



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

Enseñar la explotación de la tierra, no la del hombre

DEPARTAMENTO DE PARASITOLOGÍA AGRÍCOLA MAESTRÍA EN CIENCIAS EN PROTECCIÓN VEGETAL

EFECTO DE ACARICIDAS EN LOS ESTADOS BIOLÓGICOS DE *Tetranychus urticae* Koch.

T E S I S

QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA
OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN CIENCIAS

Presenta:

MARIA DIANA BOTELLO CASTILLO

Bajo la supervisión de:

M.C. ANTONIO SEGURA MIRANDA

Codirección de:

DR. MANUEL ALEJANDRO TEJEDA REYES



APROBADA



La presente tesis titulada: **EFECTO DE ACARICIDAS EN LOS ESTADOS BIOLÓGICOS DE *Tetranychus urticae* Koch.**, realizada por el C. María Diana Botello Castillo, bajo la dirección de M. C. Antonio Segura Miranda y codirección de Dr. Manuel Alejandro Tejeda Reyes, ha sido revisada y aprobada por los miembros del jurado, como requisito parcial para obtener el Título de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN PROTECCIÓN VEGETAL

COMITÉ PARTICULAR

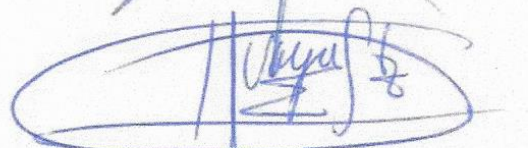
DIRECTOR:


M. C. Antonio Segura Miranda

CODIRECTOR:


Dr. Manuel Alejandro Tejeda
Reyes

ASESOR:


Dr. Mateo Vargas Hernández

INDICE DE CONTENIDO

INDICE DE CONTENIDO	ii
INDICE DE CUADROS.....	iv
INDICE DE FIGURAS.....	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTOS	vii
DATOS BIOGRÁFICOS	viii
RESUMEN GENERAL	ix
GENERAL ABSTRACT.....	1
Capítulo 1 Introducción general	2
1.1. Fundamentos y planteamiento de la tesis.....	2
1.2. Justificación.....	4
1.3. Hipótesis.....	5
1.4. Objetivo general.....	5
1.5. Objetivos específicos	5
1.6. Estructura de la tesis.....	6
1.7. Referencias bibliográficas	7
Capítulo 2 Revisión de literatura	9
2.1. La araña roja <i>Tetranychus urticae</i> Koch.....	9
2.1.1. Clasificación Taxonómica.....	10
2.1.2. Biología	10
2.1.3. Métodos de control.....	11
2.2. Acaricidas usados en este estudio para control de <i>Tetranychus urticae</i> Koch.....	15
2.2.1. Bifenazate	15
2.2.2. Abamectina	15
2.2.3. Cyflumetofen	16
2.2.4. Pyriproxyfen	16
2.2.5. Azadiractina	17
2.2.6. Sales Potásicas.....	17
2.2.7. Aceite parafínico.....	18
2.3. Revisión bibliográfica.....	19
Capítulo 3 Toxicidad de acaricidas en los estadios de <i>Tetranychus urticae</i> Koch	22
3.1. Resumen.....	22

3.2. Introducción	22
3.3. Materiales y métodos	24
3.3.1. Poblaciones de araña roja.....	24
3.3.2. Acaricidas.....	24
3.4. Bioensayos	25
3.4.1. Bioensayos por aspersión con Torre de Potter	25
3.4.2. Bioensayos por inmersión de disco de hoja	26
3.4.3. Efecto de cyflumetofen sobre la fecundidad de <i>T. urticae</i>	27
3.5. Resultados	28
3.5.1. Bioensayo de acaricidas sobre estados biológicos de <i>T. urticae</i> 28	
3.5.2. Toxicidad de acaricidas sobre <i>T. urticae</i>	31
3.5.3. Efecto de cyflumetofen sobre la fecundidad de <i>T. urticae</i>	32
3.6. Discusión	33
3.7. Conclusiones	37
3.8. Referencias bibliográficas	38

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1 Acaricidas recomendados en el control de <i>Tetranychus urticae</i> .	14
Cuadro 2 Productos comerciales evaluados sobre los estados de desarrollo de <i>Tetranychus urticae</i> Koch	25
Cuadro 3 Mortalidad corregida inducida (en porcentaje) por acaricidas evaluados en los estados biológicos de <i>Tetranychus urticae</i>	29
Cuadro 4 Susceptibilidad de dos poblaciones de <i>Tetranychus urticae</i> a tres acaricidas.....	31

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Número de huevos ovipositados a las 48 h por 10 hembras de <i>Tetranychus urticae</i> , tratados con 1 mg. L ⁻¹ de cyflumetofen.....	32
--	----

DEDICATORIA

A mi **Esposo y amigo Erubiel Almaraz Mendoza**, por su apoyo, paciencia y ayuda incondicional, por impulsarme a alcanzar mis metas y ser el pilar que la familia necesita.

A mi hijo **Jesús Eliel Almaraz Botello**, por su comprensión aun siendo tan pequeño, por ser un ejemplo de fortaleza en la distancia, por su amor que siempre me motiva a hacer las cosas de la mejor manera.

A mi madre **Ma. Piedad Castillo**, quien siempre me animó a continuar y dar lo mejor de mí.

A mi Padre **Rubén Botello**, quien desde el cielo me acompañó y cuidó durante este proceso.

A mis **hermanos** por confiar en mí y animarme a seguir, por demostrarme el orgullo que les causo en donde quiera que estén.

A mis **sobrinos** que confían en mí y me ayudaron a creer que si puedo alcanzar lo que me proponga y que nunca es tarde para empezar.

A mis **amigos** que siempre me dieron una palabra de aliento

AGRADECIMIENTOS

A **Dios** que me permitió vivir este proceso y culminar satisfactoriamente.

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología** por la beca para poder realizar el trabajo de investigación y alcanzar el grado de Maestra en Ciencias.

A la **Maestría en Ciencias en Protección Vegetal**, de la Universidad Autónoma Chapingo por brindarme la oportunidad para obtener el grado.

Al **Dr. Manuel Alejandro Tejeda Reyes**, por su disposición y guía en el desarrollo de esta investigación. Por el gran apoyo y confianza que me brindó para la culminación del proyecto. Por facilitar los medios para el desarrollo de la fase experimental del proyecto, sin los cuales hubiese sido imposible lograrlo.

Al **M. C. Antonio Segura Miranda** quien mostró gran disposición por apoyar con los medios que estaban a su alcance como coordinador del posgrado, sus conocimientos transmitidos y siempre estar presente cuando se le solicitó, además de la confianza brindada.

Al **Dr. Mateo Vargas Hernández**, por sus aportaciones en el trabajo final y siempre estar dispuesto a apoyar como guía, sin importar el exceso de trabajo.

Al **Colegio de Posgraduados** Campus Montecillos y al **Dr. J. Concepción Rodríguez Maciel**, por facilitar el lugar y mobiliario para la realización de este experimento, sin el cual hubiese sido imposible su realización.

A **Maribel Espejel Cervantes**, por su apoyo, amistad, por compartir y aconsejar, por animarme a seguir impulsándome a dar lo mejor en lo que hacía, por las pláticas interminables y los momentos agradables de cada día. A **Ivón** mi eterna amiga y apoyo, a mi amiga **Iliana** quien siempre me animó y apoyó incondicionalmente, **Eduardo**, por siempre estar dispuesto a ayudar sin importar el tiempo y por su amistad, **Celio y Anita** cómplices de risas y de aprendizajes compartidos y por la gran amistad forjada. **Muñoz** por la disposición y ayuda. A cada uno de mis compañeros por los momentos compartidos.

A **los alumnos del Colegio** por su apoyo, enseñanzas y compañía: Filemón, Karen D., Sandra, y Karen R.

DATOS BIOGRÁFICOS



Datos personales

Nombre: María Diana Botello Castillo

Fecha de nacimiento: 28 octubre 1981

Lugar de nacimiento: Cuerámaro, Guanajuato, México.

CURP: BOCD811028MGTTSN08

Profesión: Ingeniero Agrónomo Especialista en Fitotecnia

Cédula profesional: 09279886

Experiencia Laboral

Acciones técnico operativas de campo, encargado de producción orgánica de pepino y jitomate, toma de muestra foliares de los cultivos, elaboración de los análisis del muestreo, seguimiento de acciones enfocadas a la inocuidad (manuales operativos y bitácoras), cumplimiento de normas de los sistemas de reducción de riesgos de contaminación, en la unidad agrícola FERNATOL, ubicada en Jaral del Progreso y Salvatierra, municipios del estado de Guanajuato.

RESUMEN GENERAL

EFECTO DE ACARICIDAS EN LOS ESTADOS BIOLÓGICOS DE *Tetranychus urticae* Koch.¹

Tetranychus urticae Koch, es una plaga de gran importancia por el daño que causa en los cultivos, las graves pérdidas económicas, el amplio rango de hospederos y actualmente la resistencia a ciertos acaricidas por el uso desmedido y calendarizado. Se considera que la resistencia es un fenómeno que se presenta cuando se hace necesario el aumento de las dosis para controlar una población que anteriormente se controlaba con una cantidad menor. El principal inconveniente de la presencia de cierto grado de resistencia a los acaricidas es que se disminuye la cantidad de productos eficaces para control de la plaga, limitando la posibilidad de erradicar la población de ácaros. Por lo que el objetivo de la presente investigación es evaluar la toxicidad de diferentes productos acaricidas de reciente introducción al mercado en México. Los resultados obtenidos mostraron que los mejores porcentajes de control de *T. urticae*, fueron tres productos, abamectina (Agrimec), cyflumetofen (Danisaraba) y bifenazate (Floramite). También se pudo observar que el mejor producto para disminuir el porcentaje de eclosión en huevos, fue obtenido con bifenazate, mientras que para el estadio de ninfa el porcentaje más alto de mortalidad se presentó con abamectina y para control de adultos fue más favorable en la aplicación de bifenazate. Las dosis aplicadas en laboratorio fueron más altas a las empleadas en otras investigaciones reflejando cierto grado de resistencia en la población de campo.

Palabras clave: *Tetranychus urticae*, eficacia, resistencia, toxicidad, mortalidad.

¹ Tesis de Maestría en Ciencias, Protección Vegetal, Universidad Autónoma Chapingo.
Autor: Maria Diana Botello Castillo
Director de Tesis: M.C. Antonio Segura Miranda
Codirector de Tesis: Dr. Manuel Alejandro Tejeda Reyes

GENERAL ABSTRACT
EFFECT OF ACARICIDES ON THE BIOLOGICAL STATES OF
***Tetranychus urticae* Koch.**

Tetranychus urticae Koch is a pest of great importance due to the damage it causes in crops, the serious economic losses, the wide range of hosts, and currently the resistance to certain acaricides due to excessive and scheduled use. Resistance is considered to be a phenomenon that occurs when increased doses are necessary to control a population that was previously controlled with a lower amount. The main drawback of the presence of a certain degree of resistance to acaricides is that the number of effective products for pest control, is reduced, limiting the possibility of eradicating the mite population. Therefore, the objective of this research is to evaluate the toxicity of different acaricidal products recently introduced to the market in Mexico. The results obtained showed that the best control percentages of *T. urticae* were three products, abamectin (Agrimec), cyflumetofen (Danisaraba), and bifenazate (Floramite). It was also observed that the best product to reduce the percentage of hatching in eggs was obtained with bifenazate, while for the nymph stage the highest percentage of mortality was presented with abamectin and for adult control it was more favorable in the application. of bifenazate. The doses applied in the laboratory were higher than those used in other investigations, reflecting a certain degree of resistance by the field population.

Keywords: *Tetranychus urticae*, efficacy, resistance, toxicity, mortality.

Capítulo 1 Introducción general

1.1. Fundamentos y planteamiento de la tesis

La araña roja, *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) es una plaga polífaga que se alimenta de más de 1,000 especies vegetales distribuidas en alrededor de 140 familias botánicas (Grbić, M., et al., 2011). En la última década ha sido capaz de desarrollar resistencia a la mayoría de los acaricidas que se han usado en su control, Mota-Sánchez & Wise, (2019) reportan 549 casos de resistencia en campo a 96 ingredientes activos.

Factores biológicos como alta fecundidad (Shaefers, A. C. & C. Shanks, 1991; Van de Vrie & Price, 1994), determinación sexual haplo-diploide, y ciclo de vida corto (Khajehali, J., Van Nieuwenhuysse, P., Demaeght, P., Tirry, L., & Van Leeuwen, T., 2011), en combinación con el uso frecuente de acaricidas con el mismo modo de acción (Suh, E.; Koh, S.; Lee, J.; Shin, K.; Cho, K. 2006) y aumento de dosis por parte de los productores, incrementan el riesgo de una rápida evolución de este artrópodo al disminuir la capacidad de control de los químicos empleados (Díaz-Arias, et al., 2019).

En la última década, numerosos avances en el manejo integrado de araña roja han diversificado las tácticas disponibles para su control (Bale, J. S., Van Lenteren, J. C. & Bigler, F. 2008). Sin embargo, el control químico sigue siendo la principal herramienta para el combate de la araña roja (Sibanda, T., Dobson, H.M., Cooper, J.F., Manyangariwa, W., & Chiiba, W. 2000). Recientemente se introdujo un nuevo grupo químico de productos, para el manejo de araña roja y otros ácaros de importancia agrícola, entre los cuales se halla cyflumetofen y cyenopyrafen, inhibidores del transporte de electrones en el complejo mitocondrial II (Hayashi, N. , Sasama, Y. , Takahashi, N., & Ikemi, N. 2012; Khalighi, M., Tirry, L. , & Van Leeuwen, T. 2014)

Un aspecto importante en el desarrollo de estrategias para el manejo de araña roja, es el conocimiento de la susceptibilidad de las poblaciones y la efectividad sobre cada uno de los estados biológicos de los acaricidas a emplear (Robles, et al. 2012; Devine, G. J., Barber, M., & Denholm, I. 2001; Villegas, et al. 2010). Lo anterior, con la finalidad de emplear los acaricidas más efectivos, llevando a una disminución en la frecuencia de aplicaciones y

un uso eficiente de los recursos destinados al manejo de este artrópodo (Soto, et, al. 2011). Lo que disminuirá la posibilidad de la generación de resistencia en periodos cortos de tiempo (Saito, T., Tabata, K., & Kohno, S. 1983).

El objetivo de esta investigación fue determinar la susceptibilidad de la araña roja *T. urticae* a los acaricidas abamectina, cyflumetofen, y bifenazate, así como, determinar el efecto de estos acaricidas y algunos compuestos bioracionales sobre huevo, ninfa, y adultos de araña roja. Adicionalmente, se realizó un experimento para determinar el efecto de cyflumetofen sobre la fecundidad de *T. urticae*.

1.2. Justificación

Tetranychus urticae Koch (Acari: Tetranychidae) es una plaga polífaga que afecta a un extenso número de especies cultivadas a nivel global. Este artrópodo ha desarrollado resistencia a los acaricidas utilizados en su control, catalogándose como uno de las especies con más reportes de resistencia en condiciones de campo (Mota-Sánchez & Wise 2021).

Los factores que han permitido el rápido desarrollo de este fenómeno han sido un ciclo de vida corto, una alta fecundidad, y una determinación sexual haplo-diploide, que, en combinación con malas prácticas en el uso de acaricidas como aplicaciones frecuentes, uso repetido del mismo ingrediente activo, y aumento de dosis por parte de productores, han establecido el escenario para que en períodos de no más de 5 años, productos introducidos al mercado presenten fallas en el control de *T. urticae*.

El primer aspecto importante que nos ayudará a retardar la aparición de resistencia, es conocer la susceptibilidad de las poblaciones de campo a los ingredientes activos recomendados para su manejo. Esto nos permitirá tomar decisiones oportunas en la rotación de modos de acción. El segundo aspecto que tendrá un papel fundamental una vez determinada la susceptibilidad, es el conocimiento de las herramientas que tenemos disponibles, es decir, conocer con certeza el efecto que ocasionarán los acaricidas sobre cada uno de los estados de desarrollo de *T. urticae*.

Ambos aspectos nos permitirán utilizar y/o dar recomendaciones certeras para el control de araña roja, haciendo un uso eficiente de los recursos disponibles, aplicando los productos más efectivos, reduciendo la frecuencia de aplicaciones, y el impacto ambiental que estas puedan ocasionar.

Por lo anterior, es importante determinar la susceptibilidad de *T. urticae* a los acaricidas frecuentemente utilizados en el control, así como el efecto en cada uno en los estados de desarrollo de araña roja.

1.3. Hipótesis

Los productos evaluados mostrarán un buen control en todos los estadios de *Tetranychus urticae*, en ambas poblaciones.

1.4. Objetivo general

- Evaluar, bajo condiciones de laboratorio, la respuesta a siete acaricidas sobre los estados de desarrollo de la araña roja *Tetranychus urticae* Koch.

1.5. Objetivos específicos

- Determinar la respuesta de huevos, larvas, y adultos de dos poblaciones, susceptible y campo, de araña roja *Tetranychus urticae* Koch, a siete acaricidas para estimar el nivel de toxicidad
- Determinar la susceptibilidad de una población de campo y una de laboratorio a los acaricidas: abamectina, bifentazate, y cyflumetofen.
- Determinar el efecto de cyflumetofen sobre la fecundidad de hembras adultas de araña roja *Tetranychus urticae* Koch.

1.6. Estructura de la tesis

La presente tesis se divide en capítulos y a continuación se describen

Capítulo 1: Describe la problemática que se presenta para la plaga *Tetranychus urticae*, por el uso desmedido del control químico.

Capítulo 2: Se presenta una compilación de literatura sobre *T. urticae*, así como los métodos de control para esta especie y la descripción de cada uno de los acaricidas empleados en el desarrollo de la investigación.

Capítulo 3: Se evaluó la toxicidad de siete acaricidas comerciales en huevo, ninfa y adulto de *T. urticae* (abamectina, azadiractina, cyflumetofen, bifenazate, sales potásicas y aceite parafínico), en aplicaciones en torre de Potter y por inmersión de disco de hoja. Así como el efecto en la eclosión de huevos tratados con cyflumetofen.

1.7. Referencias bibliográficas

- Bale, JS; Van Lenteren, JC; Bigler, F. 2008. Biological control and sustainable food production. *Philos. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B* 363, 761-776.
- Devine, G. J., Barber, M., & Denholm, I. (2001). Incidence and inheritance of resistance to meti-acaricides in European strains of the two-spotted spider mite (*Tetranychus urticae*) (Acari: Tetranychidae). *Pest Management Science.*, 57, 443-448.
- Díaz-Arias, K., Rodríguez-Maciel, J. C., Lagunes-Tejeda, Á., Aguilar-Medel, S., Tejeda-Reyes, M. A., & Silva-Aguayo, G. (2019). Resistance to abamectin in field population of *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) associated with cut rose from state of Mexico, Mexico. *Florida Entomologist*, 102(2), 428-430. doi:<https://doi.org/10.1653/024.102.0222>
- Grbić, M., Van Leeuwen, T., Clark, R. M., Rombauts, S., Rouze, P., Grbic, V., Hernández-Crespo, P. (2011). The genome of *Tetranychus urticae* reveals herbivorous pest adaptations. *Nature*, 479, 487-492.
- Hayashi, N. , Sasama, Y. , Takahashi, N., & Ikemi, N. (2012). Cyflumetofen, a novel acaricide – its mode of action and selectivity. *Pest management science*, 37(3), 263-264.
- Khajehali, J., Van Nieuwenhuysse, P., Demaeght, P., Tirry, L., & Van Leeuwen, T. (2011). Acaricide resistance and resistance mechanisms in *Tetranychus urticae* populations from rose greenhouses in the Netherlands. *Pest Manag. Sci.*, 67, 1424-1433.
- Khalighi, M., Tirry, L. , & Van Leeuwen, T. . (2014). Cross-resistance risk of the novel complex II inhibitors cyenopyrafen and cyflumetofen in resistant strains of the two-spotted spider mite *Tetranychus urticae*. *Pest Management Science*, 70(3), 365-368.
- Mota-Sánchez, D., & Wise, J. (2019). *The Arthropod Pesticide Resistance Database*. Retrieved marzo 10, 2021, from Michigan State University: <http://www.pesticideresistance.org>
- Robles, B. A. , Roble, B. G. F. , Rodriguez, M. J. C. , Santillan, O.C., Lagunes, T.A., Flores, C.R.J., & Cambero, C.J.O. (2012). Resistencia de cuatro poblaciones del acaro ("*Tetranychus urticae*" Koch.) a propargite en rosa de corte ("*Rosa x hybrida*") en el Estado de México, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(4), 785-795.
- Saito, T., Tabata, K., & Kohno, S. (1983). *Mechanisms of acaricide resistance with emphasis on dicofol*. New York and London: Georghiou, G; Saito, T. (Eds.).

- Shaefers, A. C. & C. Shanks. (1991). Pest management for strawberry insects. In: Pimentel, D., and A. Hanson A. (eds). CRC Handbook of Pest Management in Agriculture. Vol. III. CRC Press, Boca Raton. 535–552.
- Sibanda, T., Dobson, H.M., Cooper, J.F., Manyangariwa, W., & Chiiba, W. (2000). Pest management challenges for smallholder vegetable farmers in Zimbabwe. *Crop protection Guildford*, 19, 807-815.
- Soto, A. , Oliveira, G.H. , & Pallini, A. (2011). Integración de control biológico y de productos alternativos contra *Tetranychus urticae* (acari: tetranychidae). *U.D.C.A. actualidad & Divulgación Científica*, 14(1), 23-29.
- Suh, E.; Koh, S.; Lee, J.; Shin, K. & Cho, K. (2006). Evaluation of resistance pattern to fenpyroximate and pyridaben in *Tetranychus urticae* collected from greenhouses and apple orchards using lethal concentration-slope relationship. *Experimental and Applied Acarology* 38, 151-165.
- Van de Vrie, M., & Price, J. F. (1994). Manual for control of Two-spotted spider mites on strawberry in Florida. University of Florida. Institute of Food and Agricultural Sciences Dover Research Report DOV–1994. 9.
- Villegas- Elizalde, Rodriguez-Maciel, J. C., Anaya-rosales, S., Sanchez-Arroyo, H., Hernandez-Morales, J., & Bujanos-Muñiz, R. (2010). Resistencia a Acaricidas en *Tetranychus urticae* (Koch) asociada al cultivo de fresa en Zamora, Michoacán, México. *Agrociencia*, 44(1).

Capítulo 2 Revisión de literatura

2.1. La araña roja *Tetranychus urticae* Koch

La familia Tetranychidae abarca una gran cantidad de especies de importancia económica, donde el género *Tetranychus* contiene a una de las plagas principales de cultivos en el mundo. *T. urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) es una plaga polífaga que se alimenta de más de 1,000 especies vegetales distribuidas en alrededor de 140 familias botánicas. En México cultivos como jitomate, chile, fresa, pepino, melón, maíz, naranja, algodón, vid, rosa, gerbera, entre otros, son afectados por este artrópodo (Grbić, et al. 2011; Navarro, A., Sanchez, M., Orta, J., Delgado, J., & Conde, J., 2001).

En la última década, la araña roja ha sido capaz de desarrollar resistencia a la mayoría de los acaricidas que se han usado en su control. Mota-Sánchez & Wise (2019) en su “The Arthropod Pesticide Resistance Database” reportan 549 casos de resistencia en campo a 96 ingredientes activos.

Factores biológicos como alta fecundidad, determinación sexual haplo-diploide, y ciclo de vida corto, en combinación con aplicaciones frecuentes de acaricidas y aumento de dosis por parte de los productores, incrementan el riesgo de una rápida evolución de este artrópodo, llevando a que acaricidas introducidos al mercado en períodos de tiempo de 2 a 4 años presenten resistencia. Por tanto, el conocimiento de la susceptibilidad de las poblaciones a tratar y la efectividad de los acaricidas empleados en cada uno de los estados biológicos juega un papel fundamental en el manejo de esta especie de ácaro. Lo anterior, con la finalidad de emplear los acaricidas más efectivos, llevando a una disminución en la frecuencia de aplicaciones y un uso eficiente de los recursos destinados al manejo de este artrópodo. Por lo que, es primordial el conocimiento exhaustivo de la efectividad de los ingredientes activos utilizados y la capacidad biológica de cada uno de ellos sobre los estados biológicos de *T. urticae*, para emitir recomendaciones de campo precisas y efectivas en el manejo de esta plaga.

2.1.1. Clasificación Taxonómica

Phylum: Arthropoda

Subphylum: Chelicerata

Clase: Arachnida

Superorden: Acariformes

Familia: Tetranychidae

Género: *Tetranychus*

Especie: *Tetranychus urticae* Koch

2.1.2. Biología

Le reproducción de *T. urticae* es mediante “arrenotokia”, un tipo de partenogénesis en la cual se producen machos haploides de huevos no fertilizados; mientras que las hembras son diploides y provienen de huevos fertilizados. Cada hembra produce, en promedio, de 90 a 110 huevos (Tello, V., Castillo, P., Briceño, R., & Sánchez, M., 2013). Los huevos son esféricos y lisos, miden aproximadamente 0.12 mm de diámetro, con una coloración clara que se torna rojiza a medida que avanza su desarrollo, tienen una duración aproximada de 3-5 días (Ferragut, F. & Santonja, M.C., 1989). El estado inmaduro consiste de larva, protoninfa y deutoninfa, y cada uno de los estadios tiene una duración entre 4 y 5 días, poseen una coloración pálida sin manchas oscuras sobre el dorso (CABI, 2021). La duración de huevo a adulto va de 7 a 12 días, los cuales varían dependiendo de las condiciones ambientales. El desarrollo es relativamente rápido, especialmente a temperaturas altas (30-32°C). Los adultos son ovalados, las hembras miden aproximadamente 0.6 mm, de un color pálido a amarillo con dos manchas oscuras sobre el dorso, los machos son de un tamaño menor. La longevidad es variable de 25 a 30 días (CABI, 2021; Herbert, H. J., 1981; Reséndiz-García, B. & Castillo-Olivas, O., 2018).

Los ácaros se agrupan frecuentemente en el envés de la hoja. Sin embargo, en poblaciones elevadas se pueden observar en el haz. Se alimentan de savia; en el punto de alimentación el tejido colapsa y se forma una mancha clorótica. En densidad de población elevada, el daño se observa un moteado amarillento a bronceado, y en casos extremos las hojas se secan, cayéndose e induciendo defoliación. Una característica de estos ácaros es la presencia de seda (telaraña) en la planta, que en cantidades abundantes interfieren con la acción de los plaguicidas utilizados en su manejo.

La dispersión de este ácaro puede darse a través del viento, movimiento de material infestado, herramientas de trabajo, o por personas encargadas de actividades de manejo y/o cosecha.

2.1.3. Métodos de control

Control cultural

Si las condiciones operativas lo permiten, se sugiere regular la temperatura a menos de 25°C. Sin embargo, el desarrollo del cultivo podría verse afectado. Por otro lado, la humedad relativa es un factor que puede ser mejor regulado, por lo que se sugiere mantener una HR superior al 40%.

Debido a que *T. urticae* es una plaga polífaga, se sugiere tener un buen control de maleza, que puedan fungir como hospedantes alternas y ser focos de infestación (Webster, 2005).

Control biológico

Dentro de las tácticas de manejo de araña roja, se tiene el uso de enemigos naturales y se ha convertido en una alternativa con un perfil de menor impacto ambiental.

Dentro de los enemigos naturales de araña roja, destacan las especies de la Familia Phytoseiidae. En México, el uso de estos organismos en los últimos años ha ido en aumento, debido a su menor impacto ambiental, eficacia, y a que carecen de efectos adversos a la salud humana, como ocurre con los insecticidas sintéticos. Desde su introducción al mercado, *Phytoseiulus*

persimilis, Athias-Henriot, 1957, ha sido la especie de referencia en el manejo de *T. urticae*, tanto en agricultura protegida como en cielo abierto. Este ácaro depredador es altamente voraz, y especializado en especies de la familia Tetranychidae. Sin embargo, existen limitaciones en su uso debido a que depende exclusivamente de la presencia de su presa para subsistir, por lo que, cuando llega a un nivel bajo la población de *T. urticae*, el depredador tiende a migrar a otros sitios cercanos en busca de nuevas presas (McMurtry J. A. & Croft, B. A., 1997). En la última década el aumento de la superficie de berries en México, y la apertura de mercados en el marco internacional, ha creado la necesidad de un cambio a una agricultura de menor impacto ambiental, donde el uso de enemigos naturales ha tomado relevancia. Dos especies que se han introducido para el manejo de ácaros y otras plagas de importancias, son *Amblyseius swirskii* Athias-Henriot, 1962 y *Neoseiulus californicus* McGregor, que a diferencia de *P. persimilis*, no se alimentan exclusivamente de su presa, por lo que su persistencia en la zona de liberación es mucho mayor. Sin embargo, a pesar de su bajo impacto ambiental y eficacia demostrada, la adopción de estas opciones de manejo ha sido limitada, por el uso extensivo y continuo de plaguicidas no selectivos para *T. urticae*.

El uso de hongos entomopatógenos como *Beauveria bassiana*, Li, Li, Huang & Fan y *Metarhizium anisopliae*, Mechnikov, ha tenido avances significativos a nivel experimental (Maniania, N. K., Bugeme, D. M., Wekesa, V. W., Delalibera, I., & Knapp, M. , 2008), sin embargo, la adopción de estas herramientas se han visto limitadas por las condiciones óptimas para causar infección, ya que uno de los factores importantes como lo es la humedad relativa se ve disminuida cuando existen poblaciones altas de araña roja.

Control biorracional

El término biorracional, ha sido objeto de discusión sobre sus alcances, frecuentemente se usa para aquellas sustancias de origen vegetal o microbiano, o análogos de compuestos vegetales, o químicos de insectos sintetizados (Horowitz, A.R. & Ishaaya, I., 2004). En la mayoría de los casos, se entiende que es un grupo de sustancias que presenta un bajo riesgo su uso para el ambiente, así como para las personas que los manipulan.

Dentro de esta categoría tenemos diversos productos de origen vegetal, donde destacan productos a base de neem o azadiractina, entre los más conocidos. Así mismo, diversos aceites esenciales de plantas como *Rosmarinus officinalis*, (L.) Schleid (romero), *Salvia officinalis*, L. (salvia), *Thymus vulgaris*, L (tomillo) y *Ocimum basilicum*, L. (albahaca) han sido evaluadas a nivel experimental mostrando resultados promisorios (Laborda, R., et al., 2013).

Control químico

El control químico es una herramienta valiosa en el manejo de plagas, ya que pueden ocasionar mortalidad aguda o a largo plazo en *T. urticae*. Además, pueden afectar la tasa de fecundidad, inhibición de oviposición, causar repelencia, entre otros. En muchos casos los acaricidas sintéticos ocasionan una disminución significativa de las poblaciones de plagas, en comparación con insecticidas bioracionales.

Desafortunadamente el ciclo de vida corto, una tasa de fecundidad alta, y el uso recurrente de acaricidas propician el desarrollo de resistencia, posicionando a *T. urticae* como uno de los artrópodos con una alta cantidad de reportes de resistencia (549 casos en condiciones de campo) a 96 ingredientes activos (Mota-Sánchez & Wise 2019).

En México, los productores al detectar disminución en la efectividad de control, generalmente incrementan las dosis recomendadas de los acaricidas para alcanzar el nivel original de control, conduciendo a un aumento de los niveles de resistencia (Díaz-Arias et al. 2019).

Dentro de las herramientas en el manejo de araña roja, los activos con mayor uso son azufre y abamectina. El primero se usa frecuentemente y se aplica cuando existen densidades de poblaciones bajas; mientras que el segundo se utiliza cuando la densidad ha aumentado. Sin embargo, existen diversas herramientas que se distribuyen en modos de acción recomendados por el IRAC, (2021) listadas en el **Cuadro 1** que pueden coadyuvar en el manejo de *T. urticae*.

Cuadro 1 Acaricidas recomendados en el control de *Tetranychus urticae*

Ingrediente activo	Grupo	Clasificación IRAC	Modo de acción
Malathion	Organofosforados	1 B	Inhibidores de la acetil colinesterasa
Bifentrina	Piretroides	3 A	Moduladores de los canales de sodio
Abamectina	Avermectinas	6	Moduladores alostéricos de los canales de cloro dependientes de glutamato
GS-omega/kappa HXTX-Hv1a peptide	GS-omega/kappa HXTX-Hv1a peptide	32	Moduladores alostéricos del receptor nicotínico de la acetil colina
Propargite	Órganos Sulfuros	12 C	Inhibidores de la ATP sintasa mitocondrial
Chlorfenapyr	Pyrroles	13	Desacopladores de la fosforilación oxidativa
Acequinocyl, bifenazate	---	20	Inhibidores del transporte de electrones en el complejo mitocondrial III
Fenazaquin, pyridaben, tebufenpyrad	---	21	Inhibidores del transporte de electrones en el complejo mitocondrial I
Cyenopyrafen, cyflumetofen	Beta-Ketonitriles	25 A	Inhibidores del transporte de electrones en el complejo mitocondrial II
Clofentezine, hexythiazox, etoxazole	---	10	Inhibidores del crecimiento de ácaros
Flufenoxuron	Benzoylureas	15	Inhibidores de la biosíntesis de quitina
Spiromesifen, spiroadiclofen	Derivados de ácidos tetrónicos y tetrámicos	23	Inhibidores de la acetyl CoA carboxilasa

2.2. Acaricidas usados en este estudio para control de *Tetranychus urticae* Koch

2.2.1. Bifenazate

Es un acaricida descubierto en 1990 por Crompton Corporation. Es un activo recurrentemente utilizado para el control de todos los estados de desarrollo de ácaros en diversos cultivos. Actúa como inhibidor del transporte de electrones en el complejo mitocondrial III (Van Nieuwenhuysse, P., et al., 2012; IRAC 2021). Es un producto autorizado en México bajo el nombre de Acramite® 50 WG, polvo humectable que tiene 500 g de ingrediente activo por kilogramo de producto formulado. Recomendado para el control de *T. urticae* en los cultivos de fresa (*Fragaria x ananassa*, Duchesne ex Weston), zarzamora (*Rubus ulmifolius*, Schott) frambuesa (*Rubus idaeus*, L.), pepino (*Cucumis sativus*, L.), sandía (*Citrullus lanatus*, (Thunb.) Matsum. y Nakai, melón (*Cucumis melo*, L), manzano (*M. domestica*, Borkh), papayo (*Carica papaya*, L.), y jitomate (*Solanum lycopersicum*, L.) (UPL, 2021). Se han documentado 14 casos de resistencia en Holanda, China, Bélgica, y Alemania (Mota-Sánchez & Wise 2021).

2.2.2. Abamectina

Abamectina es un producto de la fermentación natural de *Streptomyces avermitilis*, y que pertenece a una clase denominada lactonas macrocíclicas. Este activo ha mostrado actividad nematocida, acaricida e insecticida. Sin embargo, el mayor uso comercial de este activo ha sido como acaricida, controlando estados móviles de ácaros, especialmente de las familias Tetranychidae, Tarsonemidae, y Eriophyidae (Lasota, J. A. & Dybas, R. A. , 1991). Actúa, en el sistema nervioso de artrópodos, como modulador alostérico de los canales de cloro dependientes del ácido gama amino-butírico (GABA) (IRAC 2021). El producto original en México se comercializó por la empresa Syngenta Agro S.A. de C.V. bajo el nombre de Agrimec® 1.8% CE, concentrado emulsionable con 18 g de ingrediente activo por litro de producto formulado (Syngenta, 2021). Se encuentra autorizado para el control de *T. urticae* en fresa, jitomate (*S. Lycopersicum*), ornamentales, manzano (*M. domestica*), y peral (*Pyrus communis*, L). Debido a su uso extensivo a nivel global, según Mota-Sánchez & Wise (2021), existe evidencia de al menos 74

casos de resistencia en condiciones de campo. En México, existen reportes de poblaciones que han desarrollado resistencia en Guanajuato, Michoacan, y en el Estado de México (Cerna, E., et al., 2009; Diaz- Arias et al. 2019; Villegas-Elizalde, S. E., et al., 2010;).

2.2.3. Cyflumetofen

Cyflumetofen es un acaricida desarrollado por Otsuka AgriTechno Co., Ltd, que ha mostrado alta eficacia biológica en el control de ácaros en una amplia variedad de cultivos (Takahashi, N., Nakagawa, H., Sasama, Y., & Ikemi, N. , 2012). Este acaricida afecta la respiración, inhibiendo el transporte de electrones en el complejo mitocondrial II (IRAC 2021). En México se comercializa bajo los nombres comerciales de Nealta® (BASF MEXICANA, S.A. DE C.V., Suspensión concentrada, 200 g i.a./L P.F.) y Danirisaba® 20 SC (Summit Agro México S.A. de C.V., Suspensión concentrada, 212 g i.a./L P.F.). A nivel global solo existen dos reportes de resistencia en *T. urticae*, localizados en China (Mota-Sánchez & Wise 2021). Los cultivos en los que se encuentra autorizado su uso son jitomate, fresa, zarzamora, frambuesa, cítricos, y rosa (BASF, 2021; Summit-Agro, 2021).

2.2.4. Pyriproxyfen

Es un ingrediente activo clasificado dentro del grupo de insecticidas reguladores de crecimiento, ya que actúa como mímico de la hormona juvenil, suprime la embriogénesis, metamorfosis, y la formación de adultos (Ishaaya, I., & Horowitz, A. R. , 1995). Es un activo que no se encuentra autorizado para el control de araña roja, sin embargo, existen reportes de resultados prometedores sobre estados inmaduros (Abdel-Hafez, H. & El-Nenaey, H. , 2014). Se comercializa bajo el nombre de Knack® (Valent de México S.A. de C.V., Concentrado emulsionable, 103 g i.a./L P.F.). En uso de este producto se enfoca al control de insectos chupadores (Valent, 2021). Debido a que no se encuentra recomendado para el manejo de araña roja, no existe evidencia de resistencia a este ingrediente activo.

2.2.5. Azadiractina

Azadiractina es un derivado del neem (*Azadirachta indica*, A.Juss.), con una versatilidad de modos de acción sobre los artrópodos, presentan efectos repelentes, antialimentarios, actúa como regulador de crecimiento, afecta el desarrollo, y la fecundidad, por lo que el IRAC (2021) lo ha catalogado dentro del grupo de modos de acción desconocido, dada esta versatilidad. El origen de este activo, lo posicionan como una herramienta interesante en el manejo de plagas, especialmente en aquellos sistemas de producción donde el uso de insecticidas sintéticos es limitado (Bernardi, D., et al., 2013). Esa condición de tener una variable formas de matar a los artrópodos, lleva a un escenario en el cual el desarrollo de la resistencia a este insecticida, sea difícil.

En México, existen diversos productos comerciales con este ingrediente activo, registrados para un amplio número de plagas en diversos cultivos. Uno de los productos comerciales frecuentemente comercializados es Aza-Direct™ 1.2 CE (Gowan Mexicana S.A.P.I de C.V., Concentrado emulsionable, 11.82 g i.a. /L P.F.), recomendado para el control de *T. urticae* en rosal, fresa, zarzamora, y frambuesa.

2.2.6. Sales Potásicas

Son un grupo de insecticidas-acaricidas que han demostrado potencial en el manejo de diversos grupos de insectos, especialmente de cuerpo blando. La naturaleza de estos productos, permiten que ellos actúen de una manera física sobre los insectos tratados, ya que pueden causar asfixia por el taponamiento de espiráculos, desecación al afectar la cutícula induciendo deshidratación del insecto tratado (Isman, M. B & Machial, C. M. , 2006). En general se considera un modo de acción físico, y no fisiológico como en la mayoría de los insecticidas convencionales, lo cual los convierte en alternativas para el manejo de resistencia, así mismo, estas rutas de la muerte son de baja propensión al desarrollo de resistencia.

2.2.7. Aceite parafínico

Presenta un modo de acción físico ya que, al entrar en contacto con el estado de desarrollo del artrópodo, estos compuestos provocan un bloqueo de los espiráculos, obturando las tráqueas, e inducen la muerte por asfixia. Debido a que es un modo de acción físico, es difícil que se desarrolle resistencia a este tipo de productos. Se ha reportado que este tipo de productos tienen un efecto sobre todos los estados de desarrollo de *T. urticae* (Belay, T, Gofishu, M., & Kassaye, A. , 2018). Por lo que, pueden ser herramientas útiles en poblaciones con resistencia a acaricidas sintéticos.

2.3. Revisión bibliográfica

- Abdel-Hafez, H., & El-Nenaey, H. . (2014). Toxicological and biological effects of Juvenile Hormone Mimic (JHM) pyriproxyfen against the two spotted spider mite, *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae). *Acarines. Journal of the Egyptian Society of Acarology*, 8(1), 49-53.
- BASF. (2021). Obtenido de <https://www.basf.com/mx/es.html>
- Belay, T, Goftishu, M., & Kassaye, A. . (2018). Management of an emerging pest, *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae), with pesticides in eastern Ethiopia. *African Crop Science Journal*, 26(2), 291-304.
- Bernardi, D., Botton, M., da Cunha, U. S., Bernardi, O., Malausa, T., Garcia, M. S, & Nava, D. E. . (2013). Effects of azadirachtin on *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) and its compatibility with predatory mites (Acari: Phytoseiidae) on strawberry. *Pest Management Science*, 69(1), 75-80.
- CABI. (2021). Obtenido de CAB International: <https://www.cabi.org/isc/datasheet/53366>
- Cerna, E., Ochoa, Y., Aguirre, L., Badii, M., Gallegos, G., & Landeros, J. . (2009). Niveles de resistencia en poblaciones de *Tetranychus urticae* en el cultivo de la fresa. *Revista Colombiana de Entomología*, 35(1), 52-56.
- Díaz-Arias, K., Rodríguez-Maciel, J. C., Lagunes-Tejeda, Á., Aguilar-Medel, S., Tejeda-Reyes, M. A., & Silva-Aguayo, G. (2019). Resistance to abamectin in field population of *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) associated with cut rose from state of Mexico, Mexico. *Florida Entomologist*, 102(2), 428-430. doi:<https://doi.org/10.1653/024.102.0222>
- Ferragut, F., & Santonja, M.C. (1989). Taxonomía y distribución de los ácaros del género *Tetranychus* Dufour 1832 (Acari: Tetranychidae), en España. *Boletín de Sanidad Vegetal*, 15(3), 271-281.
- Grbić, M., Van Leeuwen, T., Clark, R. M., Rombauts, S., Rouze, P., Grbic, V., Hernandez-Crespo, P. (2011). The genome of *Tetranychus urticae* reveals herbivorous pest adaptations. *Nature*, 479, 487-492.
- Herbert, H. J. (1981). Biology, life tables, and innate capacity for increase of the twospotted spider mite, *Tetranychus urticae* (Acarina: Tetranychidae). *The Canadian Entomologist*, 113(5), 371-378.
- Horowitz, A.R., & Ishaaya, I. (2004). Biorational Insecticides — Mechanisms, Selectivity and Importance in Pest Management. En I. I. Horowitz A.R., *Insect Pest Management*. Springer, Berlin, Heidelberg. . Obtenido de https://doi.org/10.1007/978-3-662-07913-3_1

- IRAC. (2021). Obtenido de Insecticide Resistance Action Committee (IRAC): <https://www.ircac-online.org/modes-of-action/>
- Ishaaya, I., & Horowitz, A. R. . (1995). Pyriproxyfen, a novel insect growth regulator for controlling whiteflies: mechanisms and resistance management. *Pesticide Science*, 43(3), 227-232.
- Isman, M. B, & Machial, C. M. . (2006). Pesticides based on plant essential oils: from traditional practice to commercialization. *Advances in Phytomedicine*, 3, 29-44.
- Laborda, R., Manzano, I., Gamón, M., Gavidia, I., Pérez-Bermúdez, P., & Boluda, R. . (2013). Effects of *Rosmarinus officinalis* and *Salvia officinalis* essential oils on *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae). *Industrial Crops and Products*, 48, 106-110. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.04.011>.
- Lasota, J. A., & Dybas, R. A. . (1991). Avermectins, a novel class of compounds: implications for use in arthropod pest control. *Annual Review of Entomology*, 36(1), 91-117.
- Maniania, N. K., Bugeme, D. M., Wekesa, V. W., Delalibera, I., & Knapp, M. . (2008). Role of entomopathogenic fungi in the control of *Tetranychus evansi* and *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae), pests of horticultural crops. *Diseases of Mites and Ticks*, 259-274. Obtenido de https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9695-2_21.
- McMurtry J.A., & Croft, B. A. (1997). Life-styles of phytoseiid mites and their roles in biological control. *Annual Review of Entomology*, 42(1), 291-321.
- Mota-Sánchez, D., & Wise, J. (2019). *The Arthropod Pesticide Resistance Database*. Retrieved marzo 10, 2021, from Michigan State University: <http://www.pesticideresistance.org>
- Navarro, A., Sanchez, M., Orta, J., Delgado, J., & Conde, J. (2001). Tetránquidos y alergia ocupacional. *Alergología e Inmunología Clínica*, 16, 5-10.
- Reséndiz-García, B., & Castillo-Olivas, O. (2018). Biología del ácaro de dos manchas *Tetranychus urticae* Koch.(Acari: Tetranychidae) en laboratorio en Chapingo, Estado de México. *Entomología Mexicana*, 5, 40-45.
- Summit-Agro. (2021). Obtenido de <https://summitagromexico.com/>
- Syngenta. (2021). Obtenido de <https://www.syngenta.com.mx/product/crop-protection/insecticida/agrimecr-18-ce>
- Takahashi, N., Nakagawa, H., Sasama, Y., & Ikemi, N. . (2012). Development of a new acaricide, cyflumetofen. *Journal of Pesticide Science*, 37, 263-364.

- Tello, V., Castillo, P., Briceño, R., & Sánchez, M. (2013). Parámetros biológicos de *Tetranychus desertorum* (Acari: Tetranychidae) sobre hojas de poroto. *Idesia [online]*, 31(4), 27-33. doi:10.4067/S0718-34292013000400004.
- UPL. (2021). *Acramite® 50 WS*. Obtenido de <https://www.upl-ltd.com/mx/product-details/acramite>
- Valent. (2021). Obtenido de <https://www.valent.mx/productos/insecticidas/knack.php>
- Van Nieuwenhuysse, P., Demaeght, P., Dermauw, W., Khalighi, M., Stevens, C. V., Vanholme, B., & Van Leeuwen, T. . (2012). On the mode of action of bifenthrin: new evidence for a mitochondrial target site. *Pesticide biochemistry and physiology*, 104(2), 88-95. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2012.05.013>
- Villegas-Elizalde, S. E., Rodríguez-Maciel, J. C., Anaya-Rosales, S., Sánchez-Arroyo, H., Hernández-Morales, J., & Bujanos-Muñiz, R. . (2010). Resistencia a acaricidas en *Tetranychus urticae* (Koch) asociada al cultivo de fresa en Zamora, Michoacán, México. *Agrociencia*, 44(1), 75-81.
- Webster, P. (2005). Manejo integrado de ácaros en el cultivo de rosas bajo invernadero. *La Granja. Revista de Ciencias de la Vida*, 4, 55-57.

Capítulo 3 Toxicidad de acaricidas en los estadios de *Tetranychus urticae* Koch

3.1. Resumen

Tetranychus urticae Koch, es considerada a nivel mundial como plaga primaria por causar pérdidas económicas en cultivos agrícolas de gran importancia, tiene facilidad de adaptación por contar con diversidad de plantas que le sirven como hospedero, entre ellos algunas malezas que le sirven de refugio en lo que se establecen los cultivos.

Es una plaga altamente productiva con un ciclo corto de vida, lo que ayuda al desarrollo de resistencia a acaricidas comerciales, por lo que se deben buscar productos con diferentes modos de acción y probar su toxicidad en los diferentes estadios de *T. urticae*.

A nivel de laboratorio se probaron acaricidas comerciales comunes, obteniendo como resultado en cuanto a efectividad en el estadio de huevo a cyflumetofen, para el control de ninfas y adultos, los que mejores resultados mostraron fueron abamectina (2 mL. L⁻¹), cyflumetofen (2 mL.L⁻¹) y bifenazate (2 g.L⁻¹) con 76 %, 65 % y 80 % de mortalidad respectivamente (en adulto), para ninfa 92 %, 77 % y 82 % respectivamente, en un volumen de agua de 500 L.

3.2. Introducción

La arañita de dos puntos *T. urticae* Koch, se considera a nivel mundial como una de las plagas de gran importancia a nivel mundial (González, 1989), los miembros de la familia a la que pertenece (familia Tetranychidae) están adaptados a una gran variedad de plantas a las que causan daños graves como: debilitamiento, el característico manchado en hojas (por la succión del contenido celular) y muerte de estas (Kheradpir, N., Khalghani, J., Ostovan, H., & Rezapanah, M. R., 2007; Sadras, V. O., Wilson, L. J., & Rally, D. A., 1998). Reduciendo la capacidad de fotosintética, de transpiración y por ende disminución de crecimiento de la planta y de la producción (Avery, D. J. & Briggs, J. B., 1968)

A nivel nacional *T. urticae*, es reportada causando daños en zonas productoras de fresa: Irapuato, Guanajuato y Zamora, Michoacán; en menor

proporción en los estados de Jalisco, Estado de México, Puebla y Jalisco (Estebanez, 1989).

Esta plaga es considerada altamente productiva, la hembra puede lograr ovipositar en todo su ciclo hasta 300 huevecillos, por lo que, al no realizar un adecuado manejo, se puede rebasar el umbral económico permitido (Goodwin, S., et al., 1995). Se ha encontrado que puede haber disminución de la producción de un 60 hasta un 80 % (Mendoza-León, Dobronski-Arcos, Vásquez-Freytez, Frutos-Pinto, & Paredes-Carreño, 2019).

El principal método de control de esta plaga es el control químico, una recomendación para seguir obteniendo buenos resultados, es hacer un buen manejo de los productos (dosis correctas y rotación de grupos químicos). Con lo que se evitaría la pronta generación de resistencia.

3.3. Materiales y métodos

3.3.1. Poblaciones de araña roja

Se recolectó una población de campo entre los meses de septiembre y octubre de 2020, en una plantación comercial de fresa variedad Festival en la localidad de San Vicente de Malvas, Irapuato, Guanajuato (20°40'43.19" N, 101°16'59.80" W). Se seleccionaron al azar por lo menos 100 folíolos infestados con araña roja y se colocaron en bolsas de papel de estraza. El material biológico se envió al Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, para su reproducción a F₂. Con la ayuda de un pincel, los adultos recolectados en campo se transfirieron a plantas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L., variedad Peruano) de 40 días de edad y se colocaron en jaulas entomológicas (70 x 70 x 50 cm). Para los bioensayos se utilizaron individuos de la F₂. Como población susceptible se utilizó una colonia de *T. urticae* que ha sido mantenida libre de la exposición a plaguicidas por cuatro años, indica una estimación del número de generaciones. En ambos casos, las poblaciones se mantuvieron en condiciones de invernadero a una temperatura de 27± 5°C y humedad relativa 60±10%.

3.3.2. Acaricidas

Los bioensayos se realizaron con formulaciones comerciales (**Cuadro 2**) Para la preparación de las concentraciones requeridas se utilizó agua destilada que contenía 0.25 ml L⁻¹ de coadyuvante (Inex-A®, Cosmocel S.A., División Agrícola, San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México). Se aplicaron las dosis indicadas en la Tabla 2 en dos volúmenes de agua (500 L. ha⁻¹ y 1000 L. ha⁻¹), mismos que cubren el rango mínimo y máximo de los volúmenes de aplicación utilizados frecuentemente en campo.

Cuadro 2 Productos comerciales evaluados sobre los estados de desarrollo de *Tetranychus urticae* Koch

Ingrediente activo	Producto formulado	Fabricante	Dosis utilizada	Concentración evaluada 1000 L	Concentración evaluada 500 L
Pyriproxifen	Knack®	Valent de México, S.A. de C.V.	0.5 L	0.5 mL. L-1	1 mL.L-1
Bifenazate	Acramite®50 WS	Arysta LifeScience México, S.A. de C.V.	1.0 L	1 g.L-1	2 g.L-1
Sales potásicas de ácidos grasos	Ultralux ® S	Promotora Técnica Industrial S.A. de C.V.	2.0 L	2 mL.L-1	4 mL.L-1
Aceite parafínico	Citroil®	Promotora Técnica Industrial S.A. de C.V.	1.0 L (100 L de agua)	5 mL.L-1	10 mL.L-1
Azadiractina	Aza-Direct™ 1.2 CE	Gowan Mexicana S.A.P.I de C.V.	1.5 L	2 mL.L-1	4 mL.L-1
Abamectina	Agrimec®	Syngenta Agro S.A. de C.V.	1.0 L	1 mL.L-1	2 mL.L-1
Cyflumetofen	Danisaraba®SC	Summit Agro México, S.A. de C.V.	1.0 L	1 mL.L-1	2 mL.L-1

3.4. Bioensayos

3.4.1. Bioensayos por aspersion con Torre de Potter

En todos los casos se cortaron hojas de *P. vulgaris* var. Peruano de 35 a 40 días de edad, y con la ayuda de un sacabocados se cortaron discos de 40 mm de diámetro y se colocaron con el haz hacia abajo en una caja Petri que contenía 3 mL de agar (Bacto™ Agar, Becton, Dickinson and Company) al 2%. Con la ayuda de un pincel se transfirieron a cada disco foliar 15 a 20 hembras adultas de 48-72 h de edad, para obtener huevos y ninfas a tratar se dejaron por un periodo de 20 h para que ovipositaran libremente.

Posteriormente, con la ayuda de un microscopio estereoscópico se contabilizaron el número de huevos por disco de hoja, asegurando que cada uno contuviera 25-30 huevos. Para todos los casos huevos, ninfas y adultos se colocaron en incubación a $25 \pm 2^\circ\text{C}$ de temperatura, $55 \pm 5\%$ de humedad relativa y fotoperiodo de 16:8 h luz: oscuridad. Para los bioensayos se utilizaron hembras adultas de 48-72 h de edad, huevos de 24 horas de edad, y ninfas de 3 días de edad.

De cada tratamiento se aplicaron 2 mL. mediante el uso de una torre de Potter a una presión de 10 lb. pulg⁻² (0.703 kg.cm⁻²). El testigo se trató de la misma manera, sólo aplicando agua destilada más el coadyuvante. A las 72 h se registró el número de huevos eclosionados, y el número de ninfas y adultos muertos. Se consideró como hembra muerta que no se desplazaba más del doble de la distancia de su longitud de su cuerpo (Sato et al. 2005). La mortalidad se corrigió mediante el uso de la fórmula de Abbott (Abbott 1925). En todos los casos se realizaron cuatro repeticiones de cada tratamiento. Con los datos obtenidos se calculó el porcentaje de eclosión y mortalidad de ninfas y adultos. Previo a su análisis, los datos se transformaron a la función arcoseno de la raíz cuadrada del porcentaje de eclosión o mortalidad/100. Posteriormente, se realizó un análisis de varianza (PROC GLM), y una prueba de comparación de medias (Tukey, $P= 0.05$) (SAS Institute 2016) para determinar si había diferencias significativas.

3.4.2. Bioensayos por inmersión de disco de hoja

De las hojas del estrato medio de *P. vulgaris* var. Peruano se sumergieron en diferentes concentraciones de los acaricidas bifenazate, abamectina, y cyflumetofen durante 2 s. Luego, los discos foliares se agitaron suavemente por 20 s para eliminar el exceso de humedad. Grupos de 15-20 hembras adultas (solo se evaluaron hembras de 48-72 h de edad), se transfirieron a los discos de hoja y se colocaron con el haz hacia abajo en las cajas de Petri con agar al 2%. Primero se determinó el rango de concentraciones que producen de cero a 100% de mortalidad y posteriormente se incluyeron entre cinco y ocho concentraciones intermedias entre dicho rango. Los ácaros tratados se mantuvieron en condiciones controladas de $25 \pm 2^\circ\text{C}$ de temperatura, 55 ± 5

% de humedad relativa y fotoperiodo de 16:8 h luz: oscuridad. A las 48 h de exposición se determinó el porcentaje de mortalidad considerando como muerta aquella hembra que no se desplazaba más del doble de la distancia de la longitud de su cuerpo (Sato et al. 2005). En total se realizaron al menos cinco repeticiones en diferentes días para cada población, y cada repetición incluyó un testigo tratado con agua destilada y coadyuvante. El máximo nivel de mortalidad aceptado para el testigo sin acaricida fue de 15%, y se corrigió mediante la fórmula de Abbott (Abbott 1925). Los datos de mortalidad se sometieron a un análisis Probit con el procedimiento PROC PROBIT con el paquete estadístico Statical Analysis System (SAS Institute 2016), para estimar la pendiente, concentración letal (CL) a un nivel del 50 de mortalidad, y límites de confianza al 95%. El valor de respuesta relativa (RR) al 50% de mortalidad, se obtuvo al dividir la CL₅₀ de la población de campo entre la CL₅₀ de la población susceptible, para cada acaricida. Se consideró que la respuesta de las poblaciones es diferente cuando los límites de confianza no se traslapan (Robertson y Preisler 1992). El nivel de resistencia fue clasificado de acuerdo a la escala propuesta por Kim et al. (2004), donde el valor de la RR₅₀ fue separado en cuatro grupos, <10 (bajo), 10-40 (moderado), >40-160 (alto), y >160 (extremadamente alto).

3.4.3. Efecto de cyflumetofen sobre la fecundidad de *T. urticae*

Discos de hoja con grupos de 20-25 hembras de 48-27 horas de edad de la población susceptible, se sumergieron por 2 segundos en una dosis de 1 mg L⁻¹ de cyflumetofen (Danisaraba® SC) como se describió anteriormente en el apartado 3.4.2, la dosis fue elegida debido a que ocasionaba una mortalidad menor al 20%, a las 24 h se seleccionaron hembras vivas (que se desplazaban más del doble de la distancia de la longitud de su cuerpo), y se colocaron en grupos de 10 hembras tratadas en discos de hoja sin tratar, y mantenidas bajo las condiciones mencionadas por 24 h. Se incluyó un testigo sin la aplicación de acaricida, solo con la mezcla de agua destilada y coadyuvante. Se realizaron 8 repeticiones. A las 48 horas de eliminaron las hembras y se contabilizaron el número de huevos ovipositados. Los datos del número de huevos ovipositados por disco se transformaron a la función $\log_{10}(x+1)$.

Posteriormente, se realizó un análisis de varianza (PROC GLM), y una prueba de comparación de medias (Tukey, $P= 0.05$) (SAS Institute 2016). El experimento fue repetido en dos ocasiones.

3.5. Resultados

3.5.1. Bioensayo de acaricidas sobre estados biológicos de *T. urticae*

Se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos evaluados sobre los estados biológicos de *T. urticae* (**Cuadro 3**).

El acaricida cyflumetofen fue el que produjo la menor eclosión de huevos, tanto en la población susceptible como la de campo, con un porcentaje mayor al 96.3%, actividad que no se vio disminuida al aumentar el volumen de agua. Posteriormente azadiractina, aceite parafínico, bifenazate, y pyriproxyfen en un volumen de aplicación de 500 L, sin embargo, al aumentar el volumen a 1,000 L se conservó la misma tendencia, pero disminuyó el porcentaje de eclosión.

Para ninfa los acaricidas más efectivos en la población susceptible a los dos volúmenes de agua utilizados, así como en la población de campo en el volumen de 500 L fueron abamectina, cyflumetofen, bifenazate, azadiractina, y aceite parafínico. Para la población de campo a 1000 L de agua la eficacia de abamectina disminuyó notablemente al igual que en los demás tratamientos.

Para adultos, en la población susceptible cyflumetofen, abamectina, bifenazate, y azadiractina fueron los más efectivos utilizando los dos volúmenes de agua, mientras que en la población de campo a 500 L el tratamiento de aceite parafínico y sales potásicas, fueron los más efectivos. Mientras que, a 1000 L, bifenazate, abamectina, aceite parafínico, y pyriproxyfen presentaron la mayor mortalidad.

Cuadro 3 Mortalidad corregida inducida (en porcentaje) por acaricidas evaluados en los estados biológicos de *Tetranychus urticae*

500 L agua							
Tratamiento	Huevo (24 h)		Ninfa (48 h)		Adulto (48 h)		
	Dosis	Susceptible	Campo	Susceptible	Campo	Susceptible	Campo
Abamectina	2 mL.L ⁻¹	20.5 bcd	24.9 bcd	100.0 a	92.4 a	99.4 a	76.3 abcd
Bifenazate	2 g.L ⁻¹	27.6 bc	30.2 bc	89.8 abc	82.5 abc	100.0 a	80.0 abc
Cyflumetofen	2 mL.L ⁻¹	97.8 a	100.0 a	96.2 ab	77.1 abcd	100.0 a	65.5 def
Azadiracthin	4 mL.L ⁻¹	33.5 b	39.7 b	91.2 abc	75.4 abcd	97.7 a	76.4 abcd
Pyriproxifen	1 mL.L ⁻¹	24.9 bc	43.8 b	68.0 cde	67.4 cde	82.5 b	76.3 abcd
Sales Potásicas	4 mL.L ⁻¹	8.7 cde	26.2 bcd	70.0 bcd	60.9 cde	82.1 b	82.0 ab
Aceite parafínico	10 mL.L ⁻¹	30.6 bc	42.4 b	87.4 bcd	88.3 ab	79.6 b	83.3 a

1000 L agua							
Tratamiento	Huevo (24 h)		Ninfa (48 h)		Adulto (48 h)		
	Dosis	Susceptible	Campo	Susceptible	Campo	Susceptible	Campo
Abamectina	1 mL.L ⁻¹	1.5 de	11.2 cde	100.0 a	57.2 de	100.0 a	71.0 cdef
Bifenazate	1 g.L ⁻¹	19.0 bcde	13.7 cde	89.2 abc	68.5 bcde	98.9 a	72.7 bcde
Cyflumetofen	1 mL.L ⁻¹	96.3 a	99.4 a	95.3 ab	71.7 bcde	99.4 a	59.3 f
Azadiracthin	2 mL.L ⁻¹	23.4 bc	23.7 bcd	78.8 bcde	67.9 bcde	81.5 b	66.4 def
Pyriproxifen	0.5 mL. L ⁻¹	20.5. bcd	31.7 bc	59.0 de	59.1 de	61.6 b	70.3 cdef

Sales Potásicas	2 mL.L ⁻¹	0.2 de	7.4 de	56.6 e	47.0 e	75.7 b	63.8 ef
Aceite parafínico	5 mL.L ⁻¹	16.2 bcde	31.7 bc	67.0 cde	74.4 abcd	69.4 b	70.9 cdef
<i>Prob</i>		<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001

* Medias en la misma columna seguidas por la misma letra no son estadísticamente diferentes (P=0.05, Tukey test). Datos fueron transformados a la función arcoseno de la raíz cuadrada de la respuesta/100, datos no transformados en sus valores originales son mostrados.

*() es la edad de cada estadio, en horas

3.5.2. Toxicidad de acaricidas sobre *T. urticae*

Para abamectina el valor de la CL_{50} para la población susceptible fue de 0.13 mg L^{-1} , mientras que la CL_{50} de la población de campo fue de 16.4 mg L^{-1} . Ambas poblaciones fueron estadísticamente diferentes, ya que los límites de confianza no se traslaparon (**Cuadro 4**).

Para bifenazate, las poblaciones fueron estadísticamente diferentes, ya que los límites de confianza no se traslaparon, el valor de la CL_{50} para la población susceptible fue de 3.75 mg L^{-1} , mientras que la CL_{50} de la población de campo fue de 15.7 mg L^{-1} (**Cuadro 4**).

Mientras que para cyflumetofen, las poblaciones fueron estadísticamente diferentes, ya que los límites de confianza no se traslaparon, el valor de la CL_{50} para la población susceptible fue de 6.47 mg L^{-1} , mientras que la CL_{50} de la población de campo fue de 79.3 mg L^{-1} (**Cuadro 4**).

Cuadro 4 Susceptibilidad de dos poblaciones de *Tetranychus urticae* a tres acaricidas

Acaricida	Población	n*	gl*	Pendiente ± SE	LC ₅₀ (FL)*	RR ₅₀ **	Nivel***
Abamectina	CAMPO	390	6	0.52 ± 0.10	16.4 (0.56- 395.5)	126.1	Alto
	SUSC	732	7	0.92 ± 0.10	0.13 (0.07- 0.24)		
Bifenazate	CAMPO	345	5	0.54 ± 0.05	15.7 (8.11- 31.1)	4.2	Bajo
	SUSC	488	6	1.10 ± 0.10	3.75 (2.77- 5.14)		
Cyflumetofen	CAMPO	476	8	0.37 ± 0.04	79.3 (34.7- 170.0)	12.3	Moderado
	SUSC	565	5	1.03 ± 0.15	6.47 (3.03- 13.5)		

* n = número de ácaros tratados; gl = Grados de libertad; SE = Error estándar de la pendiente; LC = Concentración letal = mg L^{-1} ; FL = Límites de confianza al 95%.

** = Respuesta relativa = LC_{50} de la población de campo entre la LC_{50} de la población susceptible.

*** = Nivel de resistencia de acuerdo a Kim et al. (2004): <10 (bajo), 10-40 (moderado), >40-160 (alto), y >160 (extremadamente alto).

3.5.3. Efecto de cyflumetofen sobre la fecundidad de *T. urticae*

No existieron diferencias estadísticamente significativas entre las ocasiones en que se realizaron los experimentos ($F_{1, 28} = 0.21$, $P=0.6517$). Mientras que entre tratamientos se encontraron diferencias estadísticamente ($F_{1, 28} = 28.20$, $P<0.0001$), las hembras de *T. urticae* tratadas con una dosis de 1 mg. L⁻¹ de cyflumetofen ovipositaron una menor cantidad de huevos a las 48 h (3.18 huevos por hembra, mientras que en el control ovipositaron una mayor proporción (8.85 huevos por hembra) (Figura 1). Sin embargo, la eclosión de huevos ovipositados fue mayor al 90%.

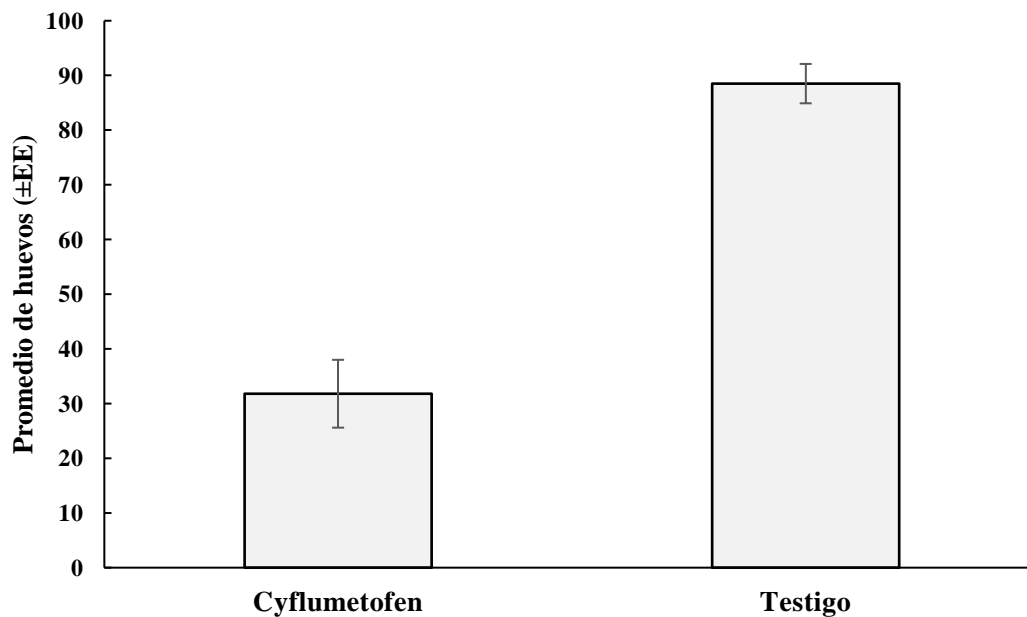


Figura 1 Número de huevos ovipositados a las 48 h por 10 hembras de *Tetranychus urticae*, tratados con 1 mg. L⁻¹ de cyflumetofen.

3.6. Discusión

La araña roja *Tetranychus urticae*, es un importante problema fitosanitario en diversos cultivos agrícolas en México como maíz (*Zea mays*, L.), jitomate (*S. lycopersicum*), chile (*Capsicum annum*, L.), fresa (*F. x ananassa*), zarzamora (*R. ulmifolius*) frambuesa (*R. idaeus*), rosal (*Rosa chinensis* Jacq.), gerbera (*Gerbera jamesonii*, L.), entre otros. Los factores biológicos como ciclo de vida corto, alta fecundidad, y determinación sexual haplo-diploide (Tehri, K., 2014; Van Leeuwen, T., , Vontas, J., Tsagkarakou, A., Dermauw, W., & Tirry, L. , 2010), en combinación con aplicaciones frecuentes de acaricidas y aumento de dosis por parte de los productores (Díaz-Arias et al. 2019), abren la puerta para un rápido desarrollo de resistencia, propiciando un gran número de casos a nivel global (Mota-Sánchez & Wise 2021).

En esta investigación, encontramos variación en la susceptibilidad de hembras adultas de una población de campo a abamectina, bifenazate, y cyflumetofen, mostrando un nivel de resistencia alto, bajo, y moderado respectivamente (**Cuadro 4**). Estos datos son interesantes debido a que cyflumetofen es un acaricida de reciente introducción al mercado, y mostró una disminución de su eficacia en una población de campo (**Cuadro 3**).

Se estimaron niveles de resistencia para abamectina de 126.1x que se reflejó en una disminución de la efectividad en hembras adultas del 23%, para bifenazate la RR_{50} fue de 4.2x, pero se obtuvo una disminución del 20% de efectividad, mientras que para cyflumetofen una RR de 12.3x se reflejó en una disminución del 34.5% de la eficacia. Esto concuerda con lo mencionado por French-Constant R.H. & Roush R.T., (1990), donde una alta frecuencia de resistencia, no siempre se verá reflejada en fallas en el control, y de manera inversa una baja frecuencia de resistencia puede ocasionar fallas en el control, aseveraciones que se muestran en nuestros resultados.

Abamectina mostró niveles de RR de 126x, y una disminución en la efectividad del 23% en hembras adultas y 9.0% en ninfas, lo cual no es sorprendente, ya que por dos décadas ha sido uno de los acaricidas frecuentemente usados en el manejo de

araña roja en México, y reportes de resistencia han sido documentados (Cerna et al. 2009; Díaz-Arias et al. 2019; Villegas-Elizalde et al 2010). Mientras que para bifenazate una RR de 4.2x mostró una disminución del 20 y 17.5% en el control de hembras adultas y ninfas respectivamente. En ambos casos esta disminución no la consideramos significativa, sin embargo, nos da la pauta a tomar medidas precautorias en la diversificación de las tácticas de manejo a implementar.

Cyflumetofen, es un acaricida que actúa como inhibidor del transporte de electrones en el complejo mitocondrial II, agrupado en el grupo 25 de la clasificación del “Insecticide Resistance Action Committee”, en donde se encuentra de igual manera el acaricida cyenopyrafen (Hayashi, N., Sasama, Y., Takahashi, N. & Ikemi, N. 1981; IRAC 2021). Este activo mostró un nivel moderado de resistencia con 12.3x. Sin embargo, su efectividad en hembras adultas de la población de campo se vio comprometida en un 34.5% en comparación con una población susceptible. Esto es intrigante, ya que es un ingrediente activo de reciente introducción y con un uso poco frecuente en la zona de estudio y México, en comparación con abamectina y bifenazate. En China, Wang, Y., Zhao, S., Shi, L., Xu, Z., & He, L. (2014) encontraron una variación en la susceptibilidad en poblaciones de campo de *Tetranychus cinnabarinus*, aunque fueron niveles bajos (menores a 5.85x), este acaricida no había sido utilizado, relacionando a las enzimas glutatión S transferasas (GSTs), como el mecanismo detoxificante más importante que confiere resistencia a cyflumetofen.

La resistencia metabólica por un aumento de enzimas detoxificantes, ha sido uno de los principales mecanismos que confiere resistencia a xenobióticos como los insecticidas, donde las GSTs son un grupo importante que cumple esta función, reduciéndolos a compuestos hidrosolubles que son fácilmente excretados (Enayati, A. A., Ranson, H., & Hemingway, J. , 2005). Existe evidencia que un aumento en los niveles de GSTs confieren resistencia metabólica a cyflumetofen (Feng, K., et al., 2019; Khalighi, M., Tirry, L. , & Van Leeuwen, T. , 2014; Wang et al. 2014; Pavlidi, N., et al., 2017). Por otro lado, las GSTs también han sido documentadas en conferir resistencia a abamectina en *Tetranychus urticae* y otros artrópodos (Çağatay, N. S.,

Menault, P., Riga, M., Vontas, J., & Ay, R. , 2018; Siqueira, H. A. A., Guedes, R. N. C., Fragoso, D. D. B., & Magalhaes, L. C. , 2001). Por lo que suponemos, que el uso constante de abamectina en el manejo de araña roja en la zona de estudio ha llevado al desarrollo de un mecanismo común mediado por enzimas detoxificantes, posiblemente GSTs, que han permitido una disminución en la efectividad de cyflumetofen en hembras adultas de *T. urticae*.

El IRAC recomienda la rotación de activos con modos de acción diversos, minimizando la selección a un grupo específico. Sin embargo, la resistencia metabólica no está relacionada con el modo de acción, y por lo tanto puede conferir resistencia a insecticidas en más de un grupo de la clasificación de modos de acción del IRAC, fenómeno que ha sido documentado en *T. urticae*, donde Sugimoto, N. & Osakabe, M.(2014) encontró resistencia entre cyenopyrafen (METI II, Grupo 25 IRAC) y pyridaben (METI I, Grupo 21 IRAC), mientras que Van Leeuwen, T., Stillatus, V., & Tirry, L., (2004) encontró resistencia cruzada debida a esterases en chlorfenapyr (Grupo 13 IRAC) con bifentrina (Grupo 3A IRAC), dimetoato (Grupo 1B IRAC), clofentezine (Grupo 10A IRAC), y amitraz (Grupo 19 IRAC).

Lo cual, lleva a que las alternancias de modos de acción no sean oportunas en ciertos escenarios, pero estos escenarios requieren del conocimiento de los mecanismos de resistencia metabólicos involucrados, desafortunadamente este tipo de estudios requieren el uso de equipos especializados, reactivos específicos, y conocimiento en la manipulación de estos. Esta limitación conlleva a que la rotación de modos de acción siga siendo viable en la minimización de la resistencia.

Por lo tanto, la evaluación de la efectividad de los acaricidas empleados en el combate de araña roja en cada región agrícola jugará un papel fundamental para establecer las rotaciones adecuadas en el manejo de este problema. La efectividad en cada uno de los estados biológicos de *T. urticae* que evaluamos mostraron variabilidad, siendo cyflumetofen el más efectivo en el control de huevos tanto en la población susceptible como de campo en comparación con los demás activos, esto es interesante, ya que a pesar de que la efectividad en ninfas y adultos se vio disminuida en la población de campo, se mostró altamente efectivo en huevos. Este

comportamiento había sido reportado en cyenopyrafen acaricida relacionado a cyflumetofen ambos pertenecientes al grupo 25 en la clasificación IRAC, donde Sugimoto et al. (2014) encontraron que, al aumentar los niveles de resistencia en hembras adultas, la LC₅₀ de huevos no tuvo cambios significativos, encontrando una posible expresión de la resistencia a este compuesto dependiente de la edad, resultados similares a los encontrados en este estudio. Un experimento adicional al tratar hembras adultas a una concentración de 1 mg L⁻¹ mostró una inhibición de la oviposición, lo cual, conlleva a un replanteamiento en el uso de este activo, como un acaricida efectivo en el control de huevos, con actividad en ninfas y adultos, y disminución en la fecundidad de hembras tratadas.

Los acaricidas bioracionales evaluados mostraron variación en la efectividad sobre los estados de desarrollo de *T. urticae*, pero son herramientas alternativas en el manejo de este artrópodo, coadyuvando en la mitigación y retraso de la aparición de la resistencia.

Nuestro estudio sugiere el posible desarrollo de resistencia en campo de hembras adultas de araña roja a cyflumetofen, sin embargo, una alta eficacia sobre huevos fue observada sugiriendo una expresión de resistencia dependiente de la edad, así mismo, se observó una disminución en la fertilidad de hembras, por lo que, esta información debe de tomarse en consideración en el planteamiento de estrategias en el uso de cyflumetofen en el combate de araña roja.

Así mismo, es importante enfatizar que se requiere una colaboración más estrecha entre productores, empresas, e instituciones de enseñanza e investigación, para desarrollar estrategias en la detección y planteamiento de tácticas en el manejo de la resistencia a acaricidas.

3.7. Conclusiones

- Los acaricidas que mostraron la menor eclosión de huevos de *Tetranychus urticae* fueron cyflumetofen, azadiractina, aceite parafínico, bifenazate, y pyriproxyfen. Para ninfas, los que presentaron la mayor mortalidad fueron abamectina, cyflumetofen, bifenazate, azadiractina, y aceite parafínico. Mientras que para adultos cyflumetofen, abamectina, bifenazate, y azadiractina presentaron la mayor mortalidad. Adicionalmente cyflumetofen mostró un efecto en la fecundidad de hembras de *T. urticae*.
- Los valores de la concentración letal al 50% de mortalidad arrojaron valores de 126.1x, 4.2x, y 12.3x para abamectina, bifenazate y cyflumetofen respectivamente. Estos resultados en adición a la mortalidad observada en hembras adultas de *T. urticae* sugieren el desarrollo de resistencia a abamectina y cyflumetofen en la población de campo.
- El acaricida cyflumetofen mostró una reducción en la fecundidad de hembras de *T. urticae*.
- Los resultados obtenidos sugieren la implementación de medidas de control alternativas al control químico en el manejo de araña roja en la zona de estudio.

3.8. Referencias bibliográficas

- Avery, D. J., & Briggs, J. B. (1968). The aetiology and development of damage in young fruit trees infested with fruit tree red spider mite. *Annals of applied biology*, 61, 277-288. Obtenido de <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.1968.tb04532.x>
- Çağatay, N. S., Menault, P., Riga, M., Vontas, J., & Ay, R. . (2018). Identification and characterization of abamectin resistance in *Tetranychus urticae* Koch populations from greenhouses in Turkey. *Crop Protection*, 112, 112-117.
- Cerna, E., Ochoa, Y., Aguirre, L., Badii, M., Gallegos, G., & Landeros, J. . (2009). Niveles de resistencia en poblaciones de *Tetranychus urticae* en el cultivo de la fresa. *Revista Colombiana de Entomología*, 35(1), 52-56.
- Díaz-Arias, K., Rodríguez-Maciél, J. C., Lagunes-Tejeda, Á., Aguilar-Medel, S., Tejeda-Reyes, M. A., & Silva-Aguayo, G. (2019). Resistance to abamectin in field population of *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) associated with cut rose from state of Mexico, Mexico. *Florida Entomologist*, 102(2), 428-430. doi:<https://doi.org/10.1653/024.102.0222>
- Enayati, A. A., Ranson, H., & Hemingway, J. . (2005). Insect glutathione transferases and insecticide resistance. *Insect molecular biology*, 14(1), 3-8.
- Estebanez, M. L. (1989). Ácaros en frutales del Estado de Morelos. *Instituto de Biología de la UNAM y Dirección General de Sanidad y Protección Forestal SARH*, 360.
- Feng, K., Yang, Y., Wen, X., Ou, S., Zhang, P., Yu, Q., & He, L. . (2019). Stability of cyflumetofen resistance in *Tetranychus cinnabarinus* and its correlation with glutathione-S-transferase gene expression. *Pest Management Science*, 75(10), 2802-2809.
- fFrench-Constant R.H., & Roush R.T. (1990). Resistance Detection and Documentation: The Relative Roles of Pesticidal and Biochemical Assays. En T. B. Roush R.T., *Pesticide Resistance in Arthropods* (págs. 4-38). Springer, Boston, MA. Obtenido de https://doi.org/10.1007/978-1-4684-6429-0_2
- Goodwin, S., Herron, G., Gough, N., Wellham, T., Rophail, J., & Parker, R. (1995). Relationship Between Insecticide-Acaricide Resistance and Field Control in *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) Infesting Roses. *Journal of Economic Entomology*, 88, 1106-1112. Retrieved from <https://doi.org/10.1093/jee/88.5.1106>
- Hayashi, N., , Sasama, Y.,, Takahashi, N., , & Ikemi, N. . (1981). Cyflumetofen, a novel acaricide—its mode of action and selectivity. *Pest management science*, 113(5), 371-378.

- IRAC. (2021). Obtenido de Insecticide Resistance Action Committee (IRAC): <https://www.irac-online.org/modes-of-action/>
- Khalighi, M., Tirry, L. , & Van Leeuwen, T. . (2014). Cross-resistance risk of the novel complex II inhibitors cyenopyrafen and cyflumetofen in resistant strains of the two-spotted spider mite *Tetranychus urticae*. *Pest Management Science*, *70*(3), 365-368.
- Kheradpir, N., Khalighani, J., Ostovan, H., & Rezapanah, M. R. (2007). The comparison of demographic traits in *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) on five different greenhouse cucumber hybrids (*Cucumis sativus*). *Acta Horticulturae*, *747*, 425-430. doi:10.17660/ActaHortic.2007.747.53
- Mendoza-León, D., Dobronski-Arcos, J., Vásquez-Freytez, C., Frutos-Pinto, V., & Paredes-Carreño, S. (2019). Control de *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) con *Bacillus subtilis* en hojas de fresa (*Fragaria vesca*). *Agron. Costarricense*, *43*(1). Obtenido de <http://dx.doi.org/10.15517/rac.v43i1.35676>
- Mota-Sánchez, D., & Wise, J. (2019). *The Arthropod Pesticide Resistance Database*. Retrieved marzo 10, 2021, from Michigan State University: <http://www.pesticideresistance.org>
- Pavliidi, N., Khalighi, M., Myridakis, A., Dermauw, W., Wybouw, N., Tsakireli, D., & Van Leeuwen, T. . (2017). A glutathione-S-transferase (TuGSTd05) associated with acaricide resistance in *Tetranychus urticae* directly metabolizes the complex II inhibitor cyflumetofen. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, *80*, 101-115.
- Sadras, V. O., Wilson, L. J., & Rally, D. A. (1998). Water deficit enhanced cotton resistance to spider mite herbivory. *Annals of botany*, *81*, 273-286. Obtenido de <https://doi.org/10.1006/anbo.1997.0551>
- Siqueira, H. A. A., Guedes, R. N. C., Fragoso, D. D. B., & Magalhaes, L. C. . (2001). Abamectin resistance and synergism in Brazilian populations of *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae). *International Journal of Pest Management*, *47*(4), 247-251.
- Sugimoto, N., & Osakabe, M. . (2014). Cross-resistance between cyenopyrafen and pyridaben in the twospotted spider mite *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae). *Pest management science*, *70*(7), 1090-1096.
- Sugimoto, N., & Osakabe, M. . (2014). Cross-resistance between cyenopyrafen and pyridaben in the twospotted spider mite *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae). *Pest management science*, *70*(7), 1090-1096.

- Tehri, K. (2014). A review on reproductive strategies in two spotted spider mite, *Tetranychus Urticae* Koch 1836 (Acari: Tetranychidae). *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 2(5), 35-39.
- Van Leeuwen, T., , Vontas, J., Tsagkarakou, A., Dermauw, W., & Tirry, L. . (2010). Acaricide resistance mechanisms in the two-spotted spider mite *Tetranychus urticae* and other important Acari: a review. *Insect biochemistry and molecular biology*, 40(8), 263-572.
- Van Leeuwen, T., Stillatus, V., & Tirry, L. (2004). Genetic analysis and cross-resistance spectrum of a laboratory-selected chlorfenapyr resistant strain of two-spotted spider mite (Acari: Tetranychidae). *Experimental & applied acarology*, 32(4), 249-261.
- Villegas-Elizalde, S. E., Rodríguez-Maciel, J. C., Anaya-Rosales, S., Sánchez-Arroyo, H., Hernández-Morales, J., & Bujanos-Muñiz, R. . (2010). Resistencia a acaricidas en *Tetranychus urticae* (Koch) asociada al cultivo de fresa en Zamora, Michoacán, México. *Agrociencia*, 44(1), 75-81.