPÍTULO 3.

EFECTO DE PLANTAS AROMÁTICAS EN LA REPELENCIA DE *Bemisia tabaci* Genn EN TOMATE

Angel Manuel Herrera-Gorocica[1], Horacio S. Ballina-Gómez[1], Guadalupe Reyes-Solís[2] y Esaú Ruíz-Sánchez[1]

[1]División de Estudios de Posgrado e Investigación, Instituto Tecnológico de Conkal, Tecnológico Nacional de México. 97345. Conkal, Yucatán, México. [2]Centro de Investigaciones Regionales Dr. Hideyo Noguchi, Universidad Autónoma de Yucatán. 97000. Mérida, Yucatán, México.

3.1 RESUMEN

Desde hace varias décadas se sugirió que el olor de las plantas es un determinante para que *Bemisia tabaci* elija su hospedera. A partir de entonces varios estudios han demostrado que además del atractivo visual, el olfato es fundamental para tal selección. Por lo tanto, el objetivo de éste trabajo fue evaluar el efecto repelente de las plantas aromáticas en individuos adultos de *B. tabaci* en laboratorio y campo. De las 18 especies evaluadas en laboratorio por medio de un olfatómetro, sobresalieron como repelentes a adultos de mosquita blanca, lavanda, paiché, perejil y tomillo que posteriormente se evaluaron como cultivo intercalado en campo, donde los efectos repelentes de las plantas aromáticas fueron notorios en la alteración de la oviposición y posterior crecimiento de ninfas de la mosquita blanca. Las especies más sobresalientes en este trabajo fueron tomillo y lavanda. Es importante notar que también en las plantas de tomate intercaladas con perejil la población de ninfas disminuyó significativamente. El único tratamiento que disminuyó significativamente la incidencia de virosis en tomate fue lavanda.

3.1.1 Abstract

For several decades it has been suggested that the smell of plants is a determining factor for *Bemisia tabaci* to choose its host. Since then several studies have shown that in addition to visual appeal, smell is essential for such selection. Therefore, the objective of this work was to evaluate the repellent effect of aromatic plants in adult *B. tabaci* individuals in laboratory

and field. Of the 18 species evaluated in the laboratory by means of an olfactometer, they excelled as repellents to adults of whitefly, lavender, paiché, parsley and thyme that were later evaluated as intercropping in the field, where the repellent effects of the aromatic plants were notorious in the alteration of the oviposition and subsequent growth of whitefly nymphs. The most outstanding species in this work were thyme and lavender. It is important to note that also in the tomato plants interspersed with parsley the population of nymphs decreased significantly. The only treatment that significantly decreased the incidence of virosis in tomatoes was lavender.

3.2 INTRODUCCIÓN

En México se cultiva una gran cantidad de variedades de tomate, principalmente el saladette, el cherry, el bola, el río grande para exportación (Van Haeff, et al., 2012). Alcanzando una producción en el 2018 de 3,267,350 ton en 47,200 ha (SIAP, 2019). Una de las limitantes en la producción de tomate es la incidencia de la mosquita blanca *Bemisia tabaci* Genn. (Hemiptera: Aleyrodidae), que no sólo se alimenta de la savia de las plantas, sino que transmite de manera eficiente más de 100 virus del grupo begomovirus (Jones, 2003; Abd-Rabou y Simmons, 2010). Esta plaga se distribuye a nivel mundial y se distingue típicamente por su amplio rango de hospederos, alta fecundidad, amplia dispersión, y alta capacidad de transmisión de virus (Brown, 2010; Stansly y Naranjo, 2010). Se caracteriza por un rango de huéspedes notablemente amplio, un alto potencial reproductivo y la capacidad de inducir trastornos fisiológicos en las plantas y desarrollar resistencia a los insecticidas químicos (Costa y Brown, 1990; Prabhaker et al., 1999).

Desde hace varias décadas se sugiere que el olor de las plantas es un determinante para que *B. tabaci* elija su hospedera (Mound, 1962; Vaishampayan et al., 1975). A partir de entonces varios estudios han demostrado que además del atractivo visual, el olfato es fundamental para tal selección (Bleeker et al., 2009; Bleeker et al., 2011; Tsueda et al., 2014). También se demostró que la liberación de volátiles de múltiples plantas hospederas disminuyen la alimentación de especies de Aleyrodidae en plantas de tomate (Bruce, et al. 2005; Tosh y Brogan, 2015; Turlings et al., 1998). El intercalado con plantas hospederas no preferidas que afecta la capacidad de la plaga para discriminar entre los volátiles puede ser una herramienta para reducir el daño al cultivo principal (Cook et al., 2007). Para el caso del

cultivo del tomate intercalado con *Arachis pintoi*, *Drymaria cordata* y *Coriandrum sativum* redujeron el número de adultos de *B. tabaci*, retrasaron la aparición del virus moteado amarillo del tomate (ToyMov), disminuyeron la gravedad de la enfermedad y mejoraron los rendimientos en comparación con el tomate solo en experimentos de campo en Costa Rica (Hilje y Stansly, 2008).

Por lo tanto, el objetivo de éste trabajo fue evaluar el efecto repelente de las plantas aromáticas en individuos adultos de *B. tabaci* a través de bioensayos de laboratorio por medio de un olfactómetro, para posteriormente evaluar el efecto repelente de las más efectivas sobre huevos, ninfas y adultos de *B. tabaci*, a través de un cultivo intercalado de tomate bajo condiciones de campo.

3.3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.3.1 Sitio de estudios y obtención de plantas aromáticas

El estudio de laboratorio de llevó a cabo en el Instituto Tecnológico de Conkal y el de campo en la comunidad Chenché de las Torres, comisaría del municipio de Temax. Las plantas aromáticas fueron sembradas en bolsas plásticas de 2 L y cultivadas en invernadero. Las plantas aromáticas a evaluar se describen en el cuadro 1. En la elección de las plantas aromáticas se tomaron en cuenta la disponibilidad local de semillas y plantas, así como su capacidad para crecer y reproducirse en la región. El manejo nutricional fue el mismo que el de la agricultura regional.

Cuadro 7. Lista de especies aromáticas estudiadas con sus claves de identificación.

Nombre científico	Nombre común	Clave
Thymus vulgaris L.	Tomillo	TM
Allium schoenoprasum L.	Cebollina	CB
Plectranthus amboinicus Lour.	Oreganón	ON
Ocimum basilicum minimum L.	Albahaca de hoja chica	ALHC
Lavandula angustifolia Mill.	Lavanda	LV

Pelargonium citrosum Van.	Citronela	CN
Rosmarinus officinalis L.	Romero	RM
Ocimum micranthum Willd.	Xkakaltún	XK
Dysphania ambrosioides L.	Epazote	EP
Ruta graveolens L.	Ruda	RD
Melissa officinalis L.	Toronjil	TJ
Coriandrum sativum L.	Cilantro	CL
Lippia graveolens Kunth.	Orégano mexicano	ORM
Petiveria alliacea L.	Paiché	PY
Mentha spicata L.	Hierbabuena	HB
Azadirachta indica A. Juss.	Neem	NM
Cymbopongon citratus DC.	Zacate limón	ZL
Petroselinum crispum Mill.	Perejil	PJ

3.3.2 Evaluación de repelencia en olfatómetro

Para obtener las muestras de follaje se utilizaron plantas de tomate de 40 días y plantas aromáticas (PA) adultas establecidas en bolsas plásticas de 2 L. Los ejemplares de *B. tabaci* usados en los experimentos se obtuvieron de una colonia establecida en un invernadero del área de producción hortícola del Instituto.

Para comparar las respuestas de los insectos adultos a las plantas de tomate y a la combinación plantas de tomate + plantas aromáticas, se establecieron dos ensayos: 1) atracción a aire humidificado contra atracción a plantas de tomate y atracción a la combinación de plantas de tomate + aromáticas. 2) atracción a plantas de tomate contra atracción a la combinación de plantas de tomate + aromáticas.

Los experimentos se llevaron a cabo en un olfatómetro de dos brazos de polietileno de alta densidad de 26 × 26 × 2,5 cm con una tapa transparente de polimetilmetacrilato. El olfatómetro consistía de tres partes: una base con salida de aire, una cámara intermedia para caminar (3 cm de altura) con cuatro entradas de aire y una tapa (1.5 cm de espesor). Un

orificio circular central de 8 mm en la base de la cámara para caminar permitió la liberación de insectos (Shao-Jian, 2014). Un frasco que contenía carbón activado y un matraz Erlenmeyer lleno de agua se introdujeron en la trayectoria de una manguera de aire delante de dos entradas con las fuentes de olor (tubos de vidrio de 50 ml). Se acopló una bomba de aire al principio de cada componente por brazo utilizado, para expulsar aire a 8 ft^3/s regulado con un caudalímetro, creando campos iguales en la cámara para caminar. En uno de los tubos de vidrio se colocó cuatro gramos de hojas frescas trituradas de las plantas que correspondía a cada tratamiento y el otro se dejó vacío, con el aire humidificado circulando. Se colocaron mosquitas adultas en un vial de vidrio de 5 ml en el extremo del brazo de entrada a la cámara. El material vegetal se cambió entre los ensayos. El experimento se replicó 5 veces usando 20 adultos no sexuados que se introdujeron al mismo tiempo en cada repetición. El flujo de aire se mantuvo durante 5 minutos para llevar el olor y después se apagó durante 2 min, lo que permitió a los insectos moverse hacia su estimulo preferido. Los insectos responsivos fueron aquellos que cruzaron los trazos marcados por brazo que contenía el estímulo olfatorio elegido (Shao-Jian, 2014). Insectos que no respondieron (es decir, aquellos que permanecieron inmóviles o no alcanzaron a cruzar el área marcada del brazo en 2 minutos) fueron descartados. El procedimiento se repitió con nuevos insectos hasta completar 20 individuos por muestra. Después de cada ensayo, el olfatómetro y las cámaras se limpiaron colocando un algodón impregnado con acetona al centro, y encendiendo las bombas para que circule por todos los brazos y elimine los volátiles de la muestra anterior. Posteriormente se lavaron los tubos de ensayo y frascos de los extremos con agua destilada y acetona. En el segundo bioensayo, se probó la atracción a plantas de tomate contra la combinación de plantas de tomate + aromáticas, bajo las mismas condiciones experimentales que el primer ensayo (Carvalho, *et al.*, 2017).

3.3.4 Evaluación de la densidad poblacional de *B. tabaci* en campo

En el mes de julio del 2018 se limpió por medio de roza, tumba y quema el área y posteriormente se instaló el sistema de riego. Se abonó el suelo con 5 kg de bocashi por metro lineal.

Plántulas de tomate de 28 días fueron trasplantadas en filas intercaladas con cada una de las cuatro especies aromáticas: *Lavandula angustifolia* (Lavanda), *Petiveria alliacea*

(Paiché), *Petroselinum crispum* (Perejil) y *Thymus vulgaris* (Tomillo). Las plantas se establecieron en líneas con separación de 1 m entre ellas, y dentro de la fila las plantas estuvieron separadas a 0. 3 m para tomate y 0.7 m para aromáticas. El experimento se estableció bajo un diseño en bloques completos al azar con tres repeticiones. Los bloques estaban separados entre ellos por una franja de 4 m. Las parcelas consistieron de 3 m x 3 m y contenían tres filas de tomate y cuatro filas de aromáticas. En las parcelas control sólo se establecieron plantas de tomate.

A los siete días después del trasplante, se hizo una única aplicación de Imidacloprid (Confidor, 3 mL L^{-1}) al cuello de la planta para asegurar protección del cultivo los primeros 10 días posteriores al establecimiento. A los 14 días de trasplante se hizo la primera evaluación, misma que se repitió cada 14 días hasta el inicio de cosecha. Para la evaluación se eligieron las tres plantas de tomate centrales de cada línea de cada parcela. Se contabilizaron los insectos adultos a simple vista en la superficie abaxial de la hoja del tercio medio de cada planta. Posteriormente se colectaron las hojas muestreadas para contabilizar en laboratorio el número de huevos y ninfas por cm^2.

3.3.5 Evaluación de incidencia y severidad de virosis

Se contabilizó el número de plantas que presentaba síntomas de la presencia de Begomovirus, así como el grado de afectación usando la escala categórica de cinco niveles, modificada de Ballina et al. (2013). También se tomaron dos muestras de plantas enfermas con síntomas típicos de Begomovirus para confirmar presencia de estos agentes patógenos mediante pruebas de análisis molecular.

3.3.6 Análisis de datos

Se realizó una prueba X^2 con R studio para analizar los datos de olfatometría y un índice de repelencia para comparar los tratamientos (Kogan y Goeden, 1970): IR = 2G / (G + P), donde G es el número de insectos en el tratamiento, y P es el número de insectos en el control. Los valores de IR variaron de 0 a 2: IR = 1: neutro (la fuente de olor es indiferente); IR> 1: atrayente (la fuente de olor es atractiva), y IR <1: repelente. Los intervalos de confianza (IC del 95%) se calcularon para los valores de IR (respuesta de nulidad = 1). Para

los datos de campo se realizaron los análisis con modelos lineales generalizados dónde se eligió la familia y función de enlace específico para cada variable. Para las variables “número de huevos por cm^2”, “número de ninfas por hoja” y “número de adultos por hoja” se utilizó la familia Gaussiana con función enlace de Identidad; para las variables “incidencia” y “severidad” se utilizó la familia Poisson con función enlace log. Para todos los análisis se utilizó el software Infostat.

3.4 RESULTADOS

3.4.1 Evaluación de atracción en olfatómetro

Se observó que la atracción de *B. tabaci* al tomate fue mayor que al aire humidificado. Sin embargo, se observó variación significativa cuando se comparó la atracción de *B. tabaci* al tomate + plantas aromáticas contra el aire humidificado. En este caso varios tratamientos resultaron repelentes para los insectos, al presentar un índice de repelencia menor a 1 (Cuadro 2), sobresaliendo como repelente lavanda, paiché, perejil y tomillo (Figura 1).

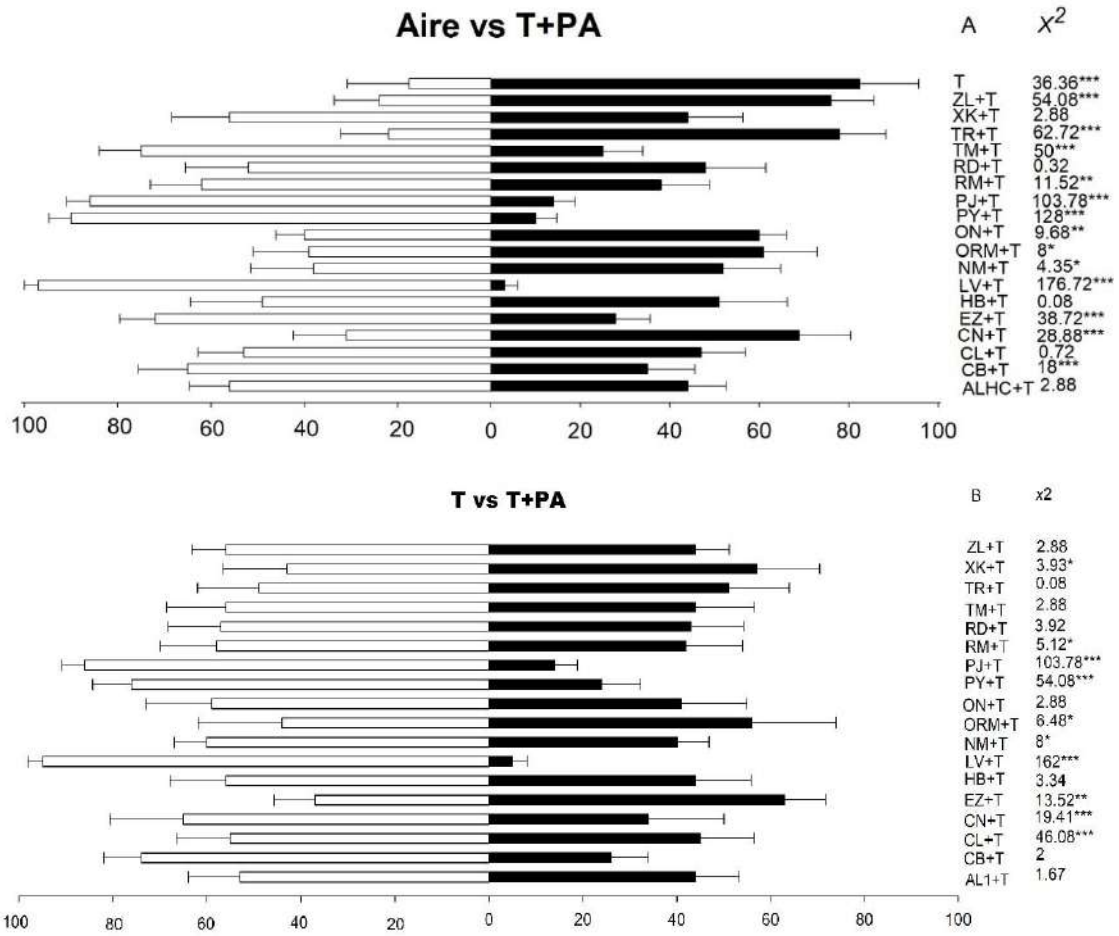


Figura 2. Respuestas de *Bemisia tabaci* (% promedio de insectos + EE) al tomate + plantas aromáticas (T + PA) relativo al aire humidificado, así como al tomate (T) contra el tomate + plantas aromáticas (T + PA). Las pruebas se realizaron en un olfatómetro en el laboratorio. Pruebas de X2: * <0.001.**

Al comparar la atracción de *B. tabaci* al tomate contra tomate + aromáticas, se mantuvo la misma tendencia, lavanda, paiché y perejil fueron los que resultaron con mayor efecto repelente y los índices de repelencia más bajos (Cuadro 2), y con los porcentajes medios de adultos más bajos (Figura 1).

Cuadro 8. Índice de repelencia (IR) de las plantas aromáticas en cada tratamiento agrupadas por bioensayo en olfatómetro con un intervalo de confianza (IC) del 95%.

Especie aromática	Aire vs T+PA		T vs T+PA	
	IR	IC (95%)	IR	IC (95%)
Tomillo (TM)	0.5	3.3^-3 - 1	0.88	0.18 - 1.58
Cebollina (CB)	0.7	0.11 - 1.29	0.52	0.08 - 0.96
Oreganón ON	1.2	0.86 - 1.54	0.82	0.05 - 1.59
Albahaca de hoja chica (ALHC)	0.88	0.4 - 1.36	0.91	0.35 - 1.5
Lavanda (LV)	0.06	-0.11 - 0.23	0.1	-0.08 - 0.28
Citronela (CN)	1.38	0.75 - 2.01	0.68	-0.21 - 1.57
Romero (RM)	0.76	0.15 - 1.37	0.84	0.17 - 1.51
Xkakaltún (XK)	0.88	0.19 - 1.57	1.14	0.39 - 1.89
Epazote (EP)	0.56	0.14 - 0.98	1.26	0.77 - 1.75
Ruda (RD)	0.96	0.21 - 1.71	0.86	0.24 - 1.48
Toronjil (TJ)	1.56	0.99 - 2.13	1.02	0.3 - 1.74
Cilantro (CL)	0.94	0.39 - 1.49	0.9	0.26 - 1.54
Orégano mexicano (ORM)	1.22	0.55 - 1.89	1.12	0.13 - 2.11
Paiché (PY)	0.2	-0.06 - 0.46	0.48	0.02 - 0.94
Hierbabuena (HB)	1.02	0.17 - 1.87	0.88	0.22 - 1.54
Neem (NM)	1.156	0.49 - 1.87	0.8	0.42 - 1.18
Zacate limón(ZL)	1.52	0.98 - 2.06	0.88	0.48 - 1.28
Perejil (PJ)	0.28	0.01 - 0.55	0.28	0.01 - 0.55

3.4.2 Densidad de población de *B. tabaci* en campo

En el cultivo de tomate intercalado con plantas aromáticas no se encontró diferencia significativa en la densidad poblacional de adultos de *B. tabaci* entre los tratamientos y el control, sin embargo, las especies aromáticas que mantuvieron la tendencia a reducir la densidad poblacional fueron lavanda y perejil. Esto solo fue notorio en el día 56 después del trasplante (Cuadro 3).

Cuadro 3. Número promedio de adultos de mosquita blanca por hoja de tomate en cultivos intercalados con lavanda, paiché, perejil y tomillo en 14-70 días después del trasplante en campo.

Tratamiento	Días después del trasplante					
	14	28	42	56	70	Promedio
Control	0.11 ± 0.12a	0.19 ± 0.12b	0.31 ± 0.12a	0.53 ± 0.12a	0.67 ± 0.12a	0.36 ± 0.05a
Lavanda	0.11 ± 0.14a	0.52 ± 0.14a	0.19 ± 0.14a	0.37 ± 0.14b	0.48 ± 0.14a	0.33 ± 0.06a
Paiché	0.07 ± 0.14a	0.56 ± 0.14a	0.26 ± 0.14a	0.48 ± 0.14a	0.63 ± 0.14a	0.4 ± 0.06a
Perejil	0.11 ± 0.14a	0.44 ± 0.14a	0.19 ± 0.14a	0.44 ± 0.14b	0.41 ± 0.14a	0.32 ± 0.06a
Tomillo	0 ± 0.17a	0.44 ± 0.17a	0.28 ± 0.17a	0.78 ± 0.17a	0.44 ± 0.17a	0.39 ± 0.07a

Por otro lado, todas las plantas aromáticas lograron disminuir la oviposición de *B. tabaci* en hojas de tomate con respecto al control. La diminución en la densidad poblacional de ninfas sólo fue significativa en plantas de tomate intercaladas con lavanda y con tomillo ($P<0.05$) (Cuadro 4).

Cuadro 4. Número promedio de huevos de mosquita blanca por cm^2 de hojas tomate en cultivos intercalados con lavanda, paiché, perejil y tomillo en 14-70 días después del trasplante en campo.

Tratamiento	Días después del trasplante					
	14	28	42	56	70	Promedio
Control	0.09 ± 0.06a	0.32 ± 0.06a	0.06 ± 0.06[a]	0.26 ± 0.06a	0.13 ± 0.06a	0.17 + 0.03a
Lavanda	0.06 ± 0.06a	0.2 ± 0.06a	0.06 ± 0.06[a]	0.06 ± 0.06b	0.06 ± 0.06a	0.09 + 0.03b
Paiché	0.07 ± 0.06a	0.2 ± 0.06a	0.1 ± 0.06[a]	0.17 ± 0.06ab	0.16 ± 0.06a	0.14 + 0.03ab
Perejil	0.07 ± 0.06a	0.21 ± 0.06a	0.09 ± 0.06[a]	0.1 ± 0.06b	0.12 ± 0.06a	0.12 + 0.03ab
Tomillo	0.05 ± 0.08a	0.19 ± 0.08a	0.15 ± 0.08[a]	0.02 ± 0.08b	0.09 ± 0.08a	0.10 + 0.03b

Un patrón similar se presentó al evaluar la densidad poblacional de ninfas (número de ninfas por cm^2). En la evaluación al día 28 después del trasplante, la densidad poblacional de ninfas en hojas de tomate intercaladas fue menor que en los demás tratamientos. Al día 70 después del trasplante, se observó menor densidad poblacional de ninfas en plantas de tomate intercaladas con perejil y tomillo ($P<0.05$). En el promedio general, la densidad poblacional de ninfas fue menor en las plantas de tomate intercaladas con lavanda, perejil y tomillo ($P<0.05$) (Cuadro 5).

Cuadro 5. Número promedio de ninfas de mosquita blanca por cm^2 de hojas tomate en cultivos intercalados con lavanda, paiché, perejil y tomillo en 14-70 días después del trasplante en campo.

Tratamiento	Días después del trasplante					
	14	28	42	56	70	Promedio
Control	0.06 ± 0.04a	0.07 ± 0.04a	0.06 ± 0.04a	0.11 ± 0.04a	0.19 ± 0.04a	0.1 ± 0.02ab
Lavanda	0.05 ± 0.04a	0 ± 0.04b	0.05 ± 0.04a	0.14 ± 0.04a	0.19 ± 0.04a	0.08 ± 0.02b
Paiché	0.04 ± 0.04a	0.07 ± 0.04a	0.06 ± 0.04a	0.09 ± 0.04a	0.25 ± 0.04a	0.1 ± 0.02ab
Perejil	0.02 ± 0.04a	0.11 ± 0.04a	0.02 ± 0.04a	0.1 ± 0.04a	0.12 ± 0.04b	0.08 ± 0.02b
Tomillo	0.06 ± 0.05a	0.02 ± 0.05ab	0.06 ± 0.05a	0.09 ± 0.05a	0.15 ± 0.05b	0.07 ± 0.02b

3.4.5 Virosis del tomate

En general, la incidencia y severidad de begomovirus fue baja en todos los tratamientos. Ninguno alcanzó la máxima categoría de severidad, todos estuvieron entre 3 y 4. Se observó mayor incidencia (38%) en el cultivo de tomate intercalado con paiché, en contraste, el tratamiento con lavanda fue el que presentó menor incidencia de Begomovirus en tomate al resultar solo con el 19% ($P<0.05$) (Figura 2).

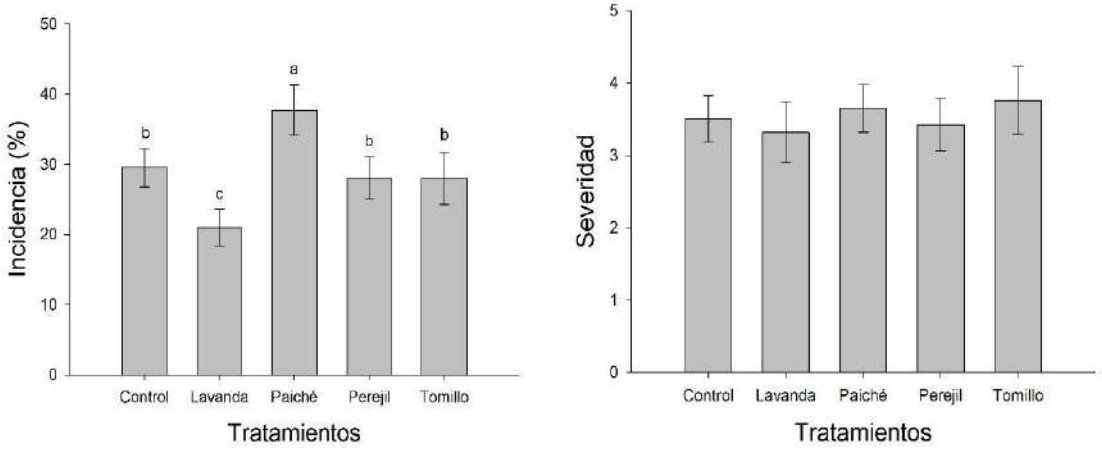


Figura 2. Incidencia y severidad de virosis causada por B. tabaci en plantaciones de tomate intercalado con diferentes plantas aromáticas. Letras diferentes indican diferencia significativa P<0.05

3.5 DISCUSIÓN

En el presente trabajo se determinó efecto de plantas aromáticas en la repelencia de *B. tabaci* bajo condiciones de laboratorio a través de pruebas en olfatómetro y en campo en cultivos intercalados de tomate con las aromáticas más efectivas del ensayo de laboratorio.

Las aromáticas como lavanda, paiché, perejil y tomillo fueron los que mostraron mayor repelencia contra la *B. tabaci* en el ensayo de laboratorio. Estas plantas no habían sido reportadas como repelentes contra *B. tabaci*. En otros estudios de repelencia de *B. tabaci*, las aromáticas cilantro, albahaca y citronela fueron altamente repelentes (Carvalho, 2017). También se reportaron con cierto grado de repelencia las especies apio (*Apium graveolens* L.), lechuga de espárrago (*Lactuca sativa* L.), espinaca malabar (*Gynura cusimbua* S. Moore) y amaranto (*Amaranthus mangostanus* L.) (Zhao et al., 2014). De estas especies, la única que se evaluó en el presente trabajo fue cilantro, misma que no mostró efecto repelente. Las especies más sobresalientes en este trabajo fueron tomillo y lavanda. Éstas son especies que han sido estudiadas por el efecto insecticida de sus aceites esenciales sobre *B. tabaci* (Kim et al., 2011). Los aceites esenciales contienen una elevada cantidad de terpenoides (Zhang et

al., 2014), mismos que pudieron haber sido los causantes de ejercer la repelencia en los bioensayos de laboratorio.

En las evaluaciones de campo, la densidad poblacional de adultos de *B. tabaci* fue similar en las plantas control que en las intercaladas con aromáticas. Las poblaciones de ninfas y huevos fueron significativamente menores en plantas intercaladas con lavanda y perejil sólo en algunas fechas de evaluación. Esto significa que los insectos adultos llegaron por igual a las plantas de tomate sin importar la presencia de las plantas aromáticas, tal vez la densidad y distribución de las plantas aromáticas no fue la adecuada para repeler adultos de *B. tabaci*. En distribución inadecuada de plantas aromáticas la emisión de volátiles no es efectiva para repeler adultos (Issa et al., 2016).

Los efectos repelentes de las plantas aromáticas fueron notorios en la alteración de la oviposición y posterior crecimiento de ninfas de la mosquita blanca, pues a partir del día 28 después del trasplante, se notó la tendencia a la disminución del número de huevos en todos los tratamientos con respecto al control, pero solo en lavanda hubo disminución significativa del número de ninfas. Al día 56 después del trasplante, todos los tratamientos con plantas aromáticas presentaron menor número de huevos por cm^2 con respecto al control, pero hasta el día 70 se reflejó la disminución de las poblaciones de ninfas en las plantas de tomate intercaladas con perejil y tomillo. Es importante notar que también en las plantas de tomate intercaladas con perejil la población de ninfas disminuyó significativamente.

Estudios de fitoquímica muestran que lavanda y tomillo (subfamilia Nepetoideae) presentan una alta cantidad de terpenoides, los cuales tienen efectos repelentes e insecticidas (Regnault-Roger y Hamraoui 1993; Zhang, et al., 2014). El perejil no se había reportado como repelente de *B. tabaci*, sin embargo, Shaaya et al. (1991) reportó que los aceites esenciales del perejil resultaron con moderada actividad insecticida sobre coleópteros, y Lee et al. (2017) reportó al perejil como un excelente repelente para cucarachas en pruebas de laboratorio.

En general en la evaluación de campo, la población de *B. tabaci* fue muy baja, así también la incidencia (menor al 40%) y severidad de Begomovirus. Aun así, el efecto de las plantas aromáticas se hizo evidente. Las plantas de tomate intercaladas con lavanda fueron las que presentaron menor incidencia de Begomovirus. Lo anterior muestra que a pesar que las

poblaciones de adultos de *B. tabaci* no fueron afectadas por la presencia de lavanda, la capacidad de estos insectos para la transmisión de virus pudo haber sido alterada.

3.6 CONCLUSIÓN

De las 18 especies de aromáticas evaluadas, las que mayor efecto repelente mostraron en laboratorio fueron: tomillo, lavanda, paiché y perejil.

En el cultivo intercalado, ninguna de las plantas aromáticas resultó efectiva para repeler adultos de mosquita blanca; sin embargo, lavanda y tomillo redujeron la oviposición y junto con el perejil también el desarrollo de las ninfas.

La incidencia de la virosis en tomate fue menor en plantas intercaladas con lavanda, sin embargo, la severidad de los síntomas no fue diferente entre tratamientos.

3.7 LITERATURA CITADA

Abd-Rabou, S. y A. M., Simmons. 2010. Survey of reproductive host plants of *Bemisia tabaci* (Hemiptera:Aleyrodidae) in Egypt, Including New host records. Entomological News. 121(5): 456-465.

Ballina-Gómez, H. L., L. Latournerie-Moreno, E. Ruiz-Sánchez, A. Pérez-Gutiérrez y G. Rosado-Lugo. 2013. Morphological characterization of *Capsicum annum* L. Accessions from southern Mexico and their response to the *Bemisia tabaci*-Begomovirus complex. Chilean Joirnal of Agricultural Research. 73(4) 329-338

Bleeker, P. M., P. J. Diergaarde, K. Ament, J. Guerra, M. Weidner, S. Schütz, M. T. J. de Both, M. A. Haring, R. C. Schuurink. 2009. The role of specific tomato volatiles in tomato-whitefly interaction. Plant Physiology. 151: 925–935.

Bleeker, P. M., P. J. Diergaarde, K. Ament, S. Schütz, B. Johne, j. Dijkin, H. Hiemstra, R. de Gelder, M. T. de Both, M. W. Sabelis, M. A. Haring, R. C. Schuurink. 2011. Tomato-produced 7-epizingiberene and R-curcumene act as repellents to whiteflies. Phytochemistry. 72: 68–73.

Brown, J. K. 2010. Bemisia: phylogenetic biology of the *Bemisia tabaci* sibling species group. In: Stansly, P.A., Naranjo, S.E. (Eds.), Bemisia: Bionomics and Management of a Global Pest. Springer, Amsterdam, pp. 31e67.

Bruce, T. J. A., L. J. Wadhams, C. M. Woodcock. 2005. Insect host location: a volatile situation. Trends in Plant Science. 10(6): 269–274.

Carvalho, M. G., O. C. Bortolotto, M. U. Ventura. 2017. Aromatic plants affect the selection of host tomato plants by *Bemisia tabaci* biotype B. Entomologia Experimentalis et Applicata. 162: 86-92.

Cook, S. M., Z. R. Khan, J. A. Pickett. 2007. The use of 'push–pull' strategies in integrated pest management. Annual Review of Entomology 52: 375–400.

Costa, H. S. y J. K. Brown. 1990. Variability in biological characteristics, isozyme patterns and virus transmission among populations of *Bemisia tabaci* in Arizona. Phytopathology 80, 877e888.

Hilje, L. y P. A. Stansly. 2008. Living ground covers for management of *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Homoptera: Aleyrodidae) and tomato yellow mottle virus in Costa Rica. Crop Protection 27: 10–16.

Issa, R. B., H. Gautier, L. Gomez. 2016. Influence of neighbouring companion plants on the performance of aphid populations on sweet pepper plants under greenhouse conditions. Agricultural and Forest Entomology. 19(2): 181-191.

Jones, D. R. 2003. Plant viruses transmitted by whiteflies. European Journal of Plant Pathology. 109: 195–219.

Kim, S. I., S. H. Chae, H. S. Youn, S. H. Yeon, Y. J. Ahn. 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(9), pp.1093- 1099.

Lee, H-R., G-H. Kim, W-Sil. Choi, I-K. Park. 2016. Repellent activity of apiaceae plant essential oils and their constituents against adult german cockroaches. Journal of Economic Entomology. 110(2): 552-557.

Mound, L.A. 1962. Studies on the olfaction and colour sensitivity of *Bemisia tabaci* (Genn.) (Homoptera, Aleyrodidae). Entomologia Experimentalis et Applicata 5: 99–104.

Prabhaker, N., N. C. Toscano, D. L. Coudriet. 1999. Comparison of neem, urea, and amitraz as oviposition supressants and larvicides against *Bemisia argentifolii* (Homoptera: Aleyrodidae). J. Econ. Entomol. 92, 40e46.

Regnault-Roger, C. y A. Hamraoui. 1993. Efficiency of plants from the south of France used as traditional protectants of *Phaseolus vulgaris* L. against its bruchid *Acanthoscelides obtectus* (Say). J.Stored Prod.Res. 29(3): 259-264

RStudio Team. 2015. RStudio: Integrated Development for R. RStudio, Inc., Boston, MA

Shaaya, E., U. Ravid, N. Paster, B. Juven, U. Zisman, V. Pissarev. 1991. Fumigant toxicity of essential oils against four mahor stored-product insect. Journal of Chemical Ecology. 17(3): 499-504.

Stansly, P. A. y S. E. Naranjo. 2010. Bemisia: Bionomics and Management of a Global Pest. Springer, Amsterdam, 528 pp.

Servicio de información agroalimentaria y pesquera. 2019. En: Infosiap.siap.gob.mx/aagricola_siap_gb/icultivo/index.jsp. (Consultado: 3 de enero del 2019).

Shao-Jian, L., R. Su-Li, X. Xia, R. Shun-Xiang, A. G. S. Cuthbertson, N. M. V. Dam, Q. Bao-Li. 2014. Efficiency of plant induced volátiles in attracting *Encarsia Formosa* and *Serangium japonicum*, two dominant natural enemies of whitefly *Bemissia tabaci* in China. Pest Management Science. 70(10): 1604-1610.

Sistema nacional de investigación y transferencia tecnológica para el desarrollo rural sustentable (SNITT), Agenda nacional de investigación, innovación y transferencia de tecnología agrícola 2016-20122. 2016. México, D.F. Primera edición.

Togni, P. H. B., M. R. Frizzas, M. A. Medeiros, E. Y. T. Nakasu, C. S. S. Pires, E. R. Sujii. 2010. Odour masking of tomato volatiles by coriander volatiles in host plant selection of *Bemisia tabaci* biotype B. Entomologia Experimentalis et Applicata 136: 164–173.

Tosh, C. R. y B. Brogan. 2015. Control of tomato whiteflies using the confusion effect of plant odours. Agronomy Sustainable Development 35: 183–193.

Tsueda, H., T. Tsuduki, K. Tsuchida. 2014. Factors that affect the selection of tomato leaflets by two whiteflies, *Trialeurodes vaporariorum* and *Bemisia tabac*i (Homoptera: Aleyrodidae). Applied Entomology and Zoology 49: 561–570.

Turlings, T. C. J., M. Bernasconi, R. Bertossa, F. Bigler, G. Caloz, S. Dorn. 1998. The induction of volatile emissions in maize by three herbivore species with different feeding habits: possible consequences for their natural enemies. Biological Control 11: 122–129.

Van Haef, J. N. M., J. R. Mondoñedo, D. B. Parsons, J. Medina. 2012. Manuales para educación agropecuaria TOMATES, Área: Producción vegetal. Editorial Trillas. México D.F. Página 71.

Vaishampayan, S. M., G. P. Waldbauer, M. Kogan. 1975. Visual and olfactory responses in orientation to plants by the greenhouse whitefly, *Trialeurodes vaporariorum* (Homoptera: Aleyrodidae). Entomologia Experimentalis et Applicata. 18: 412–422.

Zhang, Z., Z. Luo, Y. Gao, L. Bian, X. Sun, Z. Chen. 2014. Volatiles from non-host aromatic plants repel tea green leafhopper *Empoasca vitis*. Entomologia Experimentalis et Applicata 153: 156–169.

Zhao, Q., J. J. Zhu, Y. Qin, P. Pan, H. Tu, W. Du, W. Zhou, F. P. Baxendale. 2014, Reducing whiteflies on cucumber using intercropping with less preferred vegetables. Entomologia Experimentalis et Applicata 150: 19–27.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES GENERALES

1. El meta-análisis proporciona información relevante sobre los patrones generales de respuesta de insectos plaga y enemigos naturales a las plantas aromáticas. Considera todas las publicaciones científicas de los últimos 25 años en los principales motores de búsqueda enfocados en la repelencia de insectos plaga. Por lo tanto, estos resultados servirían como base para dirigir estudios futuros de repelencia de especies plaga con plantas aromáticas y su efecto en la comunidad de enemigos naturales.

2. De las 18 especies de aromáticas evaluadas, las que mayor efecto repelente mostraron en laboratorio hacia *Bemisia tabaci* fueron: tomillo, lavanda, paiché y perejil.

3. En el cultivo intercalado, ninguna de las plantas aromáticas resultó efectiva para repeler adultos de *B. tabaci*; sin embargo, lavanda y tomillo redujeron la oviposición y junto con el perejil también el desarrollo de las ninfas.

4. En el cultivo de tomate intercalado con lavanda la incidencia de virosis fue menor, pero en la severidad se encontró un efecto nulo.