



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO EN FITOSANIDAD

ENTOMOLOGÍA Y ACAROLOGÍA

**MORTALIDAD DE *Brevipalpus
yotheri* OCACIONADA POR LA
INTERACCIÓN ENTRE *Amblyseius
swirskii*, *Neoseiulus californicus* Y TRES
HONGOS ENTOMOPATÓGENOS**

JOSÉ ANDRÉS VÁZQUEZ BENITO

T E S I S

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO

2021

La presente tesis titulada: **Mortalidad de *Brevipalpus yothersi* ocasionada por la interacción entre *Amblyseius swirskii*, *Neoseiulus californicus* y tres hongos entomopatógenos**, realizada por el alumno: **José Andrés Vázquez Benito**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS
FITOSANIDAD
ENTOMOLOGÍA Y ACAROLOGÍA

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERA


Dra. Ma. Teresa Santillan Galicia

ASESOR


Dr. Ariel W. Guzman Franco

ASESOR


Dr. Felipe Benito Rosales

ASESORA


Dra. Carmela Hernández Domínguez

Montecillo, Texcoco, Estado de México, julio de 2021

**MORTALIDAD DE *Brevipalpus yothersi* OCASIONADA POR LA INTERACCIÓN
ENTRE *Amblyseius swirskii*, *Neoseiulus californicus* Y TRES HONGOS
ENTOMOPATÓGENOS**

José Andrés Vázquez Benito, MC.
Colegio de Postgraduados, 2021

RESUMEN

El virus de la leprosis de los cítricos es transmitido por el ácaro *Brevipalpus yothersi*, se distribuye en varias zonas de México y afecta a diferentes especies de cítricos. El objetivo de este trabajo fue determinar la acción individual de tres hongos entomopatógenos (*Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae* y *Cordyceps fumorosea*) y de los ácaros depredadores: *Neoseiulus californicus* y *Amblyseius swirskii*, así como su acción conjunta en la mortalidad de *B. yothersi* en laboratorio. Primero se aplicaron suspensiones de conidios a hembras adultas de *B. yothersi*, en concentraciones de 1×10^8 conidio/mL, y se introdujeron adultos de cada depredador junto a cada uno de los estadios de *B. yothersi*. Posteriormente se utilizaron a los ácaros depredadores como posibles vectores de conidios de *B. bassiana* y *M. anisopliae*. Los hongos entomopatógenos causaron mortalidades alrededor del 80% en hembras adultas de *B. yothersi*, mientras que los depredadores consumieron huevos, larvas y ninfas del ácaro. Las combinaciones de *A. swirskii* con cualquier hongo entomopatógeno, y la combinación de *N. californicus* con *M. anisopliae*, causaron mayores mortalidades que la acción individual de cada agente de control. La combinación de ambos agentes de control redujo las poblaciones de huevos y hembras adultas. En conclusión, los ácaros depredadores fueron capaces de transportar conidios de hongos entomopatógenos y su favoreció el control biológico de *B. yothersi*.

Palabras clave: *Brevipalpus* spp., ácaros depredadores, *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae* y *Cordyceps fumorosea*.

**MORTALITY OF *Brevipalpus yothersi* CAUSED BY INTERACTION BETWEEN
Amblyseius swirskii, *Neoseiulus californicus* AND THREE ENTOMOPATHOGENIC
FUNGI**

José Andrés Vázquez Benito, MC.
Colegio de Postgraduados, 2021

ABSTRACT

Citrus leprosis virus is transmitted by the mite *Brevipalpus yothersi*, spreading in various areas of Mexico, affecting various citrus species. We study the individual action of entomopathogenic fungi; *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae* and *Cordyceps fumorosea* and from predatory mites; *Neoseiulus californicus* e *Amblyseius swirskii*, as well as their joint action of both control agents in the mortality of *B. yothersi* in orange. We apply suspensions of conidia in *B. yothersi* adult females, in concentrations of 1×10^8 conidia / mL and we introduce adults of each predator next to each stage of *B. yothersi*. Subsequently, we used predatory mites as vectors for *B. bassiana* and *M. anisopliae* conidia. Entomopathogenic fungi caused mortalities of more than 80% in adult females of *B. yothersi*, while the predators consumed the eggs, larvae, and nymphs of the mite. The combinations of *A. swirskii* with any entomopathogenic fungus and the combination of *N. californicus* with *M. anisopliae*, caused higher mortalities than the individual action of each control agent. The combination of both control agents reduced egg and adult female populations. In conclusion, predatory mites are capable of vectorizing entomopathogenic fungal conidia and the interaction between entomopathogenic fungi and predatory mites favors the biological control of *B. yothersi*.

Keywords: *Brevipalpus yothersi*, predatory mites, *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae* y *Cordyceps fumorosea*.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por haberme otorgado una beca para financiar mis estudios de posgrado.

Al Colegio de Postgraduados, al posgrado en Fitosanidad y al área de Entomología y Acarología, por haberme aceptado para la continuación de mis estudios y por el apoyo brindado en el proyecto de investigación de tesis.

A la empresa Koppert por la donación de material para realizar la investigación.

A la Dra. Ma. Teresa Santillán Galicia, por el apoyo moral que me brindo durante todo el tiempo de mis estudios, por las ideas y el tiempo dedicado a la investigación y principalmente por su apoyo brindado en mis tiempos difíciles.

Al Dr. Ariel W. Guzmán Franco, por ser parte fundamental en el trabajo de investigación y por sus contribuciones científicas que fueron fortaleza en la investigación.

Al Dr. Felipe Romero Rosales, por sus conocimientos aportados y por su pensamiento crítico que fue de ayuda tanto para el trabajo de investigación como para decisiones personales.

A la Dra. Carmela Hernández Domínguez, por todo el apoyo que me brindo durante la licenciatura y que siguió aportando durante la maestría.

DEDICATORIA

A mi madre

Por todo el esfuerzo, fortaleza y amor que me has dado

A mi padre (QPD)

Por tus consejos, apoyo y cariño que me otorgaste

A mis amigos

Por darme su apoyo cuando lo necesitaba

CONTENIDO

RESUMEN	iii
ABSTRACT.....	iv
LISTA DE FIGURAS.....	x
LISTA DE CUADROS.....	xi
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 OBJETIVOS.....	4
1.1.1 General.....	4
1.1.2 Específicos.....	4
1.2 HIPÓTESIS.....	4
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1 La citricultura en México y el mundo.....	4
2.2 Plagas asociadas a cítricos en México.....	6
2.3 Características de <i>Brevipalpus yothersi</i>	8
2.3.1 Morfología.....	8
2.3.2 Distribución.....	9
2.3.3 Hospederos.....	9
2.3.4 Biología.....	11
2.3.5 Daños.....	11
2.3.6 Transmisión de leprosis de los cítricos.....	12
2.3.6.1 Síntomas causados por la leprosis.....	12
2.4 Combate contra ácaros.....	13
2.4.1 Cultural.....	13
2.4.2 Químico.....	13
2.4.3 Biológico.....	14

2.4.3.1	Uso de depredadores	14
2.4.3.2	Uso de hongos entomopatógenos.....	16
III.	MATERIALES Y MÉTODOS	18
3.1	Ácaros (<i>Brevipalpus yothersi</i> , <i>Neoseiulus californicus</i> y <i>Amblyseius swirskii</i>).....	18
3.2	Elaboración de arenas experimentales.....	19
3.3	Susceptibilidad de <i>Brevipalpus yothersi</i> a la infección por <i>Beauveria bassiana</i> , <i>Metarhizium anisopliae</i> y <i>Cordyceps fumosorosea</i>	20
3.3.1	Aislamientos de los hongos.....	20
3.3.2	Preparación de suspensiones de conidios.....	21
3.3.3	Porcentaje de germinación	21
3.3.4	Aplicación de tratamientos.....	21
3.3.5	Cantidad de conidios por superficie	22
3.3.6	Diseño experimental y análisis estadístico.....	23
3.4	Capacidad de depredación de <i>Neoseiulus californicus</i> y <i>Amblyseius swirskii</i> sobre <i>B.</i> <i>yothersi</i>	24
3.4.1	Depredación sin selección.....	24
3.4.2	Depredación con elección	24
3.4.3	Diseño experimental y análisis estadístico.....	25
3.5	Capacidad de búsqueda de huevos de <i>B. yothersi</i> por <i>N. californicus</i> y <i>A. swirskii</i>	25
3.5.1	Diseño experimental y análisis estadístico.....	26
3.6	Mortalidad de <i>B. yothersi</i> ocasionada por la acción individual y combinada de hongos entomopatógenos y ácaros depredadores	26
3.6.1	Concentración de conidios por ácaro depredador	27
3.6.2	Diseño experimental y análisis estadístico.....	28
IV.	RESULTADOS	29

4.1 Susceptibilidad de <i>Brevipalpus yothersi</i> a la infección por <i>Beauveria bassiana</i> , <i>Metarhizium anisopliae</i> y <i>Cordyceps fumosorosea</i>	29
4.2 Capacidad de depredación de <i>Neoseiulus californicus</i> y <i>Amblyseius swirskii</i> sobre <i>B.</i> <i>yothersi</i>	30
4.2.1 Depredación sin elección	30
4.2.2 Depredación con elección	31
4.3 Capacidad de búsqueda de huevos de <i>B. yothersi</i> por <i>N. californicus</i> y <i>A. swirskii</i>	31
4.4 Mortalidad de <i>B. yothersi</i> ocasionada por la acción individual y combinada de hongos entomopatógenos y ácaros depredadores	32
V. DISCUSION	35
VI. CONCLUSIONES	38
VII. LITERATURA CITADA	39

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Arenas experimentales A) Tipo 1, B) Tipo 2.	20
Figura 2. Mortalidad de <i>B. yothersi</i> causada por hongos entomopatógenos..	29
Figura 3. Depredación sin elección de <i>Neoseiulus californicus</i> y <i>Amblyseius swirskii</i> sobre <i>B. yothersi</i>	30
Figura 4. Depredación con elección de <i>Neoseiulus californicus</i> y <i>Amblyseius swirskii</i> sobre <i>B. yothersi</i>	31
Figura 5. Cantidad final de huevos de <i>B. yothersi</i> en las arenas experimentales..	32
Figura 6. Mortalidad de <i>B. yothersi</i> en el tratamiento testigo y tratamientos combinados (depredadores y depredadores más hongos).	33
Figura 7. Mortalidad de <i>B. yothersi</i> en interacción de <i>A. swirskii</i> y hongos entomopatógenos. ..	34
Figura 8. Mortalidad de <i>B. yothersi</i> en interacción de <i>N. californicus</i> y hongos entomopatógenos.. ..	34

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Producción de cítricos en México	5
Cuadro 2. Porcentaje promedio de germinación en un total de 100 conidios por especie de hongo	22
Cuadro 3. Cantidad de conidios por mm ² en la aplicación de tratamientos	23
Cuadro 4. Concentración promedio de conidios por ácaro.....	28

I. INTRODUCCIÓN

Muchos países y regiones de clima tropical y subtropical se dedican a la producción de cítricos, debido a que tienen las condiciones climáticas adecuadas para su desarrollo, por ello, China, Brasil, Estados Unidos, México y España son los mayores productores, con una participación del 70 al 80% de la producción mundial. De ésta, la naranja es el cultivo de mayor producción, seguido de mandarina, limón y toronja (Maya, 2017). La naranja se posiciona como la especie más comercializada en el mercado internacional, y por ello muchos productores consideran a ésta con el potencial para participar en el mercado de exportación (Valencia y Duana, 2019).

A pesar de que México es uno de los principales productores en el mundo, el ataque por plagas y enfermedades llega a producir pérdidas hasta de un 80% si los métodos de manejo son inadecuados, estos daños repercuten principalmente en la economía del productor (Sáenz *et al.*, 2019). Entre las plagas de los cítricos se encuentra el ácaro plano (*Brevipalpus* spp.) de la familia Tenuipalpidae, cuya especie llega a causar daño directo debido a que se alimenta de la fruta, hojas y ramas, e indirectos por ser vector del virus de la leprosis de los cítricos (Leon, 2012).

Dicha enfermedad, fue reportada por primera vez a mediados del siglo XIX, atacando ramas y frutos en árboles de naranja dulce en EE. UU, llamándola “corteza escamosa” (Fawcett, 1911). Posteriormente, se reportó en países del sur de América, como Brasil y Argentina, donde se nombró “lepra explosiva” (Bitancourt, 1955). Sin conocer al agente causal de la enfermedad Knorr y DuCharme (1951) la denominaron “leprosis cítrica”, y después de compararla en diversas zonas donde se había presentado, determinaron que se trataba del mismo agente causal. Durante este lapso autores como Knorr (1968) hacían mención que los daños eran causados por un virus, pero fue más tarde cuando Kitajima *et al.* (1972) demostraron que, efectivamente, era ocasionada por

partículas virales presentes en los núcleos celulares de hojas de naranjo. Actualmente está bien establecido que los ácaros del género *Brevipalpus* son transmisores del virus de la leprosis tipo citoplasmático (CiLV-C y CiLV-C2) y nuclear (CiLV-N y OFV-citrus) (Kitajima *et al.*, 2003).

En México se ha reportado a *B. yothersi* como el principal vector del virus de la leprosis de los cítricos tipo citoplasmático (CiLV-C), así mismo como el más abundante en huertos de limón y naranja (Beltran-Beltran *et al.*, 2020). Aunque también es capaz de transmitirlo a mandarinas y pomelos; su capacidad de transmisión es variable de acuerdo con la especie de cítrico, siendo la naranja la especie que más se afecta por la infección del virus (Rodríguez-Ramírez *et al.*, 2019). La importancia de este virus radica en los daños que ocasiona en frutos, ramas y hojas, manifestándose generalmente como lesiones circulares, necróticas o cloróticas, que varían de amarillo claro a marrón oscuro, esto afecta la estética del producto y su comercialización (Ferreira *et al.*, 2020). Para la disminución del daño es necesario reducir las poblaciones del ácaro vector; para el combate del vector se utilizan con mucha frecuencia acaricidas organosintéticos (Bastianel *et al.*, 2010), donde el principal ingrediente activo de estos productos es la abamectina (Venzon *et al.*, 2008).

Cabe destacar que el control químico es una táctica que reduce las poblaciones de ácaros, y que se considera una herramienta indispensable en las tácticas de manejo, pero su uso indiscriminado puede conducir a la selección de poblaciones resistentes (Lin *et al.*, 2003), o a los daños bien conocidos en el ambiente o el riesgo de salud para los consumidores (Zweig, 1973; Kaatsch, 2017). Además de los riegos conocidos por el uso excesivo de acaricidas, el uso frecuente de éstos también puede afectar a la fauna benéfica que contribuye a mantener poblaciones bajas de ácaros en general en cultivos de cítricos, y de los ácaros vectores en particular. Esta situación justifica la

búsqueda de otras tácticas de control que disminuyan el riesgo de seleccionar poblaciones resistentes, o cuyos efectos se vuelvan negativos a mediano y largo plazo, pero que contribuyan a disminuir las poblaciones de ácaros vectores antes de tener pérdidas económicas. Por otro lado, el control biológico es una táctica sustentable para el manejo de plagas, si su aplicación se realiza de manera adecuada en el tipo de agroecosistema correspondiente (Gutiérrez *et al.*, 2013.).

En el caso particular de control biológico de ácaros vectores de virus en cítricos, para *B. yothersi* se han evaluado algunos depredadores (Argolo *et al.*, 2020), y para *B. phoenicis* s. l. el hongo *Hirsutella thompsonii* (Rossi y Alves, 2006). Las propiedades que posee cada agente de control han permitido realizar combinaciones, y en algunas ocasiones el efecto puede ser sinérgico. Por ejemplo, la exposición de *Beauveria bassiana* fue compatible con *A. swirskii*; donde los huevos que fueron expuestos al hongo no tuvieron un efecto continuo en los juveniles o su descendencia, y se complementó su efecto desde un modo preventivo y curativo (Midthassel *et al.*, 2016). Este efecto sinérgico probablemente no se repita en todos los casos (Agboton *et al.*, 2012) por ello cada trabajo que plantea la combinación de depredadores, parasitoides u hongos entomopatógenos tiene que evaluarse para garantizar su eficiencia (Pacheco *et al.*, 2019).

Los estudios que evalúan el uso de hongos entomopatógenos para el control de *Brevipalpus* en cítricos no son numerosos (Albuquerque *et al.*, 2000; Magalhães *et al.*, 2005; Rossi y Alves, 2006), pero son aún menos frecuentes los trabajos donde se evalúa la combinación de hongos entomopatógenos con ácaros depredadores en plantas de cítricos. Por lo tanto, en este trabajo se planteó el uso de tres hongos entomopatógenos y dos ácaros depredadores para el control de *Brevipalpus yothersi* en condiciones de laboratorio.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 General

Determinar la mortalidad de *Brevipalpus yothersi* expuesto a tres hongos entomopatógenos y dos ácaros depredadores, aplicados de forma individual y en conjunto.

1.1.2 Específicos

- Determinar la susceptibilidad de *Brevipalpus yothersi* a la infección de *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae* y *Cordyceps fumosorosea*.
- Determinar la capacidad de depredación de *Neoseiulus californicus* y *Amblyseius swirskii* sobre *B. yothersi*.
- Estimar la mortalidad de *B. yothersi* por la acción individual y combinada de dos hongos entomopatógenos y dos ácaros depredadores.

1.2 HIPÓTESIS

La combinación de ácaros y hongos entomopatógenos ocasionará mayor mortalidad en poblaciones de *Brevipalpus yothersi*, en comparación con la aplicación individual de éstos.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 La citricultura en México y el mundo

Los cítricos forman parte de un complejo de géneros formado por *Citrus*, *Fortunella* y *Poncirus*, que pertenecen a la familia rutácea (Rutaceae), y se distribuyen en zonas tropicales y subtropicales, por lo que son aprovechados económicamente en esas zonas; la mayoría de éstos tuvieron su origen

en el sureste de Asia y su cultivo se remonta a miles de años atrás (Sancho y Baraona, 2000). Durante años, la domesticación del cultivo y la creación de nuevos híbridos ha permitido la obtención de un complejo de especies con diferencias poco reconocibles taxonómicamente, pero con las características adecuadas para la producción y el consumidor (Ripa *et al.*, 2000).

Los tres principales países productores de naranja en el mundo son Brasil, China e India; de limón y lima son India, China y México; mientras que de toronja y pomelo son China, Vietnam y Estados Unidos. México ocupa el quinto lugar en producción de naranja, el tercero en limón y lima, y el cuarto en toronja y pomelo (FAOSFAT, 2020).

Cuadro 1. Producción de cítricos en México (SIAP, 2021)

Cultivo	Superficie (ha)		Producción (miles de toneladas)	Rendimiento (udm/ha)	Valor de producción (miles de pesos)
	Sembrada	Cosechada			
Naranja	343244.75	327425.00	4646913.24	14.19	13,972,056.78
Mandarina	22135.51	21655.51	303996.55	14.04	841,565.66
Limón	207838.07	185059.59	2851320.89	15.41	18,798,141.38
Toronja	21151.60	19832.47	490832.17	24.75	1,603,887.35

La producción de cítricos en México se destina principalmente al consumo interno, pero también se exporta a otros países (SIAP, 2020). Los frutos de naranja de origen mexicano principalmente se exportan a Estados Unidos, pero también hay exportación, en menores cantidades, a Japón, Países Bajos, Guatemala, Austria y Reino Unido (SIAP, 2020). Mientras que, en importaciones

los principales proveedores de México son Estados Unidos, Brasil, España, Francia, China, Alemania y Rusia (SIAP, 2021).

Todas las especies de cítricos se cultivan en nuestro país, pero la naranja es la que tiene más de trecientas mil hectáreas sembradas (Cuadro 1), aunque el limón genera mayores ingresos que la naranja, ya que su precio medio rural (PMR) es el doble. Por otra parte, la toronja genera mayores ingresos que la mandarina (SIAP, 2021).

2.2 Plagas asociadas a cítricos en México

Los cítricos son vulnerables a un conjunto de plagas y enfermedades que afectan la calidad del producto, y disminuyen los rendimientos (Ripa y Rodríguez, 2000; Fadamiro *et al.*, 2008). El número de insectos y ácaros que son problemas ocasionales en cítricos en México puede superar más de 50. No obstante, en general las plagas primarias no sobrepasan de seis a diez, y eso depende de la región del país. Por ejemplo, en Tamaulipas, se han encontrado 48 insectos y seis ácaros que atacan cítricos, pero los de mayor relevancia son el psílido asiático de los cítricos (*Diaphorina citri* Kuyawama) y el arador de los cítricos (*Phyllocoptruta oleivora* Ashmead), y ocasionalmente la mosca prieta de los cítricos (*Aleurocanthus woglumi*) (Ruiz *et al.*, 2006) o un complejo de pulgones, entre ellos: *Toxoptera aurantii*, *Aphis gossypii*, *Aphis spiraecola* y *Aphis fabae* (Gaona *et al.*, 2000).

En Veracruz se reportaron infestaciones de *Phyllocnistis citrella* (CLM) hace más de 20 años, pero ya no son problema ahora (Bautista-Martínez *et al.*, 1998). Por el contrario *D. citri*, por ser el vector de la bacteria *Candidatus Liberibacter* spp. que produce la enfermedad de Huanglongbing, es una de las principales plagas en las zonas citrícolas de importancia en México porque disminuye

la producción de los árboles y puede causar la muerte (Palomares-Pérez *et al.*, 2016; Livingston *et al.*, 2018).

Además de insectos, también hay ácaros de importancia que atacan a cítricos en México; algunas especies de Tetranychidae ocasionalmente pueden ser problema (Hall y Simms, 2003), pero los problemas más importantes con ácaros, en los últimos ocho o diez años, están relacionados con los transmisores de leprosis de los cítricos como *Brevipalpus yothersi* y *Brevipalpus californicus* (Ferreira *et al.*, 2018). Beltran-Beltran *et al.* (2020) confirmaron la presencia de *Brevipalpus yothersi* y *B. californicus* en cítricos en Chiapas, Campeche, Hidalgo, Jalisco, Morelos, Nuevo León, Oaxaca, Puebla, Querétaro, San Luis Potosí, Sinaloa, Tamaulipas, Veracruz, Quintana Roo y Zacatecas; también confirmaron la presencia de algunos árboles infectados por el virus de la leprosis de los cítricos.

De acuerdo con Leon *et al.* (2017a), a pesar de que *B. yothersi* es una plaga en cítricos, puede hospedarse en malezas. Después, hasta que su hospedante principal esté cerca, puede dispersarse con la posibilidad de transmitir el virus de la leprosis, incluso si no se había alimentado de cítricos anteriormente.

En otro trabajo Leon *et al.* (2017b) reportaron que el ácaro adquirió el virus después de tres días de estar en contacto con una planta enferma, y lo transmitió de 43 al 68%; más tarde se demostró que *B. yothersi* adquiere el virus incluso una hora después de haberse alimentado de plantas en las que se encuentra el virus. Sin embargo, la capacidad en que las poblaciones de este ácaro se vuelvan virulíferas es variable; de una población en naranja, un porcentaje menor al 50% puede ser portador del virus CiLV-C (Gómez-Mercado *et al.*, 2019).

2.3 Características de *Brevipalpus yothersi*

2.3.1 Morfología

El cuerpo de los ácaros se divide en dos grandes tagmas, el gnatosoma y el idiosoma, en el primero se localizan la cavidad preoral, la faringe y la parte anterior del esófago. La cavidad preoral se extiende hasta la faringe, y se encuentra bajo la base del labro. Dorso lateralmente de esta cavidad se encuentran los quelíceros, en forma de estilete, que al juntarse forman un canal alimentario; éste puede ser utilizado para penetrar en el tejido vegetal o inyectar su saliva (Alberti *et al.*, 2014). Las coxas de los pedipalpos forman la superficie ventral del gnatosoma, llamado subcapítulo, los artejos libres, que consisten en cinco segmentos, son llamados palpos verdaderos (Hislop y Jeppsom, 1976).

El segundo tagma o idiosoma se divide en propodosoma e histerosoma, el primero de éstos incluye los pares de patas I y II, mientras que el segundo incluye los pares de patas III y IV, esta división está dada por un surco dorsal. Las características importantes para separar especies son el número de solenidios tarsales de la pata II, y los patrones cuticulares en el dorso. El propodosoma posee tres pares de sedas: un par de verticales (v2) y dos pares de escapulares (sc1 y sc2); un par de ocelos y una ornamentación variable, que puede ser suave o reticulada.

Este género se caracteriza por tener en el dorso un máximo de 10 setas: C (c1, c3), D (d1, d3), E (e1, e3), F (f2, f3) y H (h1, h2). La seta f2 está ausente, conservando dos pares de setas pseudanales (ps1, ps2), dos pares de setas genitales (g1, g2) y un par de sedas agenitales (ag). La región coxal de las patas I tiene tres setas (1a, 1b y 1c), mientras que las patas II a IV tienen dos pares (2a, 2b, 3a, 3b, 4a, 4b). Las bases coxales de las patas I y II presentan una ornamentación coliculada a ligeramente verrugosa, el área entre las sedas 1a y el apódeme seyugal es estriada y el área de las

sedas 3a y 4a es ligeramente verrugosa, en el caso de la ornamentación de las placas ventrales y anales, son uniformemente verrugosas, y la placa genital es areolada.

Los tarsos de las patas I y II poseen ocho sedas, con un solo solenidio en el tarso de la pata I y dos en el tarso de la pata II. En todos los pretarsos llegan a tener un par de uñas y un empodio, que es cubierto por una vaina dentada, cuando estos se encuentran en fase adulta. Así mismo, en las patas I y II, tienen una seda dorsal y dos a cuatro sedas laterales o ventrales en el fémur, el trocánter y la tibia. Las tibias de las patas III y IV poseen una seda dorsal y un par de sedas ventrales; fémur y el trocánter presentan tres sedas laterales y ventrales (Welbourn *et al.*, 2003).

2.3.2 Distribución

Según Beard (2012), *B. yothersi* está en Argentina, Australia, Bangladesh, Congo Belga, Brasil, Birmania, China, Colombia, Costa Rica, Cuba, República Dominicana, Ecuador, El Salvador, Francia, Guatemala, Honduras, India, Indonesia, Israel, Malasia, México, Nigeria, Pakistán, Filipinas, Puerto Rico, España, Sri Lanka, Tailandia, Trinidad, Estados Unidos de América, Venezuela.

En México se ha corroborado que las especies de *B. yothersi* y *B. californicus* se encuentran en todas las especies de cítricos, aunque el de mayor prevalencia es *B. yothersi* (Salinas-Vargas *et al.*, 2016; Beltran-Beltran *et al.*, 2020).

2.3.3 Hospederos

De acuerdo con Childers *et al.* (2003a) hay 928 especies de plantas que son hospederos de las especies de *B. californicus*, *B. obovatus* y *B. phoenicis s.l.* En esa lista hay plantas que son de importancia agrícola, plantas medicinales, ornamentales o arbóreas. Para *B. phoenecis s.l.* se han

registrado al menos 486 especies, entre ellas: *Aphelandra* sp., *Anacardium occidentale* L., *Mangifera indica* L., *Schinus terebinthifolius*, *Spondias dulcis* Forster, *Mandevilla* sp., *Nerium odorum*, *Ilex rotundifolia*, *Ilex* sp., *Alocasia* sp., *Hedera* sp. Ivy, *Polyscias* sp., *Schefflera* sp., *Tetrapanax papyrifer* (Hooker) Koch, *Cryptostegia madagascariensis*, *Hoya carnosa* (Carl von Linne), *Impatiens* sp., *Begonia* sp., *Campsis grandiflora*, *Tabebuia* sp., *Bixa orellana* L., *Cannabis sativa* L., *Canna indica* L., *Viburnum suspensum* Lindler, *Carica papaya* L., *Euonymus fortunei*, *Chenopodium ambrosioides* L., *Terminalia bellirica*, *Terminalia catappa* L., *Eclipta prostrata* L., *Erigeron bonariensis* L., *Garberia fruticosa*, *Gerbera* sp, *Solidago leavenworthii*, *Cucumis melo* L., *Cucurbita ficifolia* Bouché, *Rhododendron* sp., *Codiaeum* sp., *Geranium* sp, *Cenchrus echinatus* L., *Cymbopogon* sp., *Saccharum officinarum* L., *Zea mays* L., *Mentha arvensis* L., *Persea americana* Miller, *Phaseolus vulgaris* L., *Olea europaea* L., *Passiflora* sp., *Sesamum orientale* L., *Fragaria* sp., *Coffea canephora*, *Citrus* sp., *Murraya paniculata*, *Capsicum* sp., *Nicotiana paniculata* L., *Solanum coccineum* Jacquin, *Theobroma cacao* L., *Vitis vinifera* L.

Los cítricos, en especial la naranja Valencia (*Citrus sinensis*), son de los principales hospederos para ambas especies de *Brevipalpus* (Solano *et al.*, 2008), y el aguacate (*Persea americana* Mill.) es un hospedero de *B. yothersi* (Muñoz *et al.*, 2014). También se ha demostrado que algunas plantas silvestres en huertos de naranja pueden servir como hospederos alternos de *B. californicus*. Por ejemplo: *Ipomoea cairica* (L.) Sweet, *Tetrapanax papyrifer* (Hook.) K. (*Aralia gigante*) y *Casimiroa pubescens* Ramírez (Rutaceae) (Monjarás *et al.*, 2016). *B. yothersi* también se puede encontrar en hospederos alternos, como las plantas ornamentales *Dieffenbachia* sp., hibisco (*Hibiscus rosa-sinensis*), croto (*Codiaeum variegatum*), cerca viva (*Swinglea glutinosa*) y las malezas escobo (*Sida acuta*) y verbena negra (*Stachytarpheta cayennensis*) (Leon *et al.* 2017b).

2.3.4 Biología

Los ácaros del género *Brevipalpus* son partenogenéticos, las hembras producen muy pocos machos, con un ciclo de vida similar al de otras especies, conformado por cinco etapas: huevo, larva, protoninfa, deutoninfa y adulto; de estas etapas los huevos y las ninfas (en estado quiescente) se adhieren a la superficie de su hospedero (Childers *et al.*, 2003b).

Brevipalpus requiere una temperatura entre 24 y 33°C, humedad relativa alrededor del 70% y luminosidad de 150 a 180 horas por mes (Solano *et al.*, 2008). El desarrollo de sus poblaciones depende del hospedero y de las condiciones atmosféricas (Childers *et al.*, 2003b).

El tiempo de desarrollo de *B. yothersi*, desarrollados en naranjas libres de CiLVC, es de 3.4 d para larva, 2.4 d para protoninfa y 3.7 d para deutoninfa. La longevidad de las hembras es de aproximadamente 19 d y deposita alrededor de 19 huevos, aproximadamente uno por día. Su ciclo de vida, al desarrollarse en naranjas infectadas con CiLV-C, es de 2.7 d para la larva, 2.8 d para la protoninfa, y 4.3 d para la deutoninfa. La longevidad promedio es de 19.4 d y un promedio de 15 huevos (Salinas-Vargas *et al.*, 2019).

2.3.5 Daños

En general, las especies de *Brevipalpus* se alimentan de yemas, ramas, peciolos, hojas y brotes, lo que ocasiona que se formen áreas cloróticas o plateadas en hojas y frutos (Childers, 1994). En los tejidos en donde se alimentan suelen formarse manchas rugosas en forma de costra (Childers *et al.*, 2003b). En ocasiones, por los daños en hojas puede suceder defoliación. Sin embargo, los daños indirectos de *Breviplapus* son, seguramente, los que más impacto económico tienen, pues son vectores del virus de la leprosis. Las especies, *B. yothersi*, *B. phoenicis sensu stricto* y *B.*

californicus se consideran los únicos vectores de este virus. *B. yothersi* y *B. phoenicis* s.s. se les asocia a la transmisión del tipo citoplasmático; a *B. californicus* el tipo nuclear (Ferreira *et al.*, 2020, Rodríguez-Ramírez *et al.*, 2019; García-Escamilla *et al.*, 2018).

2.3.6 Transmisión de leprosis de los cítricos

La mayoría de las etapas de *B. yothersi*, incluyendo a los machos adultos, tienen la capacidad de adquirir y transmitir el virus después de haberse alimentado de plantas infectadas con CiLV-C (Tassi *et al.*, 2017). El periodo de adquisición es entre 24 y 48 horas (García-Escamilla *et al.*, 2018); y hay un periodo de transmisión de 10 días después de haber adquirido el virus (Bassanezi y Laranjeira, 2007). La tasa de infección por el ácaro suele ser menor al 50%, y el periodo latente en la planta es alrededor de siete horas (Tassi *et al.*, 2017). Para poder transmitir el patógeno, y causar la sintomatología típica de la enfermedad en una planta de naranja, se necesita una poblacional alta del ácaro (Rodríguez-Ramírez *et al.*, 2019).

En general el ácaro suele distribuirse de forma aleatoria en el árbol, mientras que el virus se distribuye de forma agregada (Gómez-Mercado *et al.*, 2019). La dispersión del virus está influenciada por factores bióticos o abióticos sobre el vector, como el viento o el movimiento de material infectado de un lugar a otro (Alves *et al.*, 2005).

2.3.6.1 Síntomas causados por la leprosis

Los síntomas de la leprosis se producen en hojas, tallos y frutos, los cuales pueden variar dependiendo de la especie de cítrico. Las lesiones típicas son manchas circulares cloróticas o necróticas que pueden variar de un color amarillo claro a un oscuro; en lesiones más avanzadas es posible observar dentro de las manchas circulares un centro oscuro (Bastianel *et al.*, 2010). Un

árbol infectado por el virus y enfermo produce un desarrollo prematuro de la fruta, y también puede presentar defoliación.

2.4 Combate contra ácaros

2.4.1 Cultural

La poda puede resultar una práctica muy efectiva, sin la necesidad de aplicar otro tipo de productos, aunque se recomienda la combinación de poda con otro tipo de control. Por ejemplo, Andrade *et al.* (2013) indicaron que la poda y la aplicación de acaricidas (espiroclorfenol, citoxatina o azufre de cal) fueron eficientes para el control de *B. phoenecis*.

2.4.2 Físico

Existe un tratamiento físico para frutos en postcosecha, se trata de la inmersión del fruto en agua caliente, a una temperatura de 53°C durante cinco minutos. Esto elimina un 98% la eclosión de huevos y elimina 57 y 99.7% a los estados inmaduros y adultos, respectivamente; esta práctica es muy importante para evitar el traslado del vector hacia otros sitios (Revynti *et al.*, 2019).

2.4.2 Químico

La aplicación de acaricidas comerciales como clofentezina (Acaristop 50 SC); teflurón + binapacril (Nomolt + Acracid 40 CE); cihexatina (Plictran 50 BR); a vermectina + triona (Vertirtec 18 CE + Triona B); pueden controlar a *B. phoenecis sensu stricto* en porcentajes del 77.95%, 77.20%, 78.11% y 80.31%, respectivamente. Así mismo, si se aplica un fertilizante foliar después del tratamiento, las plantas se pueden recuperar de la clorosis que provoca la leprosis (Veloso *et al.*, 2007).

Algunos acaricidas en combinación con azufre de cal (8 mg/L de agua) también pueden ser efectivos. Por ejemplo: propargite (720mg), óxido de fenbutatitina (400mg), cyhexatina (250mg), azociclotina (250mg), fenpiroximato (50mg), dishofol (960mg), dinocap (738mg), controlan las poblaciones de *B. phoenicis*, con una eficiencia del 98.7%, 92.3%, 99%, 99%, 99% y 96.2%, respectivamente (Andrade *et al.*, 2011). Aplicaciones de los insecticidas espiroclorfenol con fosfet (150g/ 100 L de agua) e imidacloprid (20 mL/ 100 L de agua) tienen una eficiencia del 64.51% y 66% respectivamente, a los siete días (Della *et al.*, 2018).

El aceite mineral al 0.5% o al 1% controla la aparición de ácaros y protege a la planta del ataque, hasta por un total de 110 días después de su aplicación, y puede ser combinado con otros acaricidas como es el dicofol, la citoxatina y spirrocofeno, aunque la eficacia del control es variable (Martelli *et al.*, 2009).

En caso de usar acaricidas es obligatorio que la aplicación sea exclusivamente con los productos autorizados sin realizar mezclas. También se debe prevenir las mezclas con fertilizantes, especialmente si no se realizaron pruebas previas para determinar compatibilidad. Algunas mezclas como es el cloruro de zinc, sulfato de magnesio o el fosfito de potasio, con cualquier acaricida puede resultar en la disminución de la eficiencia del acaricida (Andrade *et al.*, 2013).

2.4.3 Biológico

2.4.3.1 Uso de depredadores

Las plagas presentes en los cultivos tienen enemigos naturales que disminuyen sus poblaciones, creando un balance natural entre los organismos del ecosistema (Arredondo *et al.*, 2020). Existe una variedad de especies de depredadores que se desconocen, y se desconoce su papel en los

agroecosistemas. Por ejemplo, Quirós-McIntire y Rodríguez (2010) reportaron cuatro especies de ácaros depredadores del ácaro del vaneado del arroz, *Steneotarsonemus pinki* Smiley, en ese cultivo, dos especies de Phytoseiidae (*Neoseiulus baraki* Athias-Henriot y *Neoseiulus paraibensis* Moraes y McMurtry), y otros dos de la familia Laelapidae (*Hypoaspis* sp. Canestrini 1884 y *Pseudoparasitus* sp. Berlese). Estas especies poseen características adecuadas para ser utilizados como agentes de control de la plaga.

En otro estudio, realizado en plantas de las familias Arecaceae y Musaceae, se encontró una diversidad de ácaros depredadores de cinco familias; 15 especies de Phytoseiidae, y una especie de las familias Bdellidae, Ascidae, Cunaxidae y Cheyletidae. Estas especies controlaban a especies de ácaros fitófagos de las familias Tetranychidae, Eriophyidae y Tenuipalpidae, con un gran potencial para controlar al ácaro rojo de las palmeras, *Raoiella indica* Hirst (Hastie *et al.*, 2010). La virtud de utilizar ácaros depredadores como agentes de control, no sólo se basa en su efectividad para reducir poblaciones plaga, sino también, en la rapidez en la que se reproducen y el ciclo de vida corto, en comparación con sus presas, lo que garantiza que los ácaros depredadores sean un recurso útil en el control biológico (Abou-Awad *et al.*, 2014).

En estudios de laboratorios se ha determinado que poblaciones de *Tetranychus urticae* pueden reducirse de 300 a menos de 50 por cada 6 individuos de *N. californicus*, y de 1000 a 300 al introducir 14 depredadores, evitando que se alcance el umbral económico (De Souza-Pimentel *et al.*, 2014). Lo mismo sucedió en el control de *Polyphagotarsonemus latus* en plantas de té, con liberaciones de una relación depredador - plaga de 1:10 de *A. swirskii*, y de 1:20 de *N. californicus*, las poblaciones nunca alcanzaron un nivel dañino, a excepción de una sola vez en la parcela con la aplicación de *Neoseiulus* (Akyasi *et al.*, 2019).

Existen casos de liberación simultánea de dos depredadores de ácaros que no incrementaron la disminución de presas. Este caso se documentó para la liberación simultánea de *Phytoseiulus persimilis* y *N. californicus* para el control de *T. urticae*, ambos disminuyeron su consumo cuando se introdujeron simultáneamente, a pesar de que no se alimentan del mismo estadio de la presa (Argüelles *et al.*, 2013). En algunas especies de ácaros depredadores la preferencia por alguna presa, o estado de desarrollo de ésta, es relevante para considerar el efecto potencial. Por ejemplo, *A. swirskii* prefiere consumir larvas de trips *Frankliniella occidentalis* (Pergande) en comparación con algunos estadios de *T. urticae* (Xu y Enkegaard, 2010).

2.4.3.2 Uso de hongos entomopatógenos

Los microorganismos biorreguladores de poblaciones de insectos y otros artrópodos, también pueden ser empleados como insecticidas microbianos sin causar daños al ambiente y a la salud humana, entre ellos se encuentran los hongos, virus, protozoarios y nematodos entomopatógenos (Arredondo *et al.*, 2020). Refiriéndose sólo a hongos entomopatógenos, el mecanismo de acción comienza cuando entran en contacto con la cutícula del insecto, en donde se inicia la germinación, el hongo comienza a desarrollar estructuras que penetran el interior del cuerpo que, mediante un mecanismo físico y químico, llega al interior del intestino, donde la hifa ramifica hasta colonizar los órganos (Monzón, 2001).

Al igual que los depredadores y parasitoides, muchos organismos no han sido estudiados, pero se encuentran presentes en los ecosistemas y agroecosistemas. Por ejemplo, en 2007 en Argentina se documentó por primera vez al hongo entomopatógeno *Neozygites* sp. (Zygomycetes: Entomophthorales), éste estaba parasitando a *T. urticae* en cultivos hortícolas (Scorsetti & López, 2007). En Cuba se encontró una especie de *Hirsutella* parasitando al ácaro *Schizotetranychus*

elymus, que ataca el cultivo de arroz, con 40 al 60% de parasitismo (Cabrera *et al.*, 2004). También en Cuba se reportaron 25 hongos que parasitan a eriófidos de 25 especies de plantas; de ellos *H. thompsonii* y *H. nodulosa* fueron las especies más abundantes, esta información incrementa la posibilidad de plantear estudios para la introducción de especies de hongos más específicas para el control de plagas (Cabrera *et al.*, 2009).

En Colima, México, se aislaron e identificaron diez cepas provenientes de ácaros que atacan cítricos (*T. urticae*, *Aceria guerreronis*, *Phyllocoptruta oleivora* y *B. phoenicis s. l.*). Cinco de las cepas pertenecen a la variedad *Thompsonii* y las otras cinco a *Sinematososa*; esto sugiere que, de manera natural, los hongos entomopatógenos contribuyen a la regulación de plagas, y se podrían usar como agentes potenciales de control biológico (Rosas-Acevedo y Sampedro-Rosas, 2006).

En condiciones de laboratorio *B. bassiana* y *Paecilomyces fumosoroseus* causaron 73 y 51% de mortalidad de *T. urticae*, respectivamente (Amaya *et al.*, 2008). Bajo las mismas condiciones, las aplicaciones de *B. bassiana* y *L. lecanii*, a 10^6 conidios/mL y 10^7 conidios/mL, causaron del 17-26% y 29-20% de mortalidad, respectivamente; el porcentaje de mortalidad de *Panonychus citri* fue menor con esos hongos lo que sugirió que el efecto de los hongos es diferente de acuerdo con el hospedante (Alayo y Wilson, 2014).

Márquez-Chávez *et al.* (2019) evaluaron en condiciones de laboratorio a *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae*, *Lecanicillium lecanii* e *Isaria fumosorosea* sobre *T. urticae*, ellos observaron que *B. bassiana* y *M. anisopliae* fueron los que causaron mayor mortalidad. Otro trabajo mostró la efectividad de *B. bassiana* y *M. anisopliae* aplicados a 10^7 conidios/mL sobre ninfas y adultos de *Oligonychus* sp.; en este caso se alcanzó 91 y 90% de mortalidad, respectivamente (Huanes-Carranza y Wilson-Krugg, 2016).

En Guanajuato se evaluó la efectividad de ocho cepas nativas de *M. anisopliae* contra *T. urticae* en fresa; dos de ellas (Ma3 y Ma11) lograron 100% de mortalidad, otras cuatro (Ma10, Ma1, Ma7 y Ma8) causaron mortalidades de 85, 83, 96 y 88%, respectivamente; dos más (Ma14 y Ma12) presentaron mortalidades del 27 y 78% (Jiménez-Hernández *et al.*, 2014).

En comparación con depredadores y parasitoides, los hongos entomopatógenos son fáciles y económicos de producir, son utilizados en una variedad de artrópodos, tanto ácaros como insectos, algunos son especialistas y otros son generalistas; una ventaja es que las plagas no generan resistencia a estos productos, ni causan impactos negativos al medio ambiente. No obstante, la interacción entre hongos y depredadores o parasitoides se debe estudiar para conocer los efectos y las posibilidades de su uso conjunto (Motta-Delgado y Murcia-Ordoñez, 2011).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ácaros (*Brevipalpus yothersi*, *Neoseiulus californicus* y *Amblyseius swirskii*)

Se empleó una cría de *B. yothersi* establecida en el laboratorio de Acarología del Colegio de Postgraduados, Texcoco, Estado de México; la cría se incrementó utilizando frutos de naranja. Los frutos se lavaban con jabón y agua de grifo, posteriormente se secaban a temperatura ambiente y con papel toalla. Una vez secos, se cubrieron de la parte baja con parafina caliente; en la parte superior se colocó, con un pincel, una mezcla de harina, yeso y arena (proporciones iguales) diluida en agua estéril a una proporción 2:1. Esta mezcla se colocó alrededor del punto de inserción del pedúnculo del fruto, dejando un área libre entre la parafina y la mezcla. Una vez seca, se transfirieron de 10 a 30 hembras por fruto, repitiendo el proceso cada 20 días. La colonia se mantuvo en una cámara de incubación a 25°C y un fotoperiodo de 16:8 luz-oscuridad.

Para confirmar la identidad de la especie se realizaron montajes permanentes, de manera frecuente, con individuos seleccionados de la cría al azar. Los montajes se realizaron en portaobjetos con una gota de medio de Berlese modificado (Lewis, 1974). Las identificaciones a especie se realizaron mediante las claves taxonómicas de Beard *et al.* (2012).

Los ácaros depredadores (*Neoseiulus californicus* y *Amblyseius swirskii*) que se emplearon en los ensayos los proporcionó la empresa Koppert-México. El material se solicitaba semanalmente y se obtenía de las presentaciones comerciales de los productos que vienen mezclados con salvado, en todos los ensayos se emplearon sólo a los adultos de ambas especies de depredadores.

3.2 Elaboración de arenas experimentales

Se elaboraron dos tipos de arenas experimentales. Las arenas tipo 1 se fabricaron con cajas Petri de 60 mm de diámetro, en su base se colocó papel filtro sobre una base de vaselina. El papel filtro se humedeció con agua estéril y sobre éste se colocó un disco de hoja de naranja de 5 cm de diámetro, con el envés hacia arriba (Figura 1). En medio del disco de hoja se colocó la mezcla de harina, yeso y arena, en la proporción descrita en los frutos para la cría, y se cubrió aproximadamente 40% de su superficie. Alrededor de la mezcla se colocó una mecha de algodón (Figura 1), que se humedecía diariamente con 1 mL de agua estéril durante el desarrollo de cada experimento.

Las arenas tipo 2 consistieron en frutos de naranja como los utilizados en la cría. En ellos se delimitó un área de 5 cm², cubriendo aproximadamente 4 cm² con la mezcla de harina, yeso y arena; esta área fue delimitada con una tapa de caja Petri perforada en el centro, en donde se colocó una malla que permitiera el intercambio gaseoso, pero que no dejara salir a los ácaros durante el desarrollo del experimento (Figura 1).

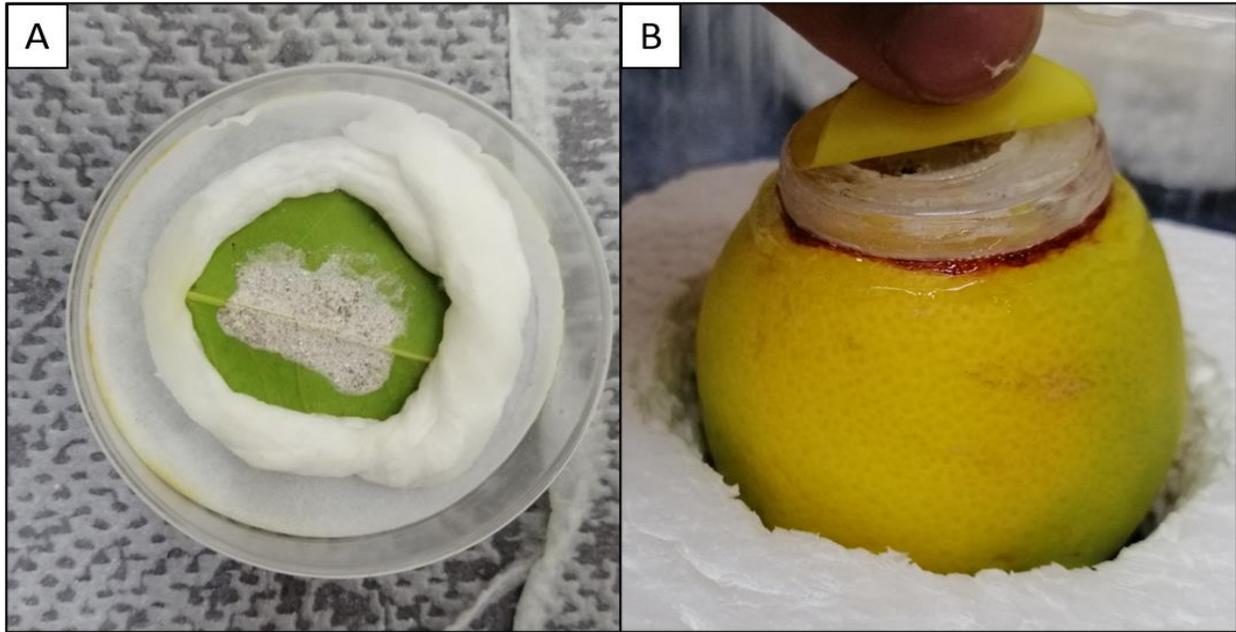


Figura 1. Arenas experimentales A) Tipo 1, B) Tipo 2.

3.3 Susceptibilidad de *Brevipalpus yothersi* a la infección por *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae* y *Cordyceps fumosorosea*

3.3.1 Aislamientos de los hongos

Se emplearon los aislamientos Bb88 de *B. bassiana*, Ma129 de *M. anisopliae* y Pfr4 de *C. fumosorosea*. Los aislamientos se habían mantenido en crio preservación a -80°C en tubos de 2 mL conteniendo glicerina estéril al 10%. Los tubos se mantuvieron en el laboratorio de Patología de Insectos, del Colegio de Postgraduados. Para su recuperación, los tubos que contenían conidios y micelio de los aislamientos fueron descongelados, agitados en vortex por un minuto y su contenido se repartió y expandió en cajas con medio Agar Dextrosa Sabouraud (ADS). Las cajas fueron selladas con Parafilm e incubadas a 25°C , en total oscuridad, durante 10 días.

3.3.2 Preparación de suspensiones de conidios

Una vez transcurrido el periodo de incubación, el micelio y conidios de las cajas se retiraron con la ayuda de un bisturí estéril, y se depositaron en tubos de centrifuga de 50 mL, que contenían 20 mL de Tween 80 al 0.03%. Todo el proceso se realizó en una cámara de flujo laminar. Los tubos se agitaron en vortex durante cinco minutos y el contenido se filtró con una gasa estéril a tubos nuevos. La concentración se determinó en una cámara de Neubauer, y la concentración se ajustó a 1×10^8 conidios mL^{-1} , en un volumen final de 5 mL. Todas las suspensiones de conidios se mantuvieron a 3 °C por no más de 12 horas antes de usarse.

3.3.3 Porcentaje de germinación

Para cada aislamiento se preparó 1 mL de suspensión de conidios a 1×10^6 conidios mL^{-1} . Cada tubo se agitó en vortex durante 5 minutos y se colocaron tres alícuotas de 100 μl en medio ADS, y se incubaron por 24 horas a las mismas condiciones descritas anteriormente. Posteriormente, con un objetivo de 40X de un microscopio óptico, se realizó el conteo de conidios germinados por cada 100. El porcentaje de germinación se realizó por triplicado para cada aislamiento. Los porcentajes de viabilidad fueron similares para todos los aislamientos y repeticiones del experimento (Cuadro 2).

3.3.4 Aplicación de tratamientos

Se evaluaron las especies de hongos Bb88 (T1), Ma129 (T2) y Pfr4 (T3), cada especie se constituyó en un tratamiento, más un testigo (T4) aplicando únicamente Tween 80 al 0.03%. Las aplicaciones se realizaron dentro de un cilindro de acrílico (30 cm de diámetro y una altura de 50 cm), con una boquilla de atomización (Spraying Systems Co. Cat. 1/4-J-SS-S, Wheaton, IL, USA)

unida a un compresor de aire a 20 psi. Antes de la aplicación de cada tratamiento se aplicaron 5 mL de hipoclorito de sodio al 3%, seguido de 5 mL de etanol al 70% y dos enjuagues de 10 mL de agua estéril. Cada tratamiento se aplicó sobre arenas tipo 1A con 10 hembras adultas, a una dosis de 5 mL de suspensión de conidios a 1×10^8 conidios mL^{-1} , mientras que en el testigo se aplicaron 5 mL de Tween 80 al 0.03%. Después de la aplicación, todas las hembras fueron transferidas a arenas nuevas, las cuales se incubaron a 25°C, 60% de HR y un fotoperiodo de 16:8 luz-oscuridad. La mortalidad se registró cada 24 h durante una semana, y los ácaros muertos se transfirieron a medio ADS, para confirmar la infección.

Cuadro 2. Porcentaje promedio de germinación en un total de 100 conidios por especie de hongo

Ensayo/hongo	<i>B. bassiana</i> (%)	<i>M. anisopliae</i> (%)	<i>C. fumosorosea</i> (%)
1	98.33	89.67	94.33
2	98.33	96.00	94.33
3	98.33	90.67	98.33
4	97.67	88.33	97.00
5	98.67	87.33	93.33

3.3.5 Cantidad de conidios por superficie

Durante cada aplicación se colocó una caja Petri, con 8 mL de medio ADS, para verificar la uniformidad de aplicación. Por cada caja se colocaron tres gotas de azul de metileno y encima un cubreobjetos. El conteo se realizó con el objetivo 40X de un microscopio compuesto; con esto se

determinó la cantidad de conidios de los aislamientos que caían por milímetro cuadrado en cada aplicación (Cuadro 3).

Cuadro 3. Cantidad de conidios por mm² en la aplicación de tratamientos

Experimento/hongo	<i>B. bassiana</i>	<i>M. anisopliae</i>	<i>C. fumosorosea</i>
1	2166.7	783.3	1933.3
2	2233.3	766.7	2200.0
3	2000.0	800.0	1583.3
4	1883.3	583.3	2116.7
5	1866.7	733.3	1633.3

3.3.6. Diseño experimental y análisis estadístico

El experimento se realizó con un diseño completamente al azar con cinco repeticiones por tratamiento, realizados en diferentes ocasiones. Los datos se analizaron mediante regresión logística usando una estructura factorial jerárquica, donde el tratamiento testigo fue comparado contra todos los tratamientos con hongo combinados, seguido de una comparación entre el tratamiento de *C. fumosorosea* con los tratamientos combinados de *B. bassiana* y *M. anisopliae*, y finalmente entre *B. bassiana* y *M. anisopliae*. Todos los análisis se realizaron con el programa GenStat v 8.0.

3.4 Capacidad de depredación de *Neoseiulus californicus* y *Amblyseius swirskii* sobre *B. yothersi*

3.4.1 Depredación sin selección

En este experimento se evaluó la capacidad depredadora de *N. californicus* y *A. swirskii* sobre los estados de desarrollo de *B. yothersi*; estos estados fueron: huevos (T1), larvas (T2), ninfas (T3) y hembras adultas (T4). Los ensayos se realizaron de manera separada para cada especie de depredador. Cada arena tipo 1 tenía 10 individuos de un solo estado de desarrollo de *B. yothersi*, después en cada arena se introdujeron dos depredadores, con ayuno previo de 12 horas. A los tratamientos testigos, conteniendo 10 individuos de cada estado de desarrollo, no se les colocaba ningún depredador. Las arenas se incubaron a 25°C, 60% de HR y un fotoperiodo de 16:8 luz-oscuridad. Los depredadores se retiraron a las 48 h y se contabilizó el número de presas consumidas. Los testigos también se evaluaron a las 48 h y se registró si hubo o no mortalidad.

3.4.2 Depredación con elección

Este experimento fue similar al anterior excepto que todos los estados de desarrollo fueron colocados en la misma arena, de manera que los depredadores pudieran elegir su presa. Para esto, se ofrecieron 10 huevos, 10 estados inmaduros (5 larvas y 5 ninfas) y 10 hembras adultas en una arena y posteriormente se introdujeron dos ácaros depredadores, los ensayos se realizaron de manera independiente para *A. swirskii* y *N. californicus*, ambas especies tuvieron ayuno de 12 h previas al experimento. En ambos casos hubo tratamientos testigo donde no se introdujo ningún depredador. Las arenas se mantuvieron en las mismas condiciones descritas anteriormente, los depredadores se retiraron a las 48 h y se contabilizó el número de presas consumidas en cada arena.

3.4.3. Diseño experimental y análisis estadístico

En ambos experimentos se utilizó un diseño completamente al azar. El experimento sin elección se realizó con tres repeticiones, y todo el experimento se repitió en cinco ocasiones diferentes. Los datos de este experimento se analizaron mediante regresión logística con una estructura factorial jerárquica, donde primero se comparó la mortalidad total obtenida en los testigos con la mortalidad total de los tratamientos con depredadores, seguido por la mortalidad total ocasionada por cada especie de depredador. Considerando únicamente los tratamientos con depredadores, se comparó la mortalidad ocasionada en cada uno de los estados de desarrollo evaluados y su interacción con la especie de depredador.

Para el experimento de elección, donde todos los estados de desarrollo de *B. yothersi* compartieron la arena y no hubo separación espacial entre ellos, los datos se analizaron mediante un modelo lineal mixto con extensión para datos sin distribución normal (modelo mixto lineal generalizado, GLMM por sus siglas en inglés), para datos binomiales con una función logística. Los análisis se realizaron considerando la mortalidad en cada estado de desarrollo de *B. yothersi*, y la especie de depredador más el testigo, como efectos principales, y como efecto aleatorio las repeticiones en tiempo. La estimación de los componentes de variación se realizó mediante el método de máxima verosimilitud restringida (REML por sus siglas en inglés). Para el caso de los efectos principales, se implementaron una serie de contrastes jerárquicos similar a los descritos anteriormente.

3.5 Capacidad de búsqueda de huevos de *B. yothersi* por *N. californicus* y *A. swirskii*

Las hembras de *B. yothersi* esconden sus huevos para reducir la depredación, en este caso las hembras escondieron los huevos en la mezcla de arena. Sin embargo, para los experimentos de elección y no elección, los huevos de *B. yothersi* fueron colocados de manera expuesta a los

depredadores; para determinar si los resultados de la depredación de huevos fueron afectados por el hábito de las hembras de *B. yothersi* de proteger a sus huevos, se realizó el siguiente experimento. En arenas tipo 2 (Figura 1B) se introdujeron 20 hembras adultas que ovipositaron por cuatro días. Posteriormente, se retiraron las hembras y se contó el total de huevos. Enseguida, se introdujeron los dos ácaros depredadores, se realizaron experimentos independientes por especie. En este caso se empleó una malla de serigrafía en la tapa de la caja Petri para favorecer la ventilación y evitar escape de los ácaros, la tapa se pegó a la naranja con Resistol 850 Escolar ©. Después de 48 horas los depredadores se retiraron y se contabilizó el total de huevos que quedaron en el fruto. Cada especie de depredador (*A. swirskii* y *N. californicus*) y el testigo se tomaron como los tratamientos.

3.5.1. Diseño experimental y análisis estadístico

Para el experimento se utilizó un diseño completamente al azar y de cada tratamiento se tuvieron entre 3 y 6 repeticiones, y todo el experimento se realizó en tres ocasiones diferentes. Los resultados de sobrevivencia de huevos en cada tratamiento presentaron una distribución normal, por lo que los datos se analizaron con ANOVA. Para la comparación específica entre tratamientos, se implementaron tres contrastes ortogonales para comparar primero el efecto de *A. swirskii* contra el testigo, *N. californicus* contra el testigo y el efecto de *A. swirskii* contra *N. californicus*.

3.6 Mortalidad de *B. yothersi* ocasionada por la acción individual y combinada de hongos entomopatógenos y ácaros depredadores

En este experimento se evaluó la capacidad de ambos depredadores para diseminar conidios de hongos entomopatógenos sobre *B. yothersi*, y determinar si la mortalidad combinada de ambos

enemigos naturales era mayor a la mortalidad por cada especie de manera individual. Se seleccionaron los aislamientos Bb88 (*B. bassiana*) y Ma129 (*M. anisopliae*) por haber causado mayor mortalidad, y se incluyeron ambas especies de depredadores. Se evaluaron los siguientes tratamientos: *N. californicus*-*B. bassiana*, *N. californicus*-*M. anisopliae*, *A. swirskii*-*B. bassiana*, *A. swirskii*-*M. anisopliae*, *N. californicus*, *A. swirskii* y testigo (sólo hembras de *B. yothersi*). Los hongos se sembraron en un círculo de papel celofán estéril de 10 cm de diámetro colocado sobre una placa de medio ADS, e incubaron durante 10 días a 25 °C en total oscuridad. El micelio y conidios se colectaron con una navaja estéril y se depositaron en tubos de centrífuga estériles de 50 mL y se mantuvieron a 4 °C hasta su uso, su almacenamiento nunca fue mayor a 12 horas antes de emplearse en los ensayos. De esos tubos se tomaron 0.050 mg de la mezcla (con micelio y conidios) y se depositaron en tubos Eppendorf de 2 mL; en éstos Eppendorf se introdujeron 12 ácaros depredadores y se mantuvieron en incubación a 25 °C y un fotoperiodo 12:12 luz-oscuridad, durante 12 horas. En cada arena experimental Tipo 1A se colocaron 10 hembras adultas y 20 huevos de *B. yothersi* distribuidos en cuatro puntos de la hoja, esto con el fin de promover el movimiento de los depredadores al buscar huevos (el estado de desarrollo preferido, ver resultados), y favorecer mayor diseminación de los conidios entre las hembras de *B. yothersi*. En todos los tratamientos, excepto el testigo, se depositaron dos ácaros depredadores por arena. Los depredadores se retiraron a las 48 horas, contabilizando el número de presas consumidas. La mortalidad de las hembras se siguió registrando cada 24 horas durante cinco días más. Los ácaros muertos se colocaron en medio ADS e incubaron a 25° C, en total oscuridad por 48 horas, para confirmar la causa de muerte.

3.6.1 Concentración de conidios por ácaro depredador

Esta sección se realizó para estimar la cantidad de conidios que llevaban los depredadores al momento de ser introducidos en las arenas. Diez ácaros depredadores de cada tratamiento se depositaron en tubos de 2 mL que contenían 100 μ L de Tween 80 al 0.03%. Los tubos se agitaron en vortex durante dos minutos y centrifugaron a 13000 g durante 30 segundos. De la suspensión resultante se tomaron 10 μ L y se contó (en una cámara de Neubauer) el número de conidios, utilizando un microscopio a 40X. La cantidad de conidios se dividió entre el número de ácaros (10) y se estimó el promedio de conidios por ácaro (Cuadro 4).

Cuadro 4. Concentración promedio de conidios por ácaro. N= *N. californicus*, A= *A. swirskii*, B= *B. bassiana*, M= *M. anisopliae*.

Tratamiento	Repetición			
	1	2	3	4
N+B	1.31×10^{-5}	6.93×10^{-4}	1.02×10^{-5}	1.45×10^{-5}
N+M	7.25×10^{-4}	4.48×10^{-4}	8.28×10^{-4}	3.93×10^{-4}
A+B	1.97×10^{-5}	7.93×10^{-4}	1.15×10^{-5}	8.82×10^{-4}
A+M	8.82×10^{-4}	5.28×10^{-4}	1.02×10^{-5}	7.45×10^{-4}

3.6.2 Diseño experimental y análisis estadístico

El experimento se realizó en un diseño completamente al azar con tres repeticiones por tratamiento, el experimento completo se repitió en cuatro ocasiones diferentes. Los datos de los resultados fueron analizados mediante regresión logística con un diseño factorial jerárquico. Primero se comparó la mortalidad del testigo contra la mortalidad total de todos los tratamientos con depredador más hongo, seguido de una comparación del efecto de cada depredador solo contra la combinación del depredador más hongo, y finalmente una comparación para cada depredador del efecto de diseminar conidios de Bb88 contra conidios de Ma129.

IV. RESULTADOS

4.1 Susceptibilidad de *Brevipalpus yothersi* a la infección por *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae* y *Cordyceps fumosorosea*

Los datos de las cuatro repeticiones fueron similares ($F_{4, 112} = 0.89$, $P = 0.475$), esto permitió combinar los datos de las cuatro repeticiones realizadas en fechas diferentes para compararlos estadísticamente.

La mortalidad del tratamiento testigo fue significativamente menor a la de los tratamientos con hongos ($F_{1, 112} = 77.73$, $P < 0.001$). La mortalidad ocasionada por el aislamiento Pfr4 (*C. fumosorosea*) fue menor a la ocasionada por los aislamientos Bb88 y Ma129 ($F_{1, 112} = 151.43$, $P < 0.001$) y no se encontró diferencias en la mortalidad ocasionada por los aislamientos Bb88 y MA129 ($F_{1, 112} = 2.21$, $P = 0.14$) (Fig. 2).

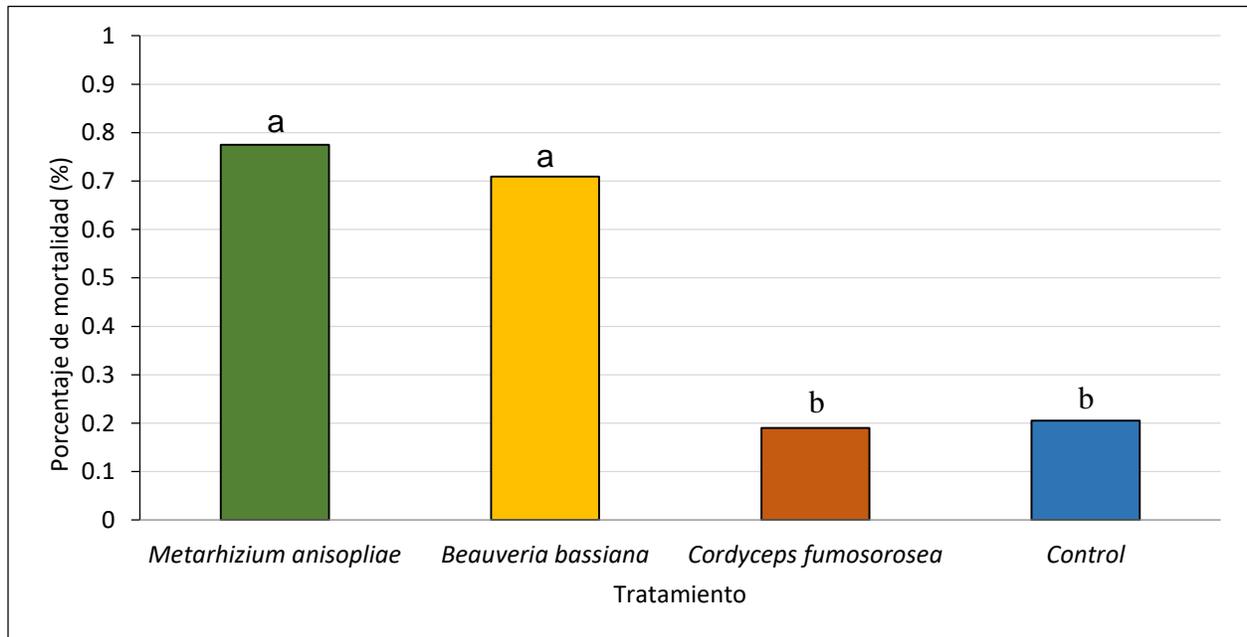


Figura 2. Mortalidad de *B. yothersi* causada por hongos entomopatógenos. Nota: Las letras sobre las barras denotan diferencias significativas entre tratamientos después del análisis de regresión logística con estructura factorial jerárquica.

4.2 Capacidad de depredación de *Neoseiulus californicus* y *Amblyseius swirskii* sobre *B. yothersi*

4.2.1 Depredación sin elección

Las repeticiones del experimento que se realizaron en fechas diferentes tuvieron resultados similares ($F_{4, 148}=1.14$, $P=0.339$), esto permitió combinar estos datos para subsecuentes comparaciones. La mortalidad de *B. yothersi* en los tratamientos con depredadores fueron significativamente superiores a la mortalidad en los tratamientos testigo ($F_{1, 148}=154.16$, $P<0.001$). No se encontró diferencia en la mortalidad ocasionada por ambos depredadores ($F_{1, 148}=0.78$, $P=0.377$). La mortalidad entre los estados de desarrollo tuvo diferencias significativas ($F_{3, 148}=100.66$, $P<0.001$), la mayor mortalidad se encontró en etapa de huevo, seguido por larva y ninfa; el adulto fue el estado de desarrollo menos depredado, este comportamiento fue similar en las dos especies de depredadores ($F_{3, 148}=0.09$, $P=0.965$) (Fig. 3).

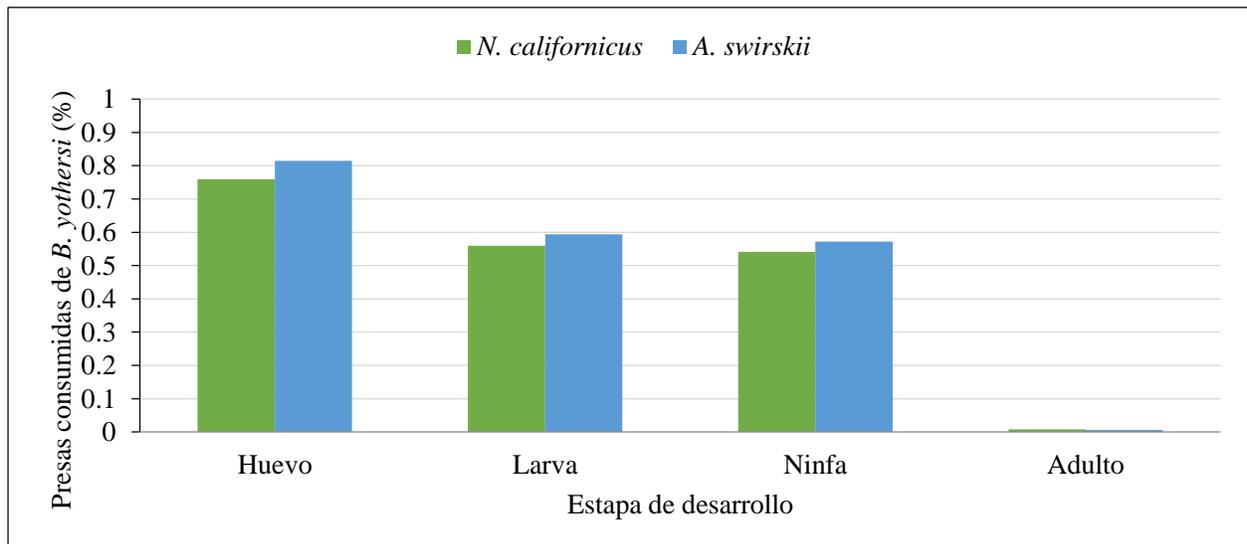


Figura 3. Depredación sin elección de *Neoseiulus californicus* y *Amblyseius swirskii* sobre *B. yothersi*.

4.2.2 Depredación con elección

Los resultados de estos ensayos fueron similares al anterior, la mortalidad que causaban ambas especies de depredadores, a la mezcla de estados de desarrollo de la presa en una arena, fue mayor que el tratamiento testigo ($F_{1, 171}=141.04$, $P<0.001$). En general, la mortalidad ocasionada por ambos depredadores en *B. yothersi* fue similar ($F_{1, 171}= 0.01$, $P=0.932$). El estado de desarrollo más consumido fue huevo, seguido de los estados inmaduros y finalmente el adulto ($F_{2, 171}=$, $P<0.001$), este comportamiento fue similar para los dos depredadores ($F_{2, 171}=3.42$, $P=0.184$) (Fig. 4).

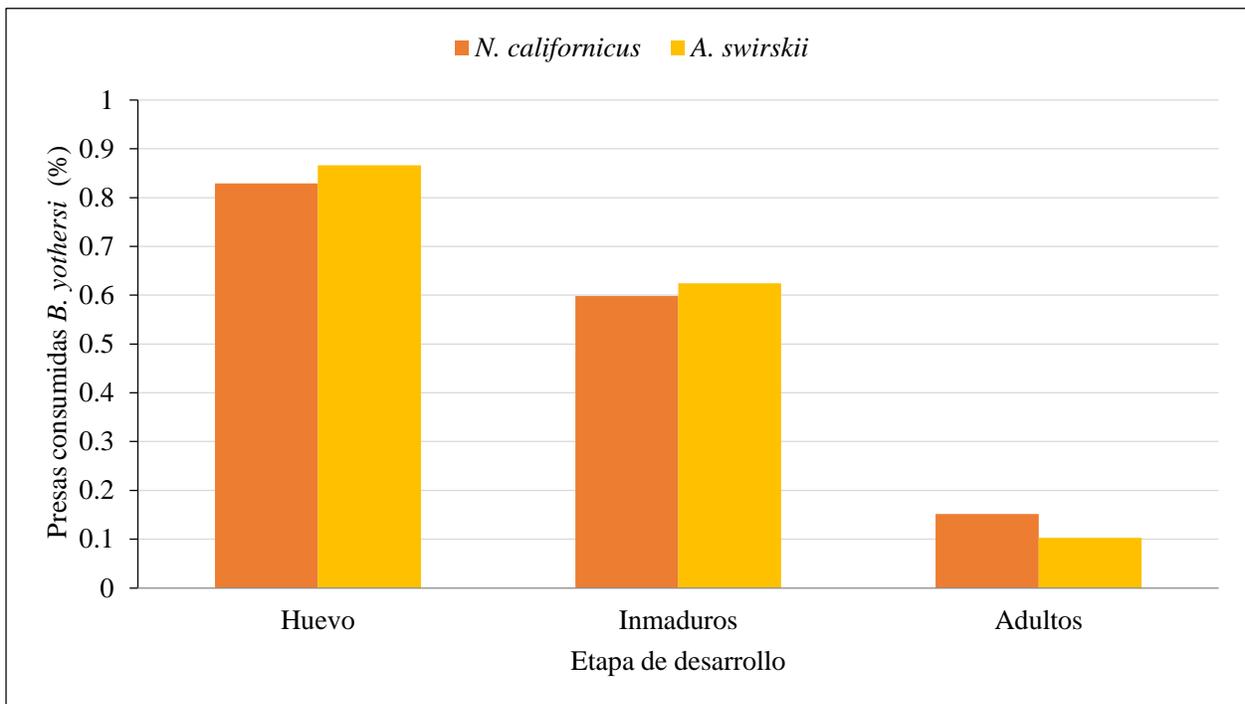


Figura 4. Depredación con elección de *Neoseiulus californicus* y *Amblyseius swirskii* sobre *B. yothersi*.

4.3 Capacidad de búsqueda de huevos de *B. yothersi* por *N. californicus* y *A. swirskii*

La cantidad de huevos viables al final del experimento, en las arenas experimentales, fue menor cuando se introdujo *A. swirskii* ($F_{1, 34}= 21.71$, $P<0.001$) comparado con el testigo. Para el caso de

N. californicus, la cantidad de huevos viables encontrada al final del experimento fue similar al testigo ($F_{1, 34}=0.68$, $P=0.414$). Al comparar entre los depredadores, la mayor depredación de huevos fue ocasionada por *A. swirskii* en comparación con *N. californicus* ($F_{1, 34}= 13.21$, $P<0.001$) (Fig. 5).

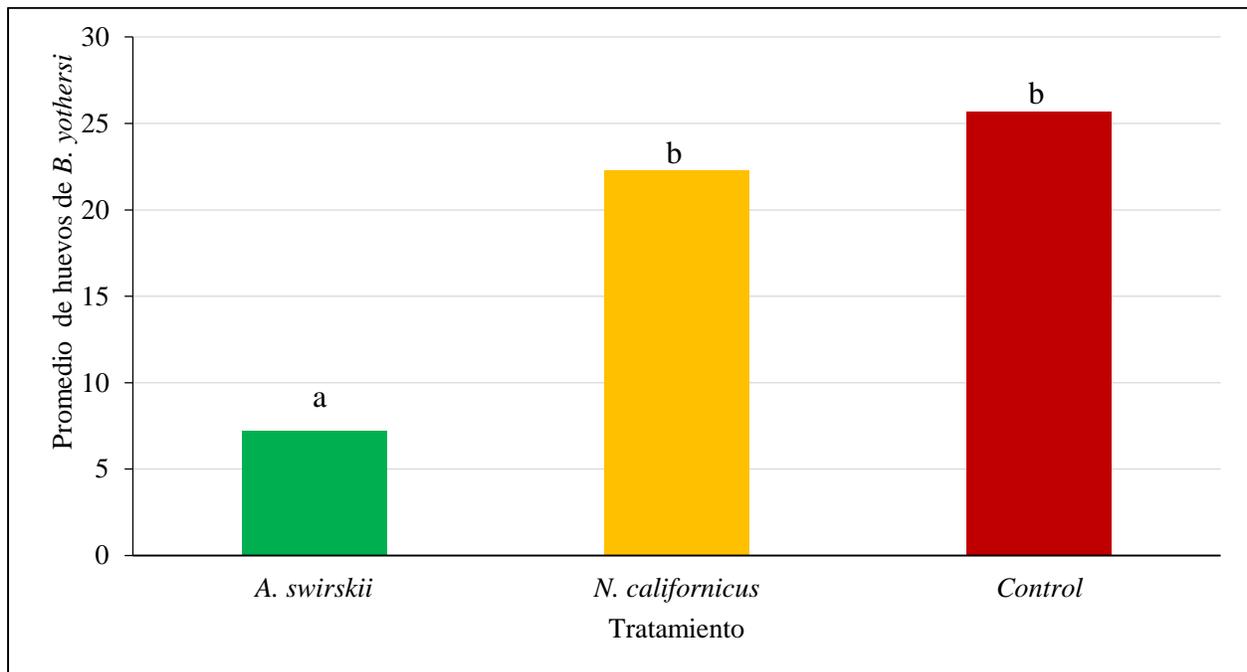


Figura 5. Cantidad final de huevos de *B. yothersi* en las arenas experimentales. Nota: Las letras sobre las barras denotan diferencias significativas entre tratamientos después del análisis de varianza con contrastes ortogonales.

4.4 Mortalidad de *B. yothersi* ocasionada por la acción individual y combinada de hongos entomopatógenos y ácaros depredadores

Las repeticiones realizadas en fechas diferentes fueron similares entre sí ($F_{3, 74}=1.35$, $P=0.263$), situación que justificó la combinación de datos para las demás comparaciones. En general, los tratamientos de depredadores y hongos más depredadores causaron mayor mortalidad en *B. yothersi* al compararse con el testigo ($F_{1, 74}=40.57$, $P<0.001$) (Fig. 6).

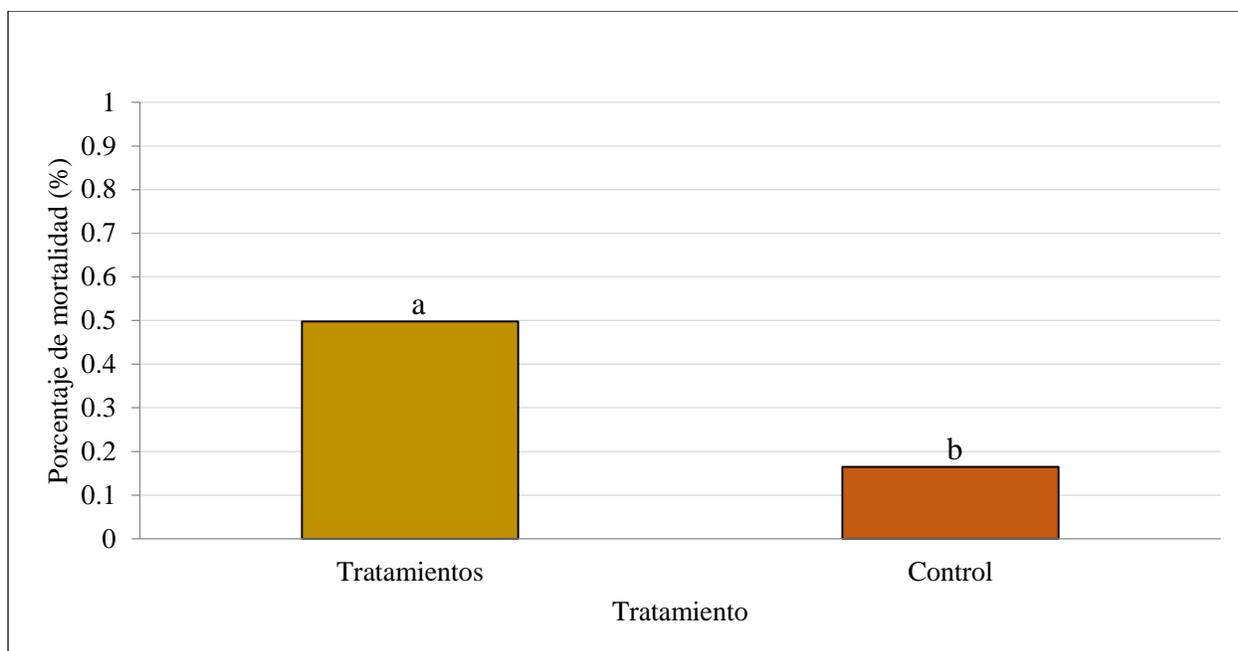


Figura 6. Mortalidad de *B. yothersi* en el tratamiento testigo y tratamientos combinados (depredadores y depredadores más hongos). Nota: Las letras sobre las barras denotan diferencias significativas entre tratamientos después del análisis de regresión logística con estructura factorial jerárquica.

La mortalidad ocasionada por la combinación de *A. swirskii* más los hongos fue mayor en comparación con la mortalidad ocasionada únicamente por este depredador ($F_{1, 74}=18.34$, $P<0.001$); además, no se encontró diferencia de mortalidad con alguna de las combinaciones con hongos Bb88 o Ma129 ($F_{1, 74}=1.96$, $P=0.165$) (Fig. 7).

Resultados similares fueron encontrados con *N. californicus*, el depredador sin conidios provocó menor mortalidad en comparación al depredador junto con conidios de los hongos entomopatógenos ($F_{1, 74}=12.89$, $P<0.001$) (Fig. 8). La mortalidad ocasionada por este depredador al llevar conidios del aislamiento Ma129 (*M. anisopliae*) fue mayor en comparación con el tratamiento donde llevó conidios de Bb88 (*B. bassiana*) ($F_{1, 74}=10.54$, $P=0.002$) (Fig. 8).

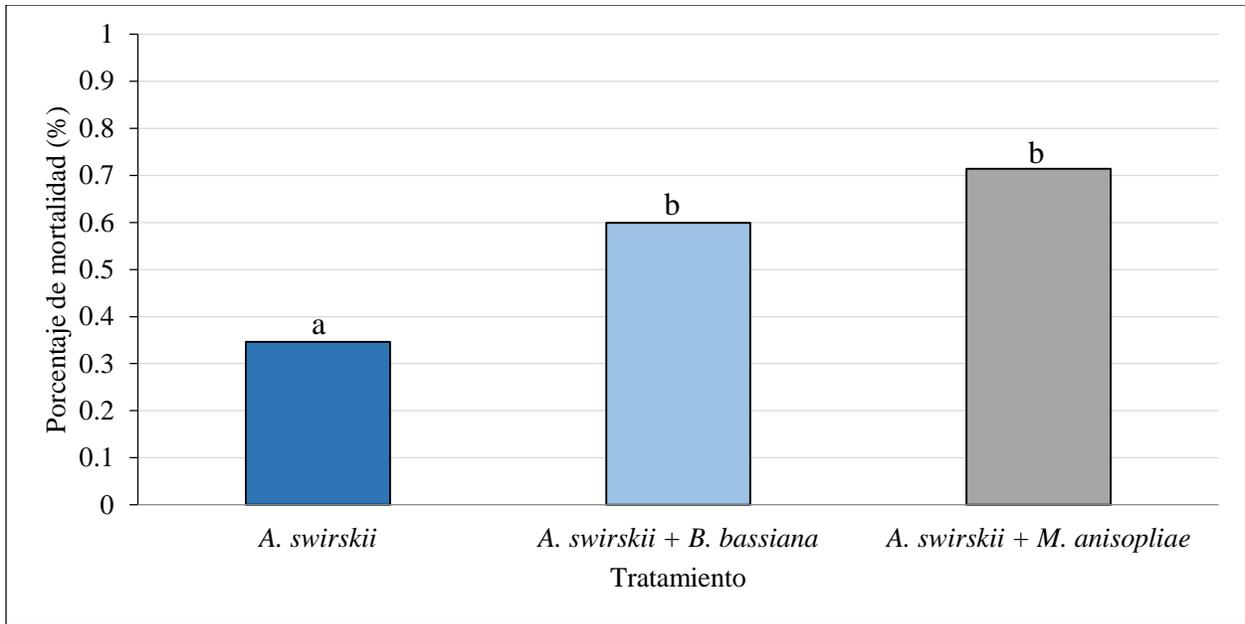


Figura 7. Mortalidad de *B. yothersi* en interacción de *A. swirskii* y hongos entomopatógenos. Nota: Las letras sobre las barras denotan diferencias significativas entre tratamientos después del análisis de regresión logística con estructura factorial jerárquica.

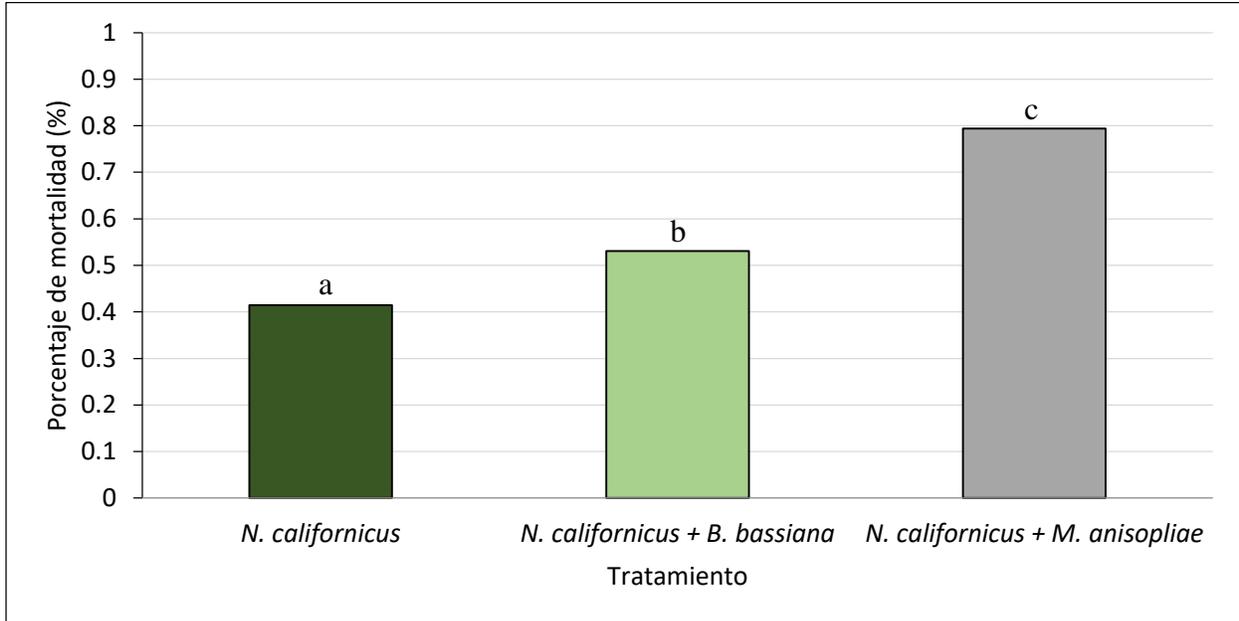


Figura 8. Mortalidad de *B. yothersi* en interacción de *N. californicus* y hongos entomopatógenos. Nota: Las letras sobre las barras denotan diferencias significativas entre tratamientos después del análisis de regresión logística con estructura factorial jerárquica.

V. DISCUSIÓN

En este trabajo se exploró el potencial de hongos entomopatógenos y depredadores, de manera conjunta, para el control de *B. yothersi*; siendo este último un ácaro de relevancia por su papel como vector de la leprosis de los cítricos. Las dos especies de ácaros depredadores (*A. swirskii*, *N. californicus*) tuvieron preferencia por consumir los estados inmaduros; el huevo fue el estado más preferido, seguido de larva y ninfa; el adulto fue el estado menos depredado, esta tendencia fue similar en los experimentos con y sin elección.

Varios trabajos señalan a *A. swirskii* como un depredador eficiente para reducir poblaciones de *T. urticae*, *P. latus*, *F. occidentalis* o *B. tabaci*, incluso se dice que *A. swirskii* es más eficiente en comparación con otros ácaros depredadores como *N. barkeri* y *N. californicus* (Momen y Abdel, 2021; Calvo *et al.*, 2015). En este trabajo no se encontraron diferencias significativas entre *A. swirskii* y *N. californicus*, y ambos tuvieron preferencia por consumir los estados inmaduros, particularmente los huevos. Es posible que la preferencia por los estados inmaduros se deba a la facilidad de obtención y acceso a estos estados de desarrollo de la presa, o la fragilidad de su estructura (Rahmani *et al.*, 2015), o a sus aportes nutricionales (da Silva *et al.*, 2015).

También es posible que la preferencia se debió a la exposición a la depredación, ya que en las arenas experimentales los huevos se colocaron de manera expuesta a los depredadores en una superficie reducida. De acuerdo con Aguilar-Piedra y Solano-Guevara (2020), y Mushtaq *et al.* (2021), *B. yothersi*, al igual que otras especies, depositan sus huevos en lugares protegidos presumiblemente para evitar la depredación. En el experimento donde las hembras de *B. yothersi* tuvieron oportunidad de colocar los huevos protegidos en arenas tipo 2A, también se encontraron diferencias entre depredadores, *A. swirskii* tuvo mayor depredación; es decir, fue más eficiente que

N. californicus para encontrar los huevos, este comportamiento le confiere potencialmente mayor ventaja para ser usado contra *B. yothersi*.

Los aislamientos de *B. bassiana* (Bb88) y *M. anisopliae* (Ma129) causaron mayor mortalidad sobre *B. yothersi*, en comparación con el aislamiento Pfr4 de *C. fumosorosea*. Resultados similares han sido reportados para otros aislamientos de estas mismas especies de hongos, al evaluarse sobre ácaros de las especies *T. urticae* y *Panonychus citri* (Castro *et al.*, 2018; Qasim *et al.*, 2021; Yucel, 2021). En el caso del aislamiento Pfr4, es difícil explicar porque causó mortalidades bajas, a pesar de que se ha reportado causando mortalidades de hasta 90% en ácaros de las especies *T. urticae* y *Eutetranychus orientalis* (Zemek *et al.*, 2016; El-Sharabasy, 2015; Moreno-Gavira *et al.*, 2020). No se debe descartar que la capacidad infectiva de este aislamiento (Pfr4) podría ser diferente en otros estados de desarrollo de *B. yothersi*, aquí solo se evaluó sobre hembras adultas. Para nuestros fines, las mortalidades causadas por los aislamientos Bb88 y Ma129 fueron el motivo para seleccionarlos y evaluarlos en experimentos posteriores.

La efectividad de aplicación de hongos a nivel de campo, para causar infección en su hospedante, puede ser efectiva y lograr mortalidades similares a las de laboratorio. No obstante, para lograr esas mortalidades se requiere de concentraciones de conidios muy altas en la pulverización, lo que a su vez se puede traducir en incremento en costos para el control de una plaga (Jaronski, 2010). Esta es una de las razones más importantes para investigar la utilización de otros organismos como vectores de conidios, con la finalidad de hacer más eficiente la aplicación de hongos y causar infección en las poblaciones objetivo (Lin *et al.*, 2017; Lin *et al.*, 2019).

La evidencia en incremento de mortalidad con el uso combinado de ácaros depredadores y hongos entomopatógenos, reportado en este trabajo, sugiere que esta táctica podría ser viable para reducir poblaciones de *B. yothersi*. En este trabajo se encontró que las mortalidades fueron más altas en

comparación con los tratamientos en donde solo se aplicaron ácaros depredadores. Algo relevante de discutir es que la mortalidad fue similar a la obtenida cuando sólo se aplicaron los hongos (Fig. 2), pero con la ventaja de que se empleó menor cantidad de conidios en comparación con las aplicaciones de suspensiones. Resultados similares fueron obtenidos en poblaciones de *T. urticae* al emplear estos mismos aislamientos de hongos entomopatógenos (Castillo-Ramírez *et al.* 2020). En ese caso los autores indicaron que donde los depredadores dispersaron conidios de hongos lograron una mayor mortalidad sobre adultos de *T. urticae*, en comparación con la aplicación individual de cada agente de control biológico.

En este trabajo se encontró que, para ambos ácaros depredadores, la mayor mortalidad fue obtenida al combinarlos con el aislamiento Ma129 (*M. anisopliae*), lo que sugiere a este aislamiento como el más idóneo para ser empleado para control de *B. yothersi*. El control ejercido por los hongos entomopatógenos o de los depredadores de manera individual en *B. yothersi* fue aceptable (40-80%), pero la combinación de ambos agentes de control biológico fue mucho mejor (50-80%). Este efecto puede explicarse, al menos en la mayor parte, porque los ácaros depredadores pueden llevar los conidios directamente a la plaga, ocasionando mortalidades altas en adultos de *B. yothersi*. Además, los depredadores generalmente no consumieron adultos de *B. yothersi* en las pruebas de elección y no elección, pero si huevos y estados inmaduros de *B. yothersi*.

De manera general, el uso combinado de depredadores y hongos entomopatógenos ha resultado con gran potencial en otros estudios. Por ejemplo, se demostró que un aislamiento de *B. bassiana* redujo las poblaciones de trips, y el depredador *Neoseiulus barkeri* atacó las poblaciones de la plaga que lograron sobrevivir a la infección del hongo (Wu *et al.*, 2017). Otra ventaja adicional en la utilización de depredadores como vectores es su capacidad de búsqueda, y su desplazamiento hacia la plaga, lo que disminuye la cantidad de conidios que se utilizan para lograr mortalidades

altas cuando es aplicado en suspensiones; además de que esta última también es afectada por la localización de los ácaros blanco en la planta y la morfología de esta (Castillo-Ramírez *et al.*, 2020). Causando problemática en este tipo de aplicación, ya que los ácaros tienden a ocultarse en su hospedero, como es el caso de, *B. yothersi* que normalmente habita en zonas ocultas de la planta o en el envés de las hojas (Childers *et al.*, 2003b).

La factibilidad de usar ácaros depredadores como vectores de hongos entomopatógenos se puede incrementar más, particularmente cuando se consideran más variables. Por ejemplo, es probable que *B. yothersi* sea aparentemente más susceptible a hongos entomopatógenos que sus depredadores. En algunos trabajos previos se demostró que *A. swirskii* y *N. californicus* son más resistentes a la infección por los mismos aislamientos de hongos que se usaron en este estudio, al compararse con adultos de *T. urticae* (Castillo-Ramírez *et al.*, 2020); esa diferencia en susceptibilidad probablemente se debió a que los ácaros depredadores poseen una cutícula gruesa, haciendo que el conidio se desprenda después de no penetrar su cuerpo (Wu *et al.*, 2018; Wu *et al.*, 2016). Consideramos que la introducción simultánea de ácaros depredadores y hongos entomopatógenos podría regular poblaciones de *B. yothersi*; sin embargo, se recomienda realizar estudios a nivel de invernadero y campo para validar esta táctica de control contra *B. yothersi*.

VI. CONCLUSIONES

Los aislamientos Bb88 y MA129 de *B. bassiana* y *M. anisopliae*, respectivamente, causaron niveles altos de infección en *B. yothersi*, en comparación con el aislamiento Pfr4 de *C. fumorosea*. Ambos depredadores fueron similares en el consumo y preferencia por presas; los huevos fueron el estado de desarrollo preferido, seguido de larvas, ninfas y finalmente adultos. *A. swirskii* presentó mayor capacidad de búsqueda de huevos en comparación con *N. californicus*. La

combinación de *N. californicus* y el aislamiento Ma129 causaron una mortalidad mayor en adultos de *B. yothersi* en comparación con las otras combinaciones. Se considera al ácaro *A. swirskii* como la especie más adecuada para ser utilizada en combinación con los hongos, por tener una mayor capacidad de búsqueda de huevos y habilidad para consumir larvas y ninfas de *B. yothersi*, en comparación con *N. californicus*. Es importante validar esta táctica a nivel de invernadero y campo antes de ser implementada como parte del manejo integrado de *B. yothersi* en cítricos de importancia económica.

VII. LITERATURA CITADA

- Abou-Awad BA, Hafez SM, Farhat BM (2014) Biological studies of the predacious mite *Amblyseius swirskii*, a predator of the broad mite *Polyphagotarsonemus latus* on pepper plants (Acari: Phytoseiidae: Tarsonemidae). Archives of Phytopathology and Plant Protection 47: 349-354. doi:10.1080/03235408.2013.809908.
- Agboton BV, Hanna R, Onzo A, Vidal S, von Tiedemann A (2013) Interactions between the predatory mite *Typhlodromalus aripo* and the entomopathogenic fungus *Neozygites tanajoae* and consequences for the suppression of their shared prey/host *Mononychellus tanajoa*. Exp Appl Acarol 60: 205–217.
- Aguilar-Piedra H, Solano-Guevara AM (2020) Nuevos hospederos y registros de ácaros fitófagos para Costa Rica: período 2013-2018. Agronomía Costarricense 44: 9-28. <https://dx.doi.org/10.15517/rac.v44i1.39996>.
- Akyazi R, Reyhan MS, Duygu JC, Saim B (2019) Ecofriendly control approaches for *Polyphagotarsonemus latus* (Acari: Tarsonemidae) on tea (*Camellia sinensis* L.). International Journal of Acarology 45: 79-89. DOI: 10.1080/01647954.2018.1544989.
- Alayo E, Wilson J (2014) Efecto de *Lecanicillium lecanii* y *Beauveria bassiana* sobre el ácaro *Panonychus citri* en condiciones de laboratorio. REBIOL 34: 42-50
- Alberti G, Garita C (2014) Anatomy and Fine Structure of Brevipalpus Mites (Tenuipalpidae)-Economically Important Plant-Virus Vectors-Part 3: Digestive System. Zoologica 160: 1-192.
- Albuquerque F, Arantes A, Correia A (2000) Patogenicidade de fungos para o acaro da leprose *Brevipalpus phoenicis* (Geijskes, 1939) (Acari: Tenuipalpidae). Acta scientiarum 22: 969-971.

- Alves EB, Nádia FB, Omoto CC (2005) Mecanismos de dispersão de *Brevipalpus phoenicis* (Giejskes) (Acari: Tenuipalpidae) en pomares de citros. *Neotropical Entomology* 34:89–96
- Amaya D, Barrera A, Hilarión A, Bustos A, Cantor F (2008) Evaluación de la efectividad de dos hongos entomopatógenos y un extracto vegetal, para el control de *Tetranychus urticae*, en condiciones de laboratorio. *Revista facultad de ciencias biológicas* 4: 62-69.
- Andrade D, Pattaro F, Morais M, Barbosa C, Oliveira C (2013) Technical and economic aspects of pruning and *Brevipalpus phoenicis* chemical control in the citrus leprosis management. *Revista Brasileira de Fruticultura* 35: 409-424.
- Andrade D, Pattaro F, Oliveira C (2011) Lime sulfur residue on acaricide efficiency in the control of *Brevipalpus phoenicis*. *Ciência Rural* 41: 1695-1701.
- Argolo PS, Revynthi AM, Canon MA., Berto MM, Andrade DJ, Roda A, Döker İ, Carrillo D (2020) Potential of predatory mites for biological control of *Brevipalpus yothersi* (Acari: Tenuipalpidae). *Biological Control* 149: 1-10.
- Argüelles A, Plazas N, Bustos A, Cantor F, Rodríguez D, Hilarion A (2013) Interacción entre dos ácaros depredadores de *Tetranychus urticae* KOCH (Acariformes: Tetranychidae) en laboratorio. *Acta Biológica Colombiana* 18: 137-148.
- Arredondo HC, Tamayo F, Rodríguez LA (2020) Fundamento y practica del control biológico de plagas y enfermedades. México.
- Bassanezi RB, Laranjeira FF (2007) Spatial patterns of leprosis and its mite vector in commercial citrus groves in Brazil. *Plant Pathology* 56:97–106.
- Bastianel M, Kitajima EW, Kubo KS, Bassanezi RB, Machado MA, Freitas J (2010) Citrus leprosis: centennial of an unusual mite virus pathosystem. *Plant Disease* 94: 284-292.
- Bautista-Martinez N, Carrillo-Sanchez JL, Bravo-Mojic H, Koch S (1998) Natural Parasitism of *Phyllocnistis citrella* (Lepidoptera: Gracillariidae) at Cuitlahuac, Veracruz, México. *The Florida Entomologist* 81: 30-37.
- Beard JJ, Ochoa R, Bauchan GR, Trice MD, Redford AJ, Walters TW, Mitter C (2012) Flat Mites of the World Edition 2. Fort Collins, USA.
- Beltran-Beltran AK, Santillán-Galicia MT, Guzmán-Franco AW, Teliz-Ortiz D, Gutiérrez-Espinoza MA, Romero-Rosales F, Robles-García PL (2020) Incidence of Citrus leprosis virus C and Orchid fleck dichorhavirus Citrus Strain in Mites of the Genus *Brevipalpus* in Mexico. *Journal of Economic Entomology* 113: 1576–1581. doi:10.1093/jee/toaa007.
- Bitancourt AA (1955) Estudos sobre a leprose dos citros. *Arquivos do Instituto Biológico* 22: 161-184
- Cabrera R, de la Torre P, Otero-Colina G (2009) Catálogo de ácaros eriofioideos (Acari: Trombidiformes) parasitados por especies de *Hirsutella* (Deuteromycetes) en Cuba. *Revista Ibérica de Aracnología* 17: 57-62.

- Cabrera R, Martínez H, Almaguel L, Ibáñez Y, Vega M (2004) *Hirsutella* sp., un nuevo parásito para el ácaro *Schizotetranychus elymus* (Acari: Tetranychidae) en el cultivo del arroz. *Fitosanidad (La Habana)* 8: 51-54.
- Calvo FJ, Knapp M, van Houten YM, Hoogerbrugge H, Belda JE (2015). *Amblyseius swirskii*: What made this predatory mite such a successful biocontrol agent?. *Experimental and Applied Acarology* 65: 419-433.
- Castillo-Ramírez O, Guzmán-Franco AW, Santillán-Galicia MT, Tamayo-Mejía F (2020) Interaction between predatory mites (Acari: Phytoseiidae) and entomopathogenic fungi in *Tetranychus urticae* populations. *BioControl* 65:433-445.
- Castro T, Eilenberg J, Delalibera I (2018) Exploring virulence of new and less studied species of *Metarhizium* spp. *Experimental and Applied Acarology* 74: 139–146. <https://doi.org/10.1007/s10493-018-0222-6>.
- Childers C, French J, Rodrigues J (2003b) *Brevipalpus californicus*, *B. obovatus*, *B. phoenicis*, and *B. lewisi* (Acari: Tenuipalpidae): a review of their biology, feeding injury and economic importance. *Experimental and Applied Acarology* 30: 5-28.
- Childers CC (1994) Feeding injury to ‘Robinson’ tangerine leaves by *Brevipalpus* mites (Acari: Tenuipalpidae) in Florida and evaluation of chemical control on citrus. *The Florida Entomologist* 77: 265-271.
- Childers CC, Rodrigues JC, Welbourn WC (2003a) Host plants of *Brevipalpus californicus*, *B. obovatus*, and *B. phoenicis* (Acari: Tenuipalpidae) and their potential involvement in the spread of viral diseases vectored by these mites. *Experimental and Applied Acarology* 30: 29-105.
- da Silva MZ, Sato ME, de oliveira CAL, Nicastro RL (2015). Interspecific interactions involving *Neoseiulus californicus* (Acari: Phytoseiidae) and *Agistemus brasiliensis* (Acari: Stigmaeidae) as predators of *Brevipalpus phoenicis* (Acari: Tenuipalpidae). *Experimental and Applied Acarology* 65: 319-329. <https://doi.org/10.1007/s10493-014-9874-z>.
- De Souza-Pimentel G, Reis P, da Silveira E, Marafeli P, Silva E, de Andrade HB (2014) Biological control of *Tetranychus urticae* (Tetranychidae) on rosebushes using *Neoseiulus californicus* (Phytoseiidae) and agrochemical selectivity. *Revista Colombiana de Entomología* 40: 80-84.
- Della JF, Ferreira MC, Andrade DJ (2018) Interaction of spiroadiclofen with insecticides for the control of *Brevipalpus yothersi* in citrus. *Pest Management Science* 74: 2438-2443.
- El-Sharabasy HM (2015) Laboratory evaluation of the effect of the entomopathogenic fungi, *Hirsutella thompsonii* and *Paecilomyces fumosoroseus*, against the citrus brown mite, *Eutetranychus orientalis* (Acari: Tetranychidae). *Plant Protection Science* 51: 39-45.

- Fadamiro H, Xiao Y, Hargroder T, Nesbitt M, Umeh V, Childers C (2008) Seasonal occurrence of key arthropod pests and associated natural enemies in Alabama satsuma citrus. *Environmental Entomology* 37: 555-567.
- Fawcett HS (1911) Scaly bark or nail-head rust of citrus. Florida Agricultural Experiment Station Bulletin 106: 1-41.
- Ferreira CT, Krug C, García MV, de Moraes GJ (2018) Leprosis mite and other mite species (Acari) associated to orange groves in Brazilian Central Amazon. *Systematic and Applied Acarology* 23:449-462. <https://doi.org/10.11158/saa.23.3.4>.
- Ferreira LM, Nunes MA, Sinico TE, Soares AJ, Novelli VM (2020) *Brevipalpus* Species Vectoring Citrus Leprosis Virus (Cilevirus and Dichorhavirus). *Journal of Economic Entomology* 113: 1628-1634. doi:10.1093/jee/toaa070.
- Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database (FAOSTAT) (2020) Datos, cultivos. <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>. Consultado el 2 de junio de 2020.
- Gaona G, Ruíz E, Peña R (2000) Los pulgones (Homoptera: Aphididae) y sus enemigos naturales en la naranja, *Citrus sinensis* (L.), en la zona centro de Tamaulipas, México. *Acta Zoológica Mexicana* 81: 1-12.
- García-Escamilla P, Duran-Trujillo Y, Otero-Colina G, Valdovinos-Ponce G, Santillán-Galicia MT, Ortiz-García CF, Sánchez-Soto S (2018) Transmission of viruses associated with cytoplasmic and nuclear leprosis symptoms by *Brevipalpus yothersi* and *B. californicus*. *Tropical Plant Pathology* 43: 69-77.
- Gómez-Mercado R, Santillán-Galicia MT, Guzmán-Franco AW, Valdovinos-Ponce G, Becerril-Román EA, Robles-García PL (2019) Spatiotemporal association between the mite *Brevipalpus yothersi* and Citrus leprosis virus C in orange orchards. *Experimental and Applied Acarology* 79: 69-86. <https://doi.org/10.1007/s10493-019-00409-w>.
- Hall DG, Simms M (2003) Damage to Citrus by Texas Citrus Mite. *Florida Entomologist* 86: 27-28.
- Hastie E, Benegas A, Rodríguez H (2010) Inventario de ácaros depredadores asociados a fitoácaros en plantas de las familias Arecaceae y Musaceae. *Revista de Protección Vegetal* 25: 17-25.
- Hislop RG, Jeppson LR (1976) Morphology of the mouthparts of several species of phytophagous mites. *Annals of the Entomological Society of America* 69: 1125–1135.
- Huanes-Carranza J, Wilson-Krugg J (2016) Efecto de *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae* sobre adultos y ninfas de *Oligonychus* sp. en condiciones de laboratorio. *Revista de Investigación Científica REBIOL* 36: 51-58.
- Jaronski ST (2010) Ecological factors in the inundative use of fungal entomopathogens. *BioControl* 55: 159-185.
- Jiménez-Hernández SY, Hernández-Moreno JI, Núñez-Palenius H, Arriola-Mosqueda LA, Jiménez-Lara Y, Angel-Sahagún CA (2014) Evaluación de la efectividad de cepas nativas

- del estado de Guanajuato de *Metarhizium anisopliae* (metschnikoff) sorokin sobre la araña roja (*Tetranychus urticae*, koch) en condiciones de laboratorio. *Entomología Mexicana* 1: 310-314.
- Kaatsch P (2017) Umweltbelastung und Krebsrisiko im Kindesalter. *Monatsschr Kinderheilkd* 165: 395–401. <https://doi.org/10.1007/s00112-017-0281-5>.
- Kitajima E, Chagas C, Rodrigues J (2003) Brevipalpus-transmitted plant virus and virus-like diseases: cytopathology and some recent cases. *Experimental and Applied Acarology* 30: 135-160.
- Kitajima EW, Müller GW, Costa AS, Yuki VA (1972) Short, rod-like particles associated with citrus leprosis. *Virology* 50: 254-258.
- Knorr LC (1968) Studies on the etiology of leprosis in citrus. *International Organization of Citrus Virologists Conference Proceedings (1957-2010)* 4: 332-341.
- Knorr LC, DuCharme EP (1951) Notes on "lepra explosiva". *IDIA* 42: 32-38.
- Leon G (2012) Current status of the Citrus leprosis virus (CiLV -C) and its vector *Brevipalpus phoenicis* (Geijskes). *Agronomía Colombiana* 30: 242-250.
- Leon MG, Roy A, Choudhary N, Brlansky R (2017a) Parámetros de transmisión del virus de la leprosis de los cítricos por *Brevipalpus yothersi* (Acari: Tenuipalpidae). *Revista Colombiana de Entomología* 43:215-222. <https://doi.org/10.25100/socolen.v43i2.5946>.
- Leon MG, Roy A, Choudhary N, Brlansky R (2017b) Transmisión de leprosis de los cítricos por ácaros *Brevipalpus yothersi* a través de hospederos no cítricos. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria* 18: 307-319.
- Lewis DJ (1974) The biology of Phlebotomidae in relación to leishmaniasis. *Annual Review of Entomology* 19: 363-384.
- Lin G, Guertin C, Di Paolo SA, Todorova S, Brodeur J (2019) Phytoseiid predatory mites can disperse entomopathogenic fungi to prey patches. *Scientific Reports* 9: 19435 <https://doi.org/10.1038/s41598-019-55499-8>.
- Lin G, Tanguay A, Guertin C, Todorova S, Brodeur J (2017) A new method for loading predatory mites with entomopathogenic fungi for biological control of their prey. *Biological Control* 115: 105–111. doi:10.1016/j.biocontrol.2017.09.012.
- Lin H, Zhimo Z, Xinping D, Jinjun W, Huai L (2003) Resistance risk assessment: realized heritability of resistance to methrin, abamectin, pyridaben and their mixtures in the spider mite, *Tetranychus cinnabarinus*. *International Journal of Pest Management* 49: 271-274.
- Livingston G, Hack L, Steinmann K, Grafton EE, Rosenheim JA (2018) An ecoinformatics approach to field-scale evaluation of insecticide effects in California citrus: are citrus thrips and citrus red mite induced pests?. *Journal of Economic Entomology* 111: 1290–1297.

- Magalhães BP, Rodrigues J, Boucias DR, Childers C (2005) Pathogenicity of *Metarhizium anisopliae* var. *acidum* to the false spider mite *Brevipalpus phoenicis* (Acari: Tenuipalpidae). *Florida Entomologist* 88: 195-198.
- Márquez-Chávez A, Guzmán-Franco AW, Santillán-Galicia MT, Tamayo-Mejía F, Rodríguez-Maciel JC (2019) Effect of host plant on the genetic diversity of *Tetranychus urticae* Koch populations and their susceptibility to fungal infection. *Biological Control* 137: 104015.
- Martelli I, Ferreira L, Kawabata E, Pinheiro L, Schinor E, Bastianel M, Azevedo F, Azevedo A (2009) Óleo mineral no controle do ácaro da leprose dos citros (*Brevipalpus phoenicis*). *Cordeirópolis* 30: 13-27.
- Maya CJ (2017) Cítricos mexicanos en el mercado japonés: experiencias y oportunidades para Sinaloa. *México y la cuenca del pacífico* 6: 107-142.
- Midthassel A, Leather S, Wright D, Baxter I (2016). Compatibility of *Amblyseius swirskii* with *Beauveria bassiana*: two potentially complimentary biocontrol agents. *BioControl* 61:437–447. <https://doi.org/10.1007/s10526-016-9718-3>.
- Momen FM, Abdel A (2021) Intraguild predation in three generalist predatory mites of the family Phytoseiidae (Acari: Phytoseiidae). *Egyptian Journal of Biological Pest Control* 31: 8. <https://doi.org/10.1186/s41938-020-00355-5>.
- Monjarás J, Vanoye V, Rocandio M, Mora S, Gaona G, Chacón J (2016) New Wild Host of *Brevipalpus californicus* Banks in Northeastern Mexico. *Southwestern Entomologist* 41: 583-586.
- Monzón A (2001) Producción, uso y control de calidad de hongos entomopatógenos en Nicaragua. *Manejo Integrado de Plagas (Costa Rica)* 63: 95-103.
- Moreno-Gavira A, Huertas V, Diánez F, Sánchez-Montesinos B, Santos M (2020) *Paecilomyces* and Its Importance in the Biological Control of Agricultural Pests and Diseases *Plants* 9: 1-28.
- Motta-Delgado PA, Murcia-Ordoñez B (2011) Hongos entomopatógenos como alternativa para el control biológico de plagas. *Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science* 6: 77-90.
- Muñoz JL, Rodríguez A (2014) Ácaros asociados al cultivo del aguacate (*Persea americana* Mill) en la costa central de Perú. *Agronomía Costarricense* 38: 215-22.
- Mushtaq HMS, Kamran M, Alatawi FJ (2021) Two new life types and assessment of web-associated behavioral characteristics of some *Oligonychus* species on various host plants. *Experimental and Applied Acarology* 83: 211-227. <https://doi.org/10.1007/s10493-020-00579-y>.
- Pacheco ML, Reséndiz JF, Arriola VJ (2019) Organismos entomopatógenos como control biológico en los sectores agropecuario y forestal de México: una revisión. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 10: 4-32 .

- Palomares-Pérez M, Ayala-Zermeño MA, Rodríguez-Vélez B, de la Cruz-Llanas JJ, Sánchez-González JA, Arredondo-Bernal HC, Córdoba-Urtiz EG (2016) Abundance and predation of *Ceraeochrysa valida* (Neuroptera: Chrysopidae) on *Diaphorina citri* (Hemiptera: Liviidae) in Colima, Mexico. Chilean journal of agricultural & animal sciences 32: 234-243.
- Qasim M, Ronliang J, Islam W, Ali H, Khan K, Dash C, Amal Z, Wang L (2021) Comparative pathogenicity of four entomopathogenic fungal species against nymphs and adults of citrus red mite on the citrus plantation. International Journal of Tropical Insect Science 41: 737-749.
- Quirós-McIntire E, Rodríguez, H. (2010). Predator mites associated with *Steneotarsonemus spinki* smiley (Acari: Tarsonemidae) in Panamá. Revista de Protección Vegetal 25: 103-107.
- Rahmani H, Daneshmandi A, Walzer A (2015) Intraguild interactions among three spider mite predators: predation preference and effects on juvenile development and oviposition. Experimental and Applied Acarology 67: 493-505. <https://doi.org/10.1007/s10493-015-9974-4>.
- Revynti A, Pena J, Moreno J, Beam A, Mannion C, Bailey W, Carrillo D (2019) Effectiveness of hot-water immersion against *Brevipalpus yothersi* (Acari: Tenuipalpidae) as a postharvest treatment for lemons. Journal of Economic Entomology 113: 126-133.
- Ripa R, Rodríguez F (2000) Plagas de cítricos, sus enemigos naturales y manejo. Chile
- Rodríguez-Ramírez R, Santillán-Galicia MT, Guzmán-Franco AW, Ortega-Arenas LD, Teliz-Ortiz D, Sánchez-Soto S, Robles-García PL (2019) Transmission of Citrus leprosis virus C by the Mite, *Brevipalpus yothersi* (Acari: Tenuipalpidae), on Four Species of Citrus. Journal of Economic Entomology 112: 2569-2576. <https://doi.org/10.1093/jee/toz201>.
- Rosas-Acevedo JL, Sampedro-Rosas L (2006) Variabilidad de cepas de *Hirsutella thompsonii*, a partir de ácaros fitófagos en tres sistemas terrestres del estado de Colima, México. Revista Mexicana de Biodiversidad 77: 7-16.
- Rossi L, Alves S (2006) Susceptibility of *Brevipalpus phoenicis* to entomopathogenic fungi. Experimental and Applied Acarology 40: 37-47.
- Ruíz E, Coronado J, Myartseva S (2006) Situación actual del manejo de las plagas de los cítricos en Tamaulipas, México. Manejo Integrado de Plagas y Agroecología (Costa Rica) 78: 94-100.
- Sáenz CA, Hernández EO, Estrada B, Poot WA, Delgado R, Herrera R (2019) Principales enfermedades en cítricos. Revista mexicana de ciencias agrícolas 10: 1653-1665. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i7.1827>.
- Salinas-Vargas D, Santillán-Galicia MT, Guzmán-Franco AW, Hernández-López A, Ortega-Arenas LD, Mora-Aguilera G (2016) Analysis of genetic variation in *Brevipalpus yothersi* (Acari: Tenuipalpidae) populations from four species of citrus host plants. PLoS One 11: e0164552.

- Salinas-Vargas D, Santillán-Galicia MT, Guzmán-Franco AW, Mora-Aguilera G, Ortega-Arenas LD, Hernández-López A, Sánchez-Soto S (2019). Development and reproduction of *Brevipalpus yothersi* on orange fruits infected with Citrus leprosis virus C. *International Journal of Acarology* 45: 209-213.
- Sancho BE, Baraona CM (2000) Cítricos, Fruticultura especial 1 (Fruticultura II). Costa Rica.
- Scorsetti AC, López CC (2007) Primer registro del hongo *Neozygites* sp. (Zygomycota: Entomophthorales), patógeno de *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) en la República Argentina. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica* 42: 189-193.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) (2020) Panorama Agroalimentario 2020. https://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap/pag/2020/Atlas - Agroalimentario-2020. Consultado el 02 de Junio de 2020.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) (2021) Producción agrícola. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>. Consultado el 02 de Junio de 2020.
- Solano DA, Álvarez JG, Rodríguez JA (2008) Distribución espacial de *Brevipalpus phoenicis*, vector de la leprosis de los cítricos en el cultivo de naranja Valencia (*Citrus sinensis*) en Yopal, Casanare (Colombia). *Agronomía Colombiana* 26: 399-410.
- Tassi AD, Garita-Salazar LC, Amorim L, Moreira V, Freitas-Astúa J, Childers CC, Kitajima E (2017) Virus-vector relationship in the Citrus leprosis pathosystem. *Experimental and Applied Acarology* 71: 227-241. <https://doi.org/10.1007/s10493-017-0123-0>.
- Valencia K, Duana D (2019) Los cítricos en México: análisis de eficiencia técnica. *Análisis Económico* 34: 269-283.
- Veloso V, Silva A, Sanchez S, Rocha M (2007) Controle químico do ácaro *Brevipalpus phoenicis* (Geijskes, 1939) (Acari-Tenuipalpidae), transmissor da leprose em citros chemical control of acarid *Brevipalpus phoenicis* (Geijskes, 1939) (Acari-Tenuipalpidae). *Pesquisa Agropecuária Tropical* 18: 141-149.
- Venzon M, Rosado M, Molina A, Silveira V, Dias R, Pallini A (2008) Acaricidal efficacy of neem against *Polyphagotarsonemus latus* (Banks) (Acari: Tarsonemidae). *Crop Protection* 27: 869-872.
- Welbourn C, Ochoa R, Kane E, Erbe E (2003) Morphological observations on *Brevipalpus phoenicis* (Acari: Tenuipalpidae) including comparisons with *B. californicus* and *B. obovatus*. *Experimental and Applied Acarology* 30: 107-33.
- Wu S, Guo J, Xing Z, Gao Y, Xu X, Lei Z (2018) Comparison of mechanical properties for mite cuticles in understanding passive defense of phytoseiid mite against fungal infection. *Materials & Design* 140: 241-248. doi:10.1016/j.matdes.2017.11.051.
- Wu S, He Z, Wang E, Xu X, Lei Z (2017) Application of *Beauveria bassiana* and *Neoseiulus barkeri* for improved control of *Frankliniella occidentalis* in greenhouse cucumber. *Crop Protection* 96: 83-87. doi:10.1016/j.cropro.2017.01.013.

- Wu S, Xie H, Li M, Xu X, Lei Z (2016) Highly virulent *Beauveria bassiana* strains against the two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae*, show no pathogenicity against five phytoseiid mite species. *Experimental and Applied Acarology* 70: 421-435. <https://doi.org/10.1007/s10493-016-0090-x>.
- Xu X, Enkegaard A (2010) Prey preference of the predatory mite, *Amblyseius swirskii* between first instar western flower thrips *Frankliniella occidentalis* and nymphs of the two spotted spider mite *Tetranychus urticae*. *Journal of Insect Science* 10:149.
- Yucel C (2021) Effects of local isolates of *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin on the two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae* (Koch) (Acari: Tetranychidae). *Egyptian Journal of Biological Pest Control* 31: 63. <https://doi.org/10.1186/s41938-021-00409-2>.
- Zemek R, Kopačka M, Šimáčková K (2016) Evaluation of *Isaria fumosorosea* efficacy for the control of spider mites. *Integrated Control of Plant-Feeding Mites* 120: 93-97.
- Zweig, G (1973) Pesticide residues in food. *Plant Food Hum Nutr* 23: 77–112. <https://doi.org/10.1007/BF01092244>.