



## EFFECTO DE ACARICIDAS QUÍMICOS EN LA MORTALIDAD DE LA ARAÑA ROJA *Tetranychus urticae* KOCH (Acari: Tetranychidae) †

### [EFFECTS OF CHEMICAL ACARICIDES ON THE MORTALITY OF THE TWO SPOTTED SPIDER MITE *Tetranychus urticae* KOCH (Acari: Tetranychidae)]

Marcos Enrique Cua-Basulto<sup>1</sup>, Esaú Ruiz-Sánchez<sup>1\*</sup>, Wilberth Chan-Cupul<sup>2</sup>, Arturo Reyes-Ramírez<sup>1</sup>, Horacio Ballina-Gómez<sup>1</sup> and Emanuel Hernández Núñez<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Conkal, Avenida Tecnológico s/n, C.P. 97345, Conkal, Yucatán, México. Email: \*esau.ruiz@itconkal.edu.mx

<sup>2</sup>Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Colima, Km 40 autopista Colima-Manzanillo, C.P. 28934, Tecoman, Colima, México.

<sup>3</sup>CONACYT-Departamento de Recursos del Mar, CINVESTAV-IPN Unidad Mérida, C.P.97310, Mérida, Yucatán, México.

\*Corresponding author

#### SUMMARY

**Background.** Chemical acaricides with different modes of action are an effective alternative for the management of *T. urticae* and to prevent the selection of resistant population. **Objective.** To evaluate the effect of chemical acaricides of different toxicological groups on the mortality of *T. urticae*. **Methodology.** To evaluate the acute toxicity, mites were exposed to leaf discs of eggplants that had been immersed in the acaricides. The mortality was recorded at 4 h period for a total of 48 h. To evaluate the residual effect, the acaricides were applied to eggplant plants, leaf discs were obtained at different periods (1 - 32 days after acaricide application) and *T. urticae* adults and nymphs were exposed to the leaf discs. **Results.** Abamectin, spiroadiclofen and fenpyroximate had the fastest effects in adults and nymphs (4 h after application). Abamectin, spiroadiclofen and fenpyroximate had long-term effects, for up to two weeks. Spiroadiclofen, fenpyroximate and acequinocyl had also ovicidal effect. **Implication.** Chemical acaricides with different mode of action represent a viable option for the management of *T. urticae* and the prevention of the selection of resistant populations. **Conclusión.** Abamectin, spiroadiclofen, and fenpyroximate are highly toxic against adults and immature *T. urticae*.

**Keywords:** Red spider mite; Toxic effect; Acaricide toxicology.

#### RESUMEN

**Antecedentes.** El uso de acaricidas químicos con diferentes modos de acción son una alternativa eficaz para el manejo de la araña roja *T. urticae* y para prevenir la selección de poblaciones resistentes. **Objetivo.** Evaluar el efecto de acaricidas químicos de diferentes grupos toxicológicos en la mortalidad de *T. urticae*. **Metodología.** Para evaluar la toxicidad aguda, grupos de ácaros se expusieron a discos foliares de berenjena tratados con los acaricidas, y se registró la mortalidad cada 4 h por 48 h. Para evaluar el efecto residual, los acaricidas se aplicaron a plantas de berenjena, se obtuvieron discos foliares en diferentes periodos (1 - 32 días posteriores al tratamiento), y se expuso *T. urticae* por 24 h. **Resultados.** Abamectina, spiroadiclofen y fenpiroximato tuvieron efectos agudos inmediatos en adultos y ninfas (4 h posteriores a la aplicación). Abamectina, spiroadiclofen y fenpiroximato tuvieron efectos prolongados, hasta por dos semanas. Además, spiroadiclofen, fenpiroximato y acequinocyl tuvieron efectos ovicidas. **Implicación.** Los acaricidas químicos con diferentes modos de acción representan una opción viable para el manejo de *T. urticae*, y la prevención de selección de poblaciones resistentes. **Conclusión.** Abamectina, spiroadiclofen y fenpiroximato son altamente tóxicos contra adultos e inmaduros de *T. urticae*.

**Palabras clave:** araña roja; efecto tóxico; toxicología de acaricidas.

#### INTRODUCCIÓN

La araña roja *Tetranychus urticae* es la especie fitófaga más importantes de la familia Tetranychidae, ya que ataca a más de 4,150 especies vegetales de importancia

hortícola y frutícola a nivel mundial (Reddy and Dolma, 2017). La araña roja ocasiona daños en las hojas produciendo amarillamientos debido a la succión de savia, sin embargo, cuando las poblaciones son abundantes invaden inflorescencias, frutos y tallos,

† Submitted September 2, 2021 – Accepted November 22, 2021. This work is licensed under a CC-BY 4.0 International License. ISSN: 1870-0462.

donde reduce significativamente la resistencia estomática, la tasa fotosintética y la transpiración, como resultado disminuye el crecimiento, floración y potencial productivo (Landeros *et al.*, 2013; Uddin *et al.*, 2015).

Para el control de los ácaros se han utilizado diferentes acaricidas químicos, incluyendo acaricidas neurotóxicos, como abamectina, que es un activador de canales de cloruro activados por glutamato (Riga *et al.*, 2014). En los últimos años han surgido otros grupos de acaricidas con diversos modos de acción, como los que actúan sobre la respiración mitocondrial, conocidos como acaricidas METI (Mitocondrial Electron Transport Inhibitors), los cuales inhiben el transporte de electrones en la mitocondria en los diferentes complejos. Los acaricidas METI forman grupos de acuerdo al sitio específico de acción, el grupo METI I actúa en el complejo I, incluye a fenpiroximato, tebufenpirad, fenazaquin, flufenimer, piridabeno, pirimidifen y tolfenpyrad; el grupo METI II actúa en el complejo II, incluye cyenopyrafen y cyflumetofen; y el grupo METI III actúa en el complejo III (METI III), incluye acequinocyl, bifenazate y flucrypyrim (Marcic, 2012; Van Leeuwen *et al.*, 2015). Otro grupo de acaricidas de recién aparición en el mercado, incluye a los derivados de los ácidos tetrónicos y tetrámicos, los cuales se han usados en México desde hace una década, y cuyo modo de acción se basa en la alteración de la síntesis de lípidos a través de la inhibición de la acetil-CoA carboxilasa (ACC), representado por spiromesifen, spirodiclofen y spirotramat (Bretschneider *et al.*, 2012; Marcic, 2012; Van Leeuwen *et al.*, 2015).

En la actualidad para el manejo de *T. urticae*, la abamectina es uno de los más usados, demostrando su buen efecto tóxico hasta la presente fecha (Schmidt-Jeffris *et al.*, 2021a). Lagziri y Amrani, (2009) y Hassan and Hamad-Ameen, (2019) llevaron a cabo prueba en abamectina registrando mortalidades del 100% en periodos cortos posteriores a la exposición. Sin embargo, existen reportes que el uso frecuente y a largo plazo de la abamectina selecciona poblaciones resistentes, debido al incremento de actividad de enzimas de desintoxicación (esterasas, P-450 monoxigenasas y glutatión S-transferasas), lo que resulta en fracasos en los programas de control basados únicamente en este acaricida (Çağatay *et al.*, 2018; Solmaz *et al.*, 2020).

Existe alto riesgo de seleccionar poblaciones resistentes a un acaricida cuando sólo se usa de manera individual, sin un programa de rotación. Por ello, el uso de los acaricidas METI y los derivados de los ácidos tetrónicos/tetrámicos representan una opción viable para incrementar el arsenal de productos para el manejo de *T. urticae* considerando la integración de acaricidas con diferentes modos de acción. Estos

acaricidas han mostrado alta efectividad en programas de manejo de ácaros (Sarbaz *et al.*, 2017; Schmidt-Jeffris *et al.*, 2021a). En este estudio se evaluó el efecto de los acaricidas químicos sobre la mortalidad de *T. urticae*, en pruebas de toxicidad aguda por 48 h y en evaluaciones del efecto residual por un periodo de 32 días.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Colonia de ácaros

*Tetranychus urticae* se obtuvo en 2018 de plantas de papaya (*Carica papaya* L.) cultivadas en traspatio en Conkal, Yucatán. La colonia se ha mantenido desde entonces, sin exposición a insecticidas, en plantas de berenjena (*Solanum melongena* L.) en un invernadero rústico en el Instituto Tecnológico de Conkal. De esta colonia se tomaron hojas infestadas con ácaros que se fijaron con clips a la parte apical de plantas sanas de berenjena (*S. melongena* L.) de 3 semanas de edad, establecidas en un invernadero de producción de hortícola. Posterior a tres semanas de la infestación inicial de las hojas, se tuvieron colonias de *T. urticae* con individuos de diferentes estados de desarrollo para los bioensayos.

### Acaricidas probados

Para los ensayos se usaron seis acaricidas, los cuales se adquirieron de distribuidoras regionales de agroquímicos. En los tratamientos, abamectina se usó como testigo regional y agua destilada como control.

Los nombres comerciales, dosis y detalles de los acaricidas químicos se describen en el **Tabla 1**.

### Evaluación de toxicidad aguda de los acaricidas

Para el ensayo de toxicidad aguda en adultos y ninfas de *T. urticae* se usó el método de inmersión foliar. Se cortaron discos foliares de berenjena (*Solanum melongena*) de 5 cm de diámetro y se sumergieron por 5 segundos en los acaricidas de forma individual. Después de la inmersión, los discos se secaron a temperatura ambiente por 30 minutos. La unidad experimental consistió en cajas Petri de 9 cm de diámetro por 1cm de altura, los discos foliares se colocaron con el lado adaxial hacia arriba sobre algodón húmedo y los bordes de los discos foliares se cubrieron con algodón húmedo para evitar que los ácaros escaparan. En cada disco se transfirieron 15 adultos o ninfas y se registró la mortalidad a intervalos de 4 horas, hasta las 48 horas después de la exposición. Los ácaros que no se movían después de ser tocados con un cepillo fino se consideraban muertos. Una caja Petri representó una repetición. Se evaluaron 10 repeticiones por acaricida (Monteiro *et al.*, 2015).

**Tabla 1. Concentración de acaricidas utilizados en los bioensayos.**

Ingrediente Activo (I.A.)	Nombre comercial	Concentraciones de I.A. utilizadas (mg L <sup>-1</sup> )	Empresa
Spirodiclofen	Envidor 240 SC	144 mg L <sup>-1</sup>	Bayer de México S.A de C.V.
Spiromesifen	Oberon 240 SC	960 mg L <sup>-1</sup>	Bayer de México S.A de C.V.
Bifenazate	Acramite 50% WS	1000 mg L <sup>-1</sup>	Arista Lifescience, México, S.A de C.V.
Fenpiroximate	Sumatrus 5% SC	127 mg L <sup>-1</sup>	Agroquímicos Versa, S.A de C.V.
Acequinocyl	Kanamite 15 SC	155 mg L <sup>-1</sup>	Arista Lifescience, México, S.A de C.V.
Abamectina	Agriemec 1.8% CE	18 mg L <sup>-1</sup>	Syngenta Agro, S.A de C.V.

SC: suspensión concentrada; WS: polvo humectable; CE: concentrado emulsionable.

### Evaluación de actividad ovicida

Para el ensayo de mortalidad de huevos, 20 hembras adultas se transfirieron a discos de hojas de berenjena de 5 cm de diámetro. Los discos foliares se colocaron sobre algodón húmedo en cajas Petri (9 cm de diámetro). Después de 24 horas se retiraron todos los adultos, dejando los huevos en el disco foliar. Se eliminaron algunos huevos para dejar solo 20 huevos por disco foliar. Los discos foliares que contienen los huevos se tomaron cuidadosamente con pinzas y se sumergieron durante 5 segundos en las soluciones acaricidas. Posteriormente, los discos foliares tratados se secaron durante 30 min a temperatura ambiente y se volvieron a colocar en las cajas Petri de donde se tomaron inicialmente. Las cajas Petri se mantuvieron a temperatura ambiente (24-30 °C) durante 6 días. Luego se registró la mortalidad de los huevos, considerando como huevos muertos aquellos que no eclosionaron. Una caja Petri representó una repetición. Se incluyeron diez repeticiones por acaricida (Wang *et al.*, 2016).

### Evaluación del efecto tóxico residual de los acaricidas

Para evaluar el efecto residual, se llevó a cabo un ensayo de duración del efecto acaricida como lo describe Uddin *et al.* (2015). Se aplicaron los acaricidas a plantas de berenjena de 2 meses de edad. Las aplicaciones se realizaron con un atomizador manual hasta punto de goteo. Las plantas se mantuvieron en un invernadero (25-35°C, H.R.55-75%). Se tomaron hojas de estas plantas tratadas a diferentes periodos de tiempo después de la aplicación, con el fin de determinar la actividad residual de los acaricidas. Para el ensayo, las hojas obtenidas de las plantas tratadas se cortaron en discos foliares de 5 cm de diámetro, los cuales se colocaron con el lado adaxial hacia arriba sobre algodón húmedo y los bordes se

cubrieron con algodón húmedo para evitar que los ácaros escaparan. En cada disco se transfirieron 15 adultos o ninfas. A las 24 horas se registró el número ácaros vivos o muertos. Los ácaros que no se movían después de ser tocados con un cepillo fino se consideraban muertos. Estas evaluaciones se realizaron el día de la aplicación y a los 3, 7, 12, 17, 22, 27 y 32 días después de la aplicación. Una caja Petri representó una repetición. Se incluyeron 10 repeticiones por acaricida.

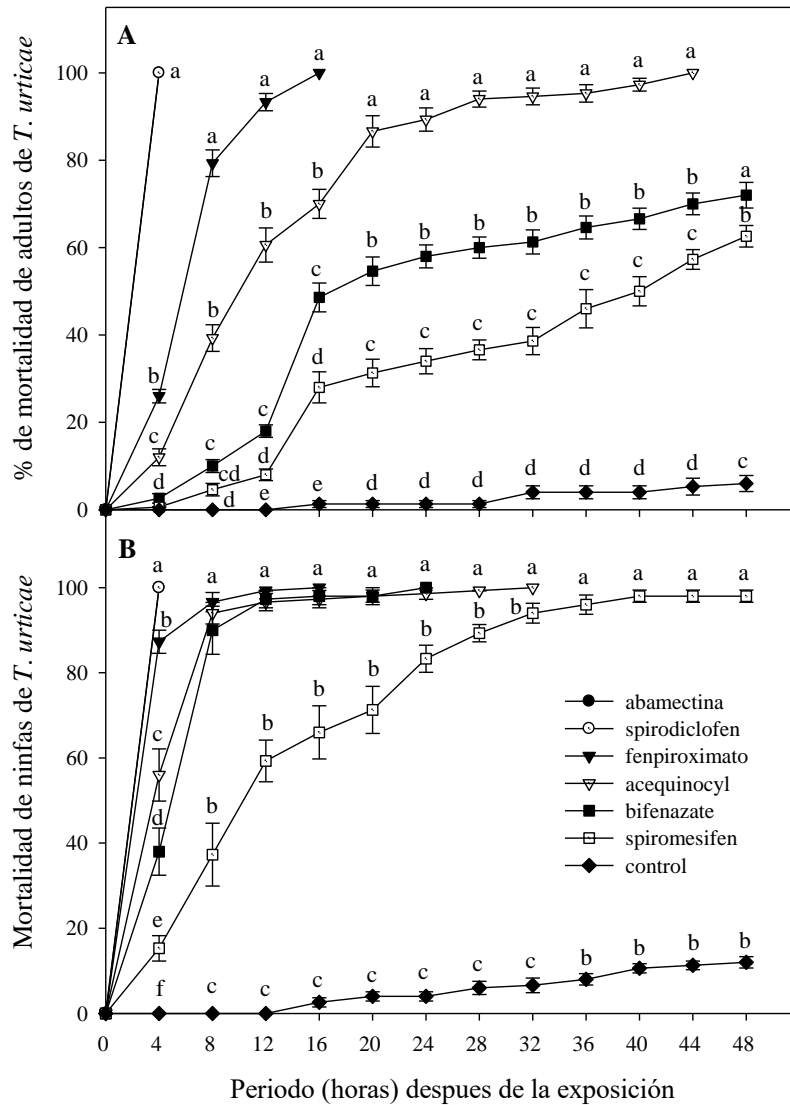
### Diseño experimental y análisis de datos

Se usó un diseño completamente al azar para todos los experimentos. Los datos de mortalidad en ácaros adultos, ninfas, y huevos se sometieron a un análisis de varianza utilizando el programa estadístico Statgraphics. Las medias se compararon mediante la prueba de Tukey, con una probabilidad de error del 5% ( $p \leq 0.05$ ).

## RESULTADOS

### Toxicidad aguda de acaricidas en adultos y ninfas de *T. urticae*

Los acaricidas causaron diferentes porcentajes de mortalidad en adultos y ninfas de *T. urticae* durante las 48 h de exposición. En adultos, la abamectina y spirodiclofen fueron altamente tóxicos, causaron 100% de mortalidad a las 4 horas después de la exposición. El fenpiroximate causó 100% de mortalidad a las 16 horas después de la exposición. El acequinocyl produjo 100% de mortalidad a las 44 horas después de la exposición. El bifenazate y spiromesifen causaron mortalidad intermedia, con valores entre el 60 y 70 % de mortalidad a las 48 horas después de la exposición (Figura 1A).



**Figura 1.** Mortalidad (medias  $\pm$  error estándar) de adultos (A) y ninfas (B) de *T. urticae* expuestas a seis acaricidas en laboratorio. Las medias para cada periodo (horas) después de la exposición que no comparten la misma letra son significativamente diferentes (Tukey,  $p < 0.05$ ).

Los estadísticos del análisis del efecto se presentan para cada periodo (horas) después de la exposición (HDE).

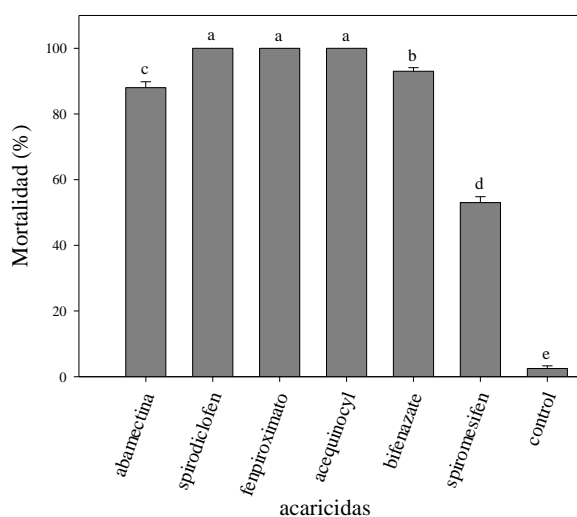
Figura 1A; 4 HDE,  $F=1870.16$ ,  $gl=6, 63$ ,  $p < 0.0000$ ; 8 HDE,  $F=240.42$ ,  $gl=4, 45$ ,  $p < 0.0000$ ; 12 HDE,  $F=342.18$ ,  $gl=4, 45$ ,  $p < 0.0000$ ; 16 HDE,  $F=202.83$ ,  $gl=4, 45$ ,  $p < 0.0000$ ; 20 HDE,  $F=152.50$ ,  $gl=3, 36$ ,  $p < 0.0000$ ; 24 HDE,  $F=239.00$ ,  $gl=3, 36$ ,  $p < 0.0000$ ; 28 HDE,  $F=397.70$ ,  $gl=3, 36$ ,  $p < 0.0000$ ; 32 HDE,  $F=249.84$ ,  $gl=3, 36$ ,  $p < 0.0000$ ; 36 HDE,  $F=180.44$ ,  $gl=3, 36$ ,  $p < 0.0000$ ; 40 HDE,  $F=283.92$ ,  $gl=3, 36$ ,  $p < 0.0000$ ; 44 HDE,  $F=414.48$ ,  $gl=3, 36$ ,  $p < 0.0001$ ; 48 HDE,  $F=210.02$ ,  $gl=2, 27$ ,  $p < 0.0000$ .  
 Figura 1B; 4 HDE,  $F=137.27$ ,  $gl=6, 63$ ,  $p < 0.0000$ ; 8 HDE,  $F=95.09$ ,  $gl=4, 45$ ,  $p < 0.0000$ ; 12 HDE,  $F=278.21$ ,  $gl=4, 45$ ,  $p < 0.0000$ ; 16 HDE,  $F=179.66$ ,  $gl=4, 45$ ,  $p < 0.0000$ ; 20 HDE,  $F=207.94$ ,  $gl=3, 36$ ,  $p < 0.0000$ ; 24 HDE,  $F=636.44$ ,  $gl=3, 36$ ,  $p < 0.0000$ ; 28 HDE,  $F=1123.42$ ,  $gl=2, 27$ ,  $p < 0.0000$ ; 32 HDE,  $F=981.00$ ,  $gl=2, 27$ ,  $p < 0.0000$ ; 36 HDE,  $F=1120.11$ ,  $gl=1, 18$ ,  $p < 0.0000$ ; 40 HDE,  $F=2376.14$ ,  $gl=1, 18$ ,  $p < 0.0000$ ; 44 HDE,  $F=2453.23$ ,  $gl=1, 18$ ,  $p < 0.0000$ ; 48 HDE,  $F=1945.05$ ,  $gl=1, 18$ ,  $p < 0.0000$ ).

En ninfas, la abamectina y spirodiclofen fueron nuevamente los más tóxicos, éstos causaron 100% de mortalidad a las 4 horas después de la exposición. Seguidos de fenpiroximato y bifenazate, los cuales produjeron 100% de mortalidad entre las 16 a 24 horas

después de la aplicación. El Acequinocyl causó 100 % de mortalidad a las 32 horas después de la aplicación, mientras que spiromesifen causó 95 % de mortalidad entre las 32 a 48 horas posterior a la exposición, (Figura 1B).

### Actividad ovicida de los acaricidas

Todos los acaricidas tuvieron efectos ovicidas ( $F=1071.78$ ,  $gl=6$ ,  $63$ ,  $p < 0.0000$ ). Spirodiclofen, fenpiroximato y acequinocyl causaron 100 % de mortalidad, seguidos de bifenazate y abamectina, los cuales produjeron entre 88 a 93 % de mortalidad, y con menor efectividad se observó el spiromesifen que produjo 53 % de mortalidad (Figura 2).



**Figura 2.** Mortalidad (media  $\pm$  error estándar) de huevos de *T. urticae* a los 6 días después del tratamiento con acaricidas en laboratorio. Las medias que no comparten la misma letra son significativamente diferentes (Tukey,  $p < 0,05$ ).

### Efecto tóxico residual de los acaricidas

Se observaron diferencias significativas en el efecto tóxico residual de los acaricidas en adultos y ninfas de *T. urticae*. En adultos, abamectina, spirodiclofen, fenpiroximato y acequinocyl, causaron más del 90% de mortalidad, cuando *T. urticae* se expuso a discos foliares obtenidos 12 días posteriores al tratamiento. El efecto de estos acaricidas disminuyó hasta los 27 días posteriores al tratamiento con valores entre el 40 al 70% de mortalidad. Sólo el fenpiroximato mantuvo su efecto por encima del 80 % a los 32 días posteriores al tratamiento. Se observó menor duración del efecto del bifenazate, el cual produjo mortalidades de 60 a 65 % cuando *T. urticae* se expuso a discos foliares obtenidos entre 1 al 17 día posterior al tratamiento. Spiromesifen mostró muy bajo efecto residual (Figura 3A).

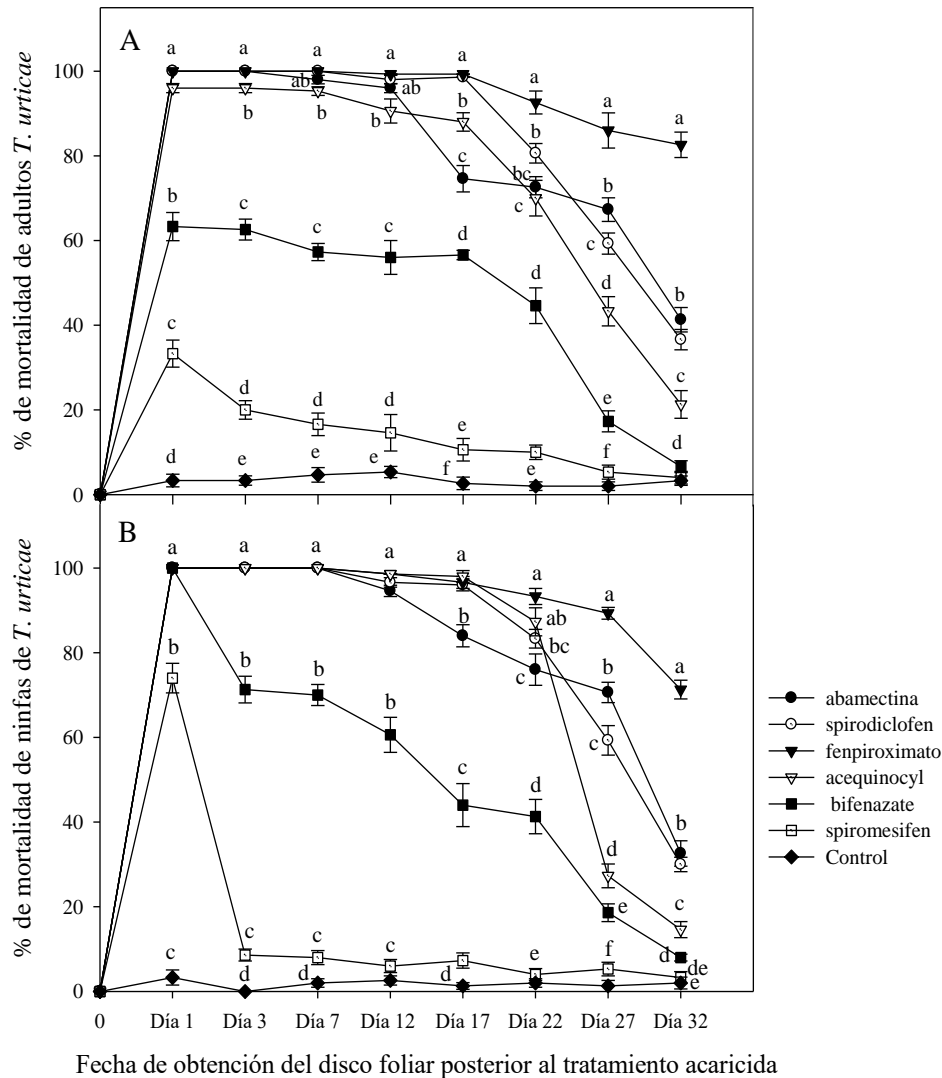
En ninfas, abamectina, spirodiclofen, fenpiroximato y acequinocyl causaron más del 90% de mortalidad,

cuando *T. urticae* se expuso a discos foliares obtenidos 12 días posteriores al tratamiento. El efecto de estos acaricidas disminuyó en discos foliares obtenidos 22 días posteriores al tratamiento. Solo el fenpiroximato mantuvo su efecto en los discos foliares obtenidos hasta 32 días posteriores al tratamiento. Bifenazate aunque produjo alta mortalidad inicialmente, su efecto disminuyó de forma gradual y consistente, hasta niveles inferiores del 50% de mortalidad después de 12 días posteriores al tratamiento. Spiromesifen mostró bajo efecto inmediato y también muy baja duración del efecto (Figura 3B).

### DISCUSIÓN

Las evaluaciones de los acaricidas sobre *T. urticae*, en las pruebas de toxicidad aguda y efecto residual, mostraron que la abamectina, spirodiclofen y fenpiroximato fueron los más tóxicos para adultos y ninfas de *T. urticae*. Mientras que, contra huevos, spirodiclofen, fenpiroximato y acequinocyl fueron los más tóxicos. Lo anterior permite tener un arsenal más amplio contra *T. urticae*, ya que estos acaricidas presentan diferentes modos de acción. La abamectina actúa mediante la activación de canales de cloro dependientes del glutamato, presenta actividad aguda y residualidad extendida (Riga *et al.*, 2014). Spirodiclofen es un acaricida de contacto que actúa inhibiendo la acetil-CoA carboxilasa e interfiere con la biosíntesis de lípidos en los ácaros (Bretschneider *et al.*, 2012; Badieinia *et al.*, 2020). Fenpiroximato es considerado un acaricida de contacto con buen efecto residual, el cual actúa en la inhibición del transporte de electrones mitocondrial en el sitio NADH-Co Q reductasa (Dekeyser, 2005; Cloyd *et al.*, 2009; Marcic, 2012). Estos acaricidas podrían aplicarse en rotación para el manejo de *T. urticae*, y así prolongar su vida útil.

Uno de los aspectos importantes en la selección de acaricidas es la rapidez de acción. En la evaluación de la toxicidad aguda se observó que tanto abamectina como spirodiclofen produjeron 100 % de mortalidad de *T. urticae* a las 4 h posteriores a la exposición. Otros autores han documentado la rapidez de acción de abamectina (Marcic, 2012; Uddin *et al.* (2015), que ha sido catalogado como un acaricida altamente tóxico para *T. urticae* (Hassan and Hamad-Ameen, 2019). Para el caso de spirodiclofen, éste es altamente efectivo contra varias especies de ácaros fitófagos (Lemus-Soriano and Pérez-Aguilar 2016; Montoya *et al.*, 2017; Badieinia *et al.*, 2020). Sin embargo, la rapidez de acción, no había sido registrada. Incluso se había documentado un efecto letal más lento (24 a 72 h) que el observado en el presente estudio (Kumari *et al.*, 2017; Sarbaz *et al.*, 2017; Wang *et al.*, 2018; Schmidt-Jeffris *et al.*, 2021a).



**Figura 3.** Mortalidad (medias  $\pm$  error estándar) de adultos (A) y ninfas (B) de *T. urticae* expuestos a discos foliares obtenidos en diferentes periodos (días) después del tratamiento acaricida. Las medias para el mismo periodo (día) posteriores a la exposición que no comparten la misma letra son significativamente diferentes (Tukey,  $p < 0.05$ ). Los estadísticos del análisis del efecto se presentan por cada periodo (día) después del tratamiento acaricida (DDT). Figura 3A; 1 DDE,  $F=423.05$ ,  $gl=6, 63$ ,  $p < 0.0001$ ; 3 DDE,  $F=896.98$ ,  $gl=6, 63$ ,  $p < 0.0001$ ; 7 DDE,  $F=743.82$ ,  $gl=6, 63$ ,  $p < 0.0001$ ; 12 DDE,  $F=249.09$ ,  $gl=6, 63$ ,  $p < 0.0001$ ; 17 DDE,  $F=434.93$ ,  $gl=6, 63$ ,  $p < 0.0001$ ; 22 DDE,  $F=148.44$ ,  $gl=6, 63$ ,  $p < 0.0001$ ; 27 DDE,  $F=138.50$ ,  $gl=6, 63$ ,  $p < 0.0001$ ; 32 DDE,  $F=143.66$ ,  $gl=6, 63$ ,  $p < 0.0001$ ). Figura 3B; 1 DDE,  $F=592.19$ ,  $gl=6, 63$ ,  $p < 0.0001$ ; 3 DDE,  $F=1195.82$ ,  $gl=6, 63$ ,  $p < 0.0001$ ; 7 DDE,  $F=1409.75$ ,  $gl=6, 63$ ,  $p < 0.0001$ ; 12 DDE,  $F=529.10$ ,  $gl=6, 63$ ,  $p < 0.0001$ ; 17 DDE,  $F=297.64$ ,  $gl=6, 63$ ,  $p < 0.0001$ ; 22 DDE,  $F=201.10$ ,  $gl=6, 63$ ,  $p < 0.0001$ ; 27 DDE,  $F=215.23$ ,  $gl=6, 63$ ,  $p < 0.0001$ ; 32 DDE,  $F=159.60$ ,  $gl=6, 63$ ,  $p < 0.0001$ .

Con respecto a la actividad ovicida, los acaricidas spirodiclofen, fenpiroximato y acequinocyl mostraron ser los más efectivos, causando 100% de mortalidad. Lo anterior concuerda con estudios previos, donde se observó que estos acaricidas producen alta actividad ovicida sobre *T. urticae* (Marcic, 2012; Montoya *et al.*, 2017; Schmidt-Jeffris *et al.*, 2021a).

Otro aspecto fundamental en los programas de manejo de ácaros fitófagos es la duración del efecto, entendido éste como el periodo a partir de la aplicación y hasta que el acaricida produce efectos significativos. En este estudio se observó que abamectina, spirodiclofen y fenpiroximato produjeron efectos de mayor duración. Varios estudios del efecto de acaricida contra *T. urticae*, como Uddin *et al.* (2015), Ebrahimi and Shiri

(2018) y Schmidt-Jeffris *et al.* (2021a), han documentado el efecto residual de la abamectina hasta 21 días posterior a su aplicación. Para el caso de spiroadiclofen este ha mostrado una buena acción hasta 14 días después del tratamiento (Sarbaz *et al.*, 2017). Aunque Raudonis (2006) encontró que spiroadiclofen causa alta mortalidad hasta 21 días después de la exposición. Fenpiroximato es otro de los acaricidas que pueden mantener amplia duración del efecto. Se ha documentado que este acaricida puede tener efectos significativos hasta 10 días posteriores a su aplicación (Veronez *et al.*, 2012; Kumari *et al.*, 2017; Schmidt-Jeffris *et al.*, 2021a).

Para establecer programas de manejo de ácaros fitófagos, es preponderante contar con acaricidas efectivos y con diferentes modos de acción, a fin de poder integrar paquetes de manejo con rotaciones de productos de diferentes grupos o familias químicas, ya que en estudios recientes se ha mostrado que el uso excesivo que se ha hecho de abamectina ha seleccionado poblaciones de *T. urticae* resistentes (Schmidt-Jeffris *et al.*, 2021b). De tal manera que una opción en este caso, sería la aplicación de abamectina en rotación con spiroadiclofen y fenpiroximato, los cuales han demostrado incluso tener bajo riesgo de seleccionar poblaciones resistentes (Flores-Bernedo y Vásquez-Castro, 2020; Wu *et al.*, 2018). Aunado a las estrategias de uso en rotación de acaricidas de diferentes familias o grupo químicos, también se debe poner atención a otros aspectos que mejorar la vida activa de los acaricidas, como mejorar la cobertura de aplicación, respetar las dosis recomendadas en campo, y respetar el número máximo de aplicaciones por ciclo de cultivo (Schmidt-Jeffris *et al.*, 2021a).

### CONCLUSIÓN

Los bioensayos de toxicidad aguda y evaluación de efecto tóxico residual de acaricidas sobre *T. urticae*, mostraron que abamectina, spiroadiclofen y fenpiroximato producen altos efectos tóxicos inmediatos y también su efecto puede permanecer entre 2-3 semanas contra ninfas y adultos. Spiroadiclofen, fenpiroximato y acequinocyl también tuvieron fuertes efectos ovicidas.

**Funding.** The authors thank CONACYT Mexico for the scholarship awarded to Marcos Cua Basulto.

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.

**Compliance with ethical standards.** Not applicable.

**Data availability.** The data is available upon request, with the corresponding author [esau.ruiz@itconkal.edu.mx](mailto:esau.ruiz@itconkal.edu.mx)

**Author contribution statement (CRedIt).** M.E. Cua-Basulto, performing the experiments and data collection; E. Ruiz-Sánchez, conceptualization and experiment supervision; W. Chan-Cupul, writing - original draft; A. Reyes-Ramírez, conceptualization; H. Ballina-Gómez, data analysis; E. Hernández-Núñez, writing - review and editing.

### REFERENCIAS

- Badieinia, F., Khajehali, J., Nauen, R., Dermauw, W., and Van Leeuwen, T., 2020. Metabolic mechanisms of resistance to spiroadiclofen and spiromesifen in Iranian populations of *Panonychus ulmi*. *Crop Protection*, 134, pp. 1-6.  
<https://doi.org/10.1016/j.cropro.2020.105166>
- Bretschneider, T., Fischer, R., and Nauen, R., 2012. Tetrionic Acid Insecticides and Acaricides Inhibiting Acetyl-CoA Carboxylase. Lamberth C. and Dinges J., eds. In *Bioactive Heterocyclic Compound Classes: Agrochemicals*. Wiley VCH and Publishing House, Weinheim. pp 265-278.  
<https://doi.org/10.1002/9783527664412.ch21>
- Çağatay, N.S., Menault, P., Riga, M., Vontas, J., and Ay, R., 2018. Identification and characterization of abamectin resistance in *Tetranychus urticae* Koch populations from greenhouses in Turkey. *Crop Protection*, 112, pp. 112-117.  
<https://doi.org/10.1016/j.cropro.2018.05.016>
- Cloyd, R.A., Galle, C.L., Keith, S.R., and Kemp, E.K., 2009. Evaluation of persistence of selected miticides against the two spotted spider mite, *Tetranychus urticae*. *HortScience*, 44(2), pp. 476-480.  
<https://doi.org/10.21273/HORTSCI.44.2.476>
- Dekeyser, M. A., 2005. Acaricide mode of action. *Pest Management Science*, 61(2), pp. 103-110.  
<https://doi.org/10.1002/ps.994>
- Ebrahimi, L., and Shiri, M., 2018. Effects of abamectin on two spotted spider mite and *Trichogramma brassicae* and efficacy of its residual effects applied on the bean plants. *Acta Phytopathologica et Entomologica Hungarica*, 53(1), pp. 43-49.  
<https://doi.org/10.1556/038.52.2017.030>
- Flores-Bernedo, J., and Vásquez-Castro, J., 2020. Susceptibility to Spiroadiclofen in field populations of *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) from strawberry plantations in Lima region, Peru. *Peruvian Journal of Agronomy*, 4(2), pp. 61-67.  
<http://dx.doi.org/10.21704/pja.v4i2.1546>

- Hassan, O.O., and Hamad-Ameen, K.A., 2019. Population dynamic of *Tetranychus urticae* on cucumber in Erbil region with study of the effects three different miticides on *T. urticae*. *Journal of Physics: Conference Series*, 1294, pp. 1-8. doi: 10.1088/1742-6596/1294/9/092044
- Kumari, S., Chauhan, U., Kumari, A., and Nadda, G., 2017. Comparative toxicities of novel and conventional acaricides against different stages of *Tetranychus urticae* Koch (Acarina: Tetranychidae). *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 16(2), pp. 191-196. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2015.06.003>
- Lagziri, M. and El Amrani, A., 2009. Effect of a microbial-based acaricidal product on spotted and predatory spider mites. *African Crop Science Journal*, 17(3), pp. 119-123. <https://doi.org/10.4314/acsj.v17i3.54211>
- Landeros, F.J., Cerna C.E., Aguirre, U.L.A., Flores, C.R., and Ochoa, F.Y., 2013. Demographic parameters of *Tetranychus urticae* (Acari: Retranychidae) on four rosa sp. cultivars. *Florida Entomologist*, 96(4), pp. 1508-1512. <http://dx.doi.org/10.1653/024.096.0432>
- Lemus-Soriano, B.A., and Pérez-Aguilar, D.A., 2016. Control químico del ácaro café del aguacate *Oligonychus punicae* (Hirst, 1926) (Acari: Tetranychidae). *Entomología Mexicana*, 3, pp. 349-353.
- Marcic, D., 2012. Acaricides in modern management of plant-feeding mites. *Journal of Pest Science*, 85(4), pp. 395-408. <https://doi.org/10.1007/s10340-012-0442-1>
- Monteiro, V.B., Gondim Jr, M.G.C., Oliveira, J.E.M., Siqueira, H.A.A., and Sousa, J.M., 2015. Monitoring *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) resistance to abamectin in vineyards in the Lower Middle Sao Francisco Valley. *Crop Protection*, 69(3), pp. 90-96. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2014.12.012>
- Montoya, A., Galano-Flores, G., Rodríguez, H., Franco, A.A., Zardi, O. Z., and Yamamoto, P. T. 2017. Toxicity of acaricides on *Tetranychus urticae* (Koch) in the laboratory. *Revista Protección Vegetal*, 32(1), pp. 60-67.
- Riga, M., Tsakireli, D., Ilias, A., Morou, E., Myridakis, A., Stephanou, E.G., Nauen, R., Dermauw, W., Van Leeuwen, T., Paine, M., and Vontas, J., 2014. Abamectin is metabolized by CYP392A16, a cytochrome P450 associated with high levels of acaricide resistance in *Tetranychus urticae*. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, 46(1), pp. 43-53. <https://doi.org/10.1016/j.ibmb.2014.01.006>
- Reddy, S.G.E., and Dolma, S.K., 2017. Acaricidal activities of essential oils against two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae* Koch. *Toxin Reviews*, 37(1), pp. 62-66. <https://doi.org/10.1080/15569543.2017.1320805>
- Raudonis, L., 2006. Comparative toxicity of spiroticlofen and lambdacihalotrin to *Tetranychus urticae*, *Tarsonemus pallidus* and predatory mite *Amblyseius andersoni* in a Strawberry site under field conditions. *Agronomy Research*, 4, 317-322.
- Sarbaz, S., Goldasteh, Sh., Zamni, A.A., Soleyman-Nejadian, E., and Vafaei Shoushtari, R., 2017. Lethal and side effects of the acaricides spiroticlofen and spiromesifen on the two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae* Koch, and its predatory mite, *Neoseiulus californicus* McGregor (Acari: Phytoseiidae). *Journal of Entomological Research*, 9(2), 1-11.
- Solmaz, E., Cevik, B., and Ay, R., 2020. Abamectin resistance and resistance mechanisms in *Tetranychus urticae* populations from cut flowers greenhouses in Turkey. *International Journal of Acarology*, 46(2), 94-99. <https://doi.org/10.1080/01647954.2020.1727009>
- Schmidt-Jeffris, R.A., Coffey, J.L., Miller, G., and Farfan, M.A., 2021a. Residual Activity of Acaricides for Controlling Spider Mites in Watermelon and Their Impacts on Resident Predatory Mites. *Journal of Economic Entomology*, 114(2), 818-827. <https://doi.org/10.1093/jee/toaa320>
- Schmidt-Jeffris, R., Snipes, Z., and Bergeron, P., 2021b. Acaricide efficacy and resistance in South Carolina tomato populations of two spotted spider mites. *Florida Entomologist*, 104(1), 1-8. <https://doi.org/10.1653/024.104.0101>
- Uddin, N., Alam, Z., Miah, U.R., Hossain, M.I., and Mustarin, K.E., 2015. Toxicity of pesticides to *Tetranychus urticae* koch (Acari: Tetranychidae) and their side effects on *Neoseiulus californicus* (Acari: Phytoseiidae). *International Journal of Acarology*, 41(8), 688-693. <https://doi.org/10.1080/01647954.2015.1094512>
- Van Leeuwen, T., Tirry, L., Yamamoto, A., Nauen, R., and Dermauw, W., 2015. The economic importance of acaricides in the control of



- phytophagous mites and an update on recent acaricide mode of action research. *Pesticide Biochemistry Physiology*, 121, 12-21. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2014.12.009>
- Veronez, B., Sato, M.E., and Lomba, N.R., 2012. Toxicidade de compostos sintéticos e naturais sobre *Tetranychus urticae* e o predador *Phytoseiulus macropilis*. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 47(4), 511-518. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2012000400006>
- Wang, L., Zhang, Y., Xie, W., Wu, Q., and Wang, S., 2016. Sublethal effects of spinetoram on the two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae). *Pesticide Biochemistry Physiology*, 132, 102-107. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2016.02.002>
- Wang, Z., Cang, T., Wu, S., Wang, X., Qi, P., Wang, X., and Zhao, X., 2018. Screening for suitable chemical acaricides against two-spotted spider mites, *Tetranychus urticae*, on greenhouse strawberries in China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 163, 63-68. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.07.058>
- Wu, M., Adesanya, A.W., Morales, M.A., Walsh, D.B., Lavine, L.C., Lavine, M.D., and Zhu, F., 2018. Multiple acaricide resistance and underlying mechanisms in *Tetranychus urticae* on hops. *Journal of Pest Science*, 92(2), 543-555. <https://doi.org/10.1007/s10340-018-1050-5>