

Efectos letales y subletales de acaricidas sintéticos en ácaros depredadores de la familia Phytoseiidae

Lethal and sublethal effects of synthetic acaricides in predatory mites of the family Phytoseiidae

Marcos E. Cua-Basulto¹, Esaú Ruíz-Sánchez^{1*}, Horacio Ballina-Gómez¹,
Wilberth Chan-Cupul², Arturo Reyes-Ramírez¹

¹Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Conkal, Avenida Tecnológico s/n, C.P. 97345, Conkal, Yucatán, México. Tel. 01 (999) 912 4135 Ext. 121. Email: esau.ruiz@itconkal.edu.mx.

²Universidad de Colima. Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Autopista Colima-Manzanillo Km 40. Tecomán, Colima. C. P. 28934. México.

*Autor de correspondencia

Resumen

El objetivo de esta investigación fue evaluar en laboratorio la toxicidad de acaricidas sintéticos en ácaros Phytoseiidae *Amblyseius swirskii* y *Neoseiulus californicus*, así como determinar mediante metaanálisis de estudios publicados los efectos subletales de acaricidas en especies de la familia Phytoseiidae. Los acaricidas spirodiclofen, fenpiroximate y acequinocyl presentaron los valores más bajos de CL₅₀ y CL₉₀. Al comparar las concentraciones recomendadas en campo, spirodiclofen tendría mayor efecto tóxico sobre los ácaros depredadores que sobre ácaros fitófagos. Por su parte, el metaanálisis mostró que todos los acaricidas tienen efectos negativos en la supervivencia, fecundidad y periodo de oviposición. Los acaricidas inhibidores de respiración mitocondrial denominados METI I presentaron mayores efectos negativos en estas variables, en especial en los géneros *Neoseiulus* y *Phytoseius*. Los acaricidas sintéticos de nueva generación tienen efectos tóxicos letales y efectos subletales en ácaros depredadores de la familia Phytoseiidae.

Palabras clave: Toxicidad; supervivencia; ácaros benéficos.

Abstract

The objective of this research was to evaluate in laboratory the toxicity of synthetic acaricides in the Phytoseiidae predatory mites *Amblyseius swirskii* and *Neoseiulus californicus*, as well as to determine by meta-analysis of published studies the sublethal effects of acaricides in species of the family Phytoseiidae. In the laboratory evaluation, spirodiclofen, fenpyroximate, and acequinocyl presented the lowest values of LC₅₀ and LC₉₀. When comparing the recommended field application rate, spirodiclofen would have a higher toxic effect on the evaluated predatory mites than on phytophagous mites. With respect to the meta-analysis, this showed that all acaricides have significant negative effects on survival, fertility, and oviposition period. The miticides that inhibit the mitochondrial electron transport, known as METI I, had greater negative effects on survival, fertility, and oviposition, especially on the *Neoseiulus* and *Phytoseius* genera. Synthetic acaricides have lethal toxic effects and sublethal effects on the Phytoseiidae predatory mites.

Keywords: Toxicity; survival; beneficial mites.

Recibido: 04 de noviembre de 2020

Aceptado: 21 de septiembre de 2021

Publicado: 08 de diciembre de 2021

Cómo citar: Cua-Basulto, M. E., Ruíz-Sánchez, E., Ballina-Gómez, H., Chan-Cupul, W., & Reyes-Ramírez, A. (2021). Efectos letales y subletales de acaricidas sintéticos en ácaros depredadores de la familia Phytoseiidae. *Acta Universitaria* 31, e3052. doi: <http://doi.org/10.15174/au.2021.3052>

Introducción

Los ácaros depredadores de la familia Phytoseiidae son enemigos naturales comunes de ácaros fitófagos y de insectos de las familias Aleyrodidae y Thripidae (Mcmurtry *et al.*, 2013), y por ello tienen enorme potencial como agentes de control biológico de plagas en varios cultivos agrícolas de invernadero y campo. Los géneros más utilizados incluyen a *Neoseiulus* y *Amblyseius*, seguidos de varias especies de *Galendromus*, *Phytoseiulus*, *Typhlodromus*, *Typhlodromalus* y *Euseius* (Reddy, 2016).

En los últimos años aumentó el uso de acaricidas organosintéticos para el manejo de ácaros fitófagos. Estos productos de nueva generación no actúan en el sistema nervioso, como los acaricidas convencionales, por lo que se consideran seguros para organismos benéficos (Van Leeuwen *et al.*, 2014). Entre estos productos se encuentran los acaricidas que actúan sobre la síntesis de lípidos, a través de la inhibición de la Acetil CoA-Carboxilasa (ACCI), como spiroadiclofen, spiromesifen y spirotramat, que se derivan de los ácidos tetrónicos y tetrámicos (Marcic, 2012). Tres grupos de acaricidas que actúan a nivel de respiración mitocondrial, conocidos como acaricidas METI (*Mitochondrial Electron Transport Inhibitors*), inhiben el transporte de electrones en la mitocondria. El primero lo hace en el complejo I (METI I), e incluye a fenazaquin, fenpiroximato, flufenimer, piridabeno, pirimidifen, tebufenpirad y tolfenpyrad; el segundo grupo actúa sobre el complejo II (METI II), e incluye cipermetrina y cyflumetofen; y el tercer grupo actúa en el complejo III (METI III), e incluye acequinocil, bifentazate y fluciclorim (Marcic, 2012).

Aunque algunos autores consideran que los acaricidas ACCI y METI son de menor impacto ambiental (Van Leeuwen *et al.*, 2014), otros indican que estos acaricidas pueden tener efectos letales y subletales en ácaros depredadores (Maroufpoor *et al.*, 2016; Sarbaz *et al.*, 2017). Los efectos letales de estos acaricidas se han descrito en detalle (Cloyd, 2012; Marcic, 2012). Incluso, en condiciones de campo se han observado efectos negativos prolongados sobre la supervivencia de ácaros depredadores (Marcic, 2012).

Por otro lado, el efecto de dosis subletales de acaricidas químicos ha sido poco estudiado con resultados diversos. Los efectos subletales más abordados son la longevidad, fecundidad, periodos de oviposición y reproducción (Hamedi *et al.*, 2010). Maroufpoor *et al.* (2016) y Sarbaz *et al.* (2017) encontraron que los acaricidas ACCI spiromesifen y spiroadiclofen disminuyen la fecundidad y periodos de oviposición en *N. californicus*. En contraste, Sato *et al.* (2011) y Alinejad *et al.* (2016) encontraron que estos productos no tienen efectos en *N. californicus*.

Debido a la necesidad de una visión amplia sobre los efectos letales y subletales de los acaricidas organosintéticos de nueva generación sobre ácaros depredadores, se realizó el presente estudio en dos etapas: 1) evaluación en laboratorio de los efectos tóxicos letales de acaricidas en los ácaros depredadores *A. swirskii* y *N. californicus*, y 2) integración de un metaanálisis de estudios publicados sobre efectos subletales de acaricidas ACCI y METI en la supervivencia, fecundidad y periodo de oviposición en ácaros depredadores de la familia Phytoseiidae.

Materiales y Métodos

Ácaros depredadores y acaricidas para pruebas de laboratorio

Los ácaros depredadores *A. swirskii* y *N. californicus* se compraron en la empresa Koppert Biological Systems (Querétaro, México). Para los bioensayos se usaron adultos sin sexar.

Las formulaciones comerciales de los acaricidas se adquirieron de distribuidoras regionales de agroquímicos. Para los experimentos de dosis-respuesta, se usaron cuatro concentraciones de cada acaricida. El testigo consistió en la aplicación de agua destilada. Los detalles de los acaricidas químicos se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Acaricidas e intervalos de concentración utilizados en los bioensayos.

Ingrediente Activo (I.A.)	Nombre comercial	Concentraciones de I.A. utilizadas (mg L ⁻¹)	Empresa
Spirodiclofen	Envidor® 240 SC	288, 144, 14.4 y 1.4	Bayer de México S. A. de C. V.
Spiromesifen	Oberon® 240 SC	1920, 960, 96 y 0.96	Bayer de México S. A. de C. V.
Bifenazate	Acramite® 50 WS	2000, 1000, 100 y 10	Arysta Lifescience México, S. A. de C. V.
Fenpiroximato	Sumatrus® 5% SC	254, 127, 12.7 y 1.27	Agroquímicos Versa, S. A. de C. V.
Acequinocyl	Kanamite® 15 SC	310, 155, 15 y 0.15	Arysta Lifescience México, S. A. de C. V.

SC: suspensión concentrada; WS: polvo humectable.

Fuente: Elaboración propia.

Bioensayo de mortalidad en laboratorio y análisis de datos

La toxicidad de los acaricidas en los ácaros depredadores (*A. swirskii* y *N. californicus*) se evaluó según lo descrito por Abraham *et al.* (2013). Las mezclas de 5 ml de cada concentración, descritas en la Tabla 1, se vertieron en viales de cristal de 20 ml, se agitaron para una cobertura uniforme sobre las paredes de los viales y se desechó el exceso. Los viales se secaron 3 h a temperatura ambiente; posteriormente, se colocaron 10 ácaros adultos en un vial con tapa; cada vial fue considerado una de cuatro repeticiones por concentración. La mortalidad de los ácaros se midió a las 24 h de exposición.

Los resultados de mortalidad se corrigieron con la fórmula de Abbott (1925). La determinación de los valores CL₅₀ y CL₉₀, y sus límites de confianza al 95%, se realizaron con el método de Log-Probit en el paquete estadístico SAS versión 9.11. En la toxicidad de cada acaricida se consideró diferencia significativa si los límites de confianza al 95% no se traslaparon.

Recopilación de datos para el metaanálisis

Se realizó la búsqueda de artículos científicos en Google Scholar y en las bases de datos Science Direct, Springer Journal, Taylor & Francis y Wiley Online Library; para lo cual, se utilizaron combinaciones de las siguientes palabras clave: Phytoseiidae, *Amblyseius*, *Galendromus*, *Neoseiulus*, *Phytoseiulus*, *phytoseius*, efectos letales y subletales, spiromesifen, spirodiclofen, spirotetramat, fenpiroximato, fenazaquin, pyridaben, bifenazate y acequinocyl. Los términos para la búsqueda se usaron en español y en inglés. Los datos se incluyeron si los estudios cumplían con tres criterios: 1) los estudios se realizaron después del año 2000 hasta 2018; 2) los estudios evaluaron la toxicidad de los acaricidas en ácaros depredadores de la familia Phytoseiidae en condiciones de laboratorio; 3) los estudios se basaron en datos informados sobre la supervivencia de adultos, la fecundidad y periodo de oviposición de los ácaros depredadores.

Los datos de un mismo estudio que informaron sobre varios acaricidas, varias especies de ácaros depredadores, diferentes tipos de aplicación, dosis subletales de 10, 20 y 30 se consideraron casos diferentes e independientes. Las variables de análisis fueron supervivencia de adultos, fecundidad y periodo de oviposición.

Cálculo de tamaños de efectos y metaanálisis de datos publicados

Los efectos de los acaricidas sobre la supervivencia, fecundidad y periodo de oviposición de ácaros depredadores se evaluaron utilizando una relación del efecto de los tratados con cada acaricida, en comparación con la del grupo testigo, no expuestos a los acaricidas. Valores negativos en la relación de respuesta indicaron un efecto negativo o una reducción en la supervivencia de adultos, la fecundidad o el periodo de oviposición. Para calcular el tamaño del efecto para cada variable, se obtuvo la media, la desviación estándar y el tamaño de muestra para el grupo testigo y el grupo experimental. Cuando se presentaban valores de error estándar, estos se transformaron en desviación estándar con la ecuación: $SD = SE \sqrt{n}$, donde SD es la desviación estándar, SE es el error estándar y n es el tamaño de la muestra.

Se realizó otro análisis del efecto de acaricidas, de acuerdo con el modo de acción y los géneros de Phytoseiidae, con base en la supervivencia, fecundidad y periodo de oviposición. El tamaño del efecto se calculó mediante Hedges: $d = [(XO - XY) / s] J$, donde XO = respuesta media al grupo de control, XY = respuesta media al grupo experimental, s = SD combinada y J = factor de corrección del sesgo debido al pequeño tamaño de muestreo (Gurevitch & Hedges, 2001). Se utilizó el programa estadístico Meta Win 2.1 para modelos de efectos fijos (Rosenberg *et al.*, 2002). Los intervalos de confianza se generaron a un nivel de confianza del 95% (*bootstrap* con corrección de sesgo) para todos los tamaños de efectos, desde 999 interacciones. Los efectos se consideran significativos cuando el 95% de los intervalos de confianza no se superponen con 0. Para evaluar si los grupos categóricos (supervivencia de adultos, fecundidad y periodo de oviposición) fueron homogéneos con respecto al tamaño del efecto, se calculó la heterogeneidad dentro de cada grupo (QW) y entre los grupos (QB) y se evaluó con χ^2 .

El riesgo de sesgo en el conjunto de datos se evaluó mediante el número de seguridad (nfs), con el método de Rosenberg (Rosenberg, 2005). Los nfs indican el número de estudios no significativos, no publicados o faltantes que deberían agregarse al metaanálisis para cambiar los resultados de significativos a no significativos. Los resultados se consideran robustos cuando la nfs es mayor que $5n + 10$, donde n es el número de estudios (Rosenberg, 2005).

Resultados y Discusión

Efectos letales de acaricidas en pruebas de laboratorio

El efecto tóxico de los acaricidas, evaluado a través de los valores de CL_{50} y CL_{90} , siguió un patrón similar en ambas especies de ácaros depredadores, *A. swirskii* y *N. californicus*. El acaricida más tóxico (valores más bajos de CL_{50} y CL_{90}) fue spirodiclofen, le siguieron fenpiroximato y acequinocyl. Los acaricidas menos tóxicos fueron bifenazate y spiromesifen (Tabla 2 y 3).

Tabla 2. Concentraciones letales estimadas (CL_{50} y CL_{90}) de seis acaricidas sobre *A. swirskii*.

Acaricidas	CL_{50} (mg L ⁻¹) (95% CI)	CL_{90} (mg L ⁻¹) (95% CI)	Ecuación de regresión	$p > X^2$
Spirodiclofen	3.87 (3.18-4.64)	53.50 (43.16-68.35)	$Y = 1.1240 X - 0.6616$	< 0.0001
Fenpiroximato	41.49 (36.32-47.49)	365.7 (299.7-458.8)	$Y = 1.3558 X - 2.1937$	< 0.0001
Acequinocyl	44.28 (38.10-50.94)	373.7 (306.0-472.7)	$Y = 1.3836 X - 2.2778$	< 0.0001
Bifenazate	188.6 (163.9-216.1)	1779 (1468-2208)	$Y = 1.3149 X - 2.9921$	< 0.0001
Spiromesifen	558.2 (505.3-614.3)	2107 (1858-2431)	$Y = 2.2213 X - 6.1016$	< 0.0001

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3. Concentraciones letales estimadas (CL_{50} y CL_{90}) de seis acaricidas sobre *N. californicus*.

Acaricidas	CL_{50} (mg L ⁻¹) (95% CI)	CL_{90} (mg L ⁻¹) (95% CI)	Ecuación de regresión	$p > X^2$
Spirodiclofen	6.85 (5.56-8.36)	133.04 (104.6-173.5)	$Y = 0.9950 X - 0.8318$	< 0.0001
Fenpiroximato	10.25 (8.34-12.48)	80.5 (42.7-233.7)	$Y = 1.0289 X - 1.0402$	< 0.0001
Acequinocyl	29.76 (25.19-35.14)	614.7 (561.4-857.1)	$Y = 0.9746 X - 1.4364$	< 0.0001
Bifenazate	67.22 (53.47-83.58)	2672 (1975-3765)	$Y = 0.8013 X - 1.4644$	< 0.0001
Spiromesifen	141.8 (120.5-166.0)	2268 (1788-2976)	$Y = 1.0644 X - 2.2903$	< 0.0001

Fuente: Elaboración propia.

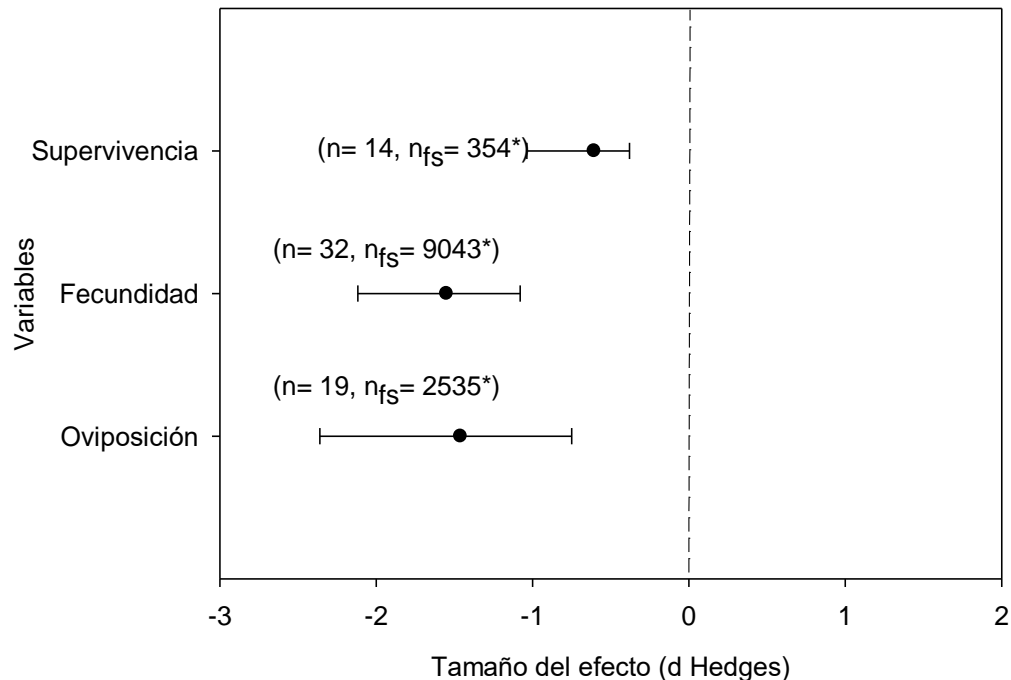
Los acaricidas spirodiclofen, fenpiroximato y acequinocyl, considerados en el presente estudio como los más tóxicos, se han reportado con alta toxicidad en varias especies de ácaros depredadores (Ghasemzadeh & Quereshi, 2018; Puchalska & Piotrowska, 2016) y ácaros fitófagos de importancia económica, como *Tetranychus kanzawai*, *Tetranychus merganser* y *Tetranychus urticae* (Askari et al., 2013; Kumari et al., 2017; Ullah et al., 2011; Ullah & Gotoh, 2013). Estos productos se usan de forma rutinaria en campo, y se han encontrado poblaciones de ácaros fitófagos resistentes en diversas regiones agrícolas (Van Leeuwen et al., 2010).

Al tomar como referencia los valores de CL_{90} calculados en el presente estudio y las dosis recomendadas por los fabricantes (PLM México, 2019) para el control de ácaros fitófagos en campo (spirodiclofen, 180 mg L⁻¹-340 mg L⁻¹; acequinocyl, 150 mg L⁻¹-300 mg L⁻¹; fenpiroximato, 37.5 mg L⁻¹-75 mg L⁻¹; spiromesifen, 125 mg L⁻¹-250 mg L⁻¹; y bifenazate, 250 mg L⁻¹-500 mg L⁻¹), el acaricida spirodiclofen sería más tóxico a los ácaros depredadores *A. swirskii* y *N. californicus* que a los ácaros fitófagos; asimismo, el fenpiroximato, bifenazate y spiromesifen también serían más tóxicos a los ácaros depredadores pero en menor magnitud. En contraste, acequinocyl tendría toxicidad similar en ácaros depredadores y ácaros fitófagos.

Efectos subletales de acaricidas a través de metaanálisis

De los 64 artículos encontrados, solo 14 cumplieron con los criterios de selección para realizar los análisis. Incluso un mismo artículo proporcionó diferentes estudios (supervivencia de adultos, fecundidad y oviposición) con resultados específicos. De esta forma, se sintetizaron 14 estudios de supervivencia en adultos, 32 estudios de fecundidad y 19 estudios de periodo de oviposición.

En general, los acaricidas mostraron efectos negativos significativos sobre las variables supervivencia, fecundidad y oviposición en los ácaros depredadores de la familia Phytoseiidae (Figura 1). Para la supervivencia en adultos, el tamaño de efecto de la exposición a los acaricidas resultó de -0.6065 (sesgo% CI = -1.0635 a -0.3704), un efecto negativo significativo en comparación con el testigo. Para la fecundidad y oviposición, la exposición a los acaricidas produjo tamaños de efecto de -1.5507 (sesgo, CI = -2.1494 a -1.0683) y -1.4607 (sesgo CI = -2.4020 a -0.7223), respectivamente; esto representa un efecto negativo significativo en relación con los testigos (Figura 1; Tabla 4).



n: Tamaño de la muestra; n_{fs}: número de seguridad; *: indica la robustez estadística de n_{fs}.
El tamaño medio del efecto E₊₊ = -1.2605 y el IC del sesgo del 95% = -1.6085 a -0.9612.

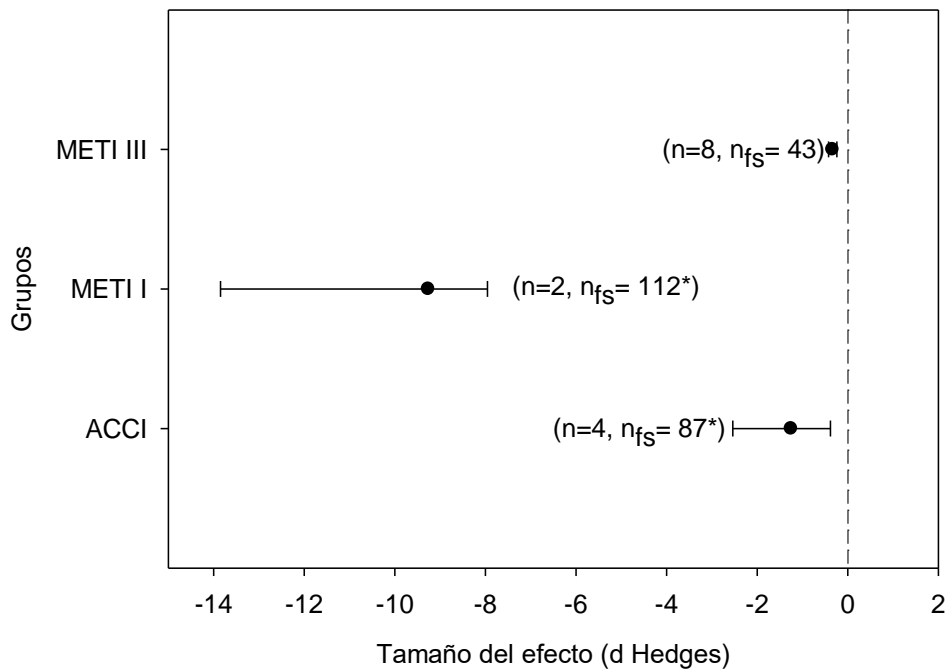
Figura 1. Tamaño del efecto (media e intervalo de confianza [IC] 95%) de los acaricidas estudiados por metaanálisis en la supervivencia de adultos, fecundidad y oviposición. El número de muestras se muestra para cada análisis. Las medias con intervalos de confianza que no se superponen con cero se consideraron significativas.

Tabla 4. Estadísticas de heterogeneidad para cada modelo en el análisis de frecuencia de supervivencia de adultos, fecundidad y oviposición.

	Supervivencia			Fecundidad			Oviposición	
	df	Q _B	P	df	Q _B	P	df	P
Modelo completo	13	257.446	< 0.0000	31	838.632	< 0.0000	18	871.660 < 0.0000
Modos de acción	2	162.676	< 0.0000	2	229.521	< 0.0000	2	62.994 < 0.0000
Géneros de Ácaros	3	155.623	< 0.0000	3	192.992	< 0.0000	2	201.118 < 0.0000

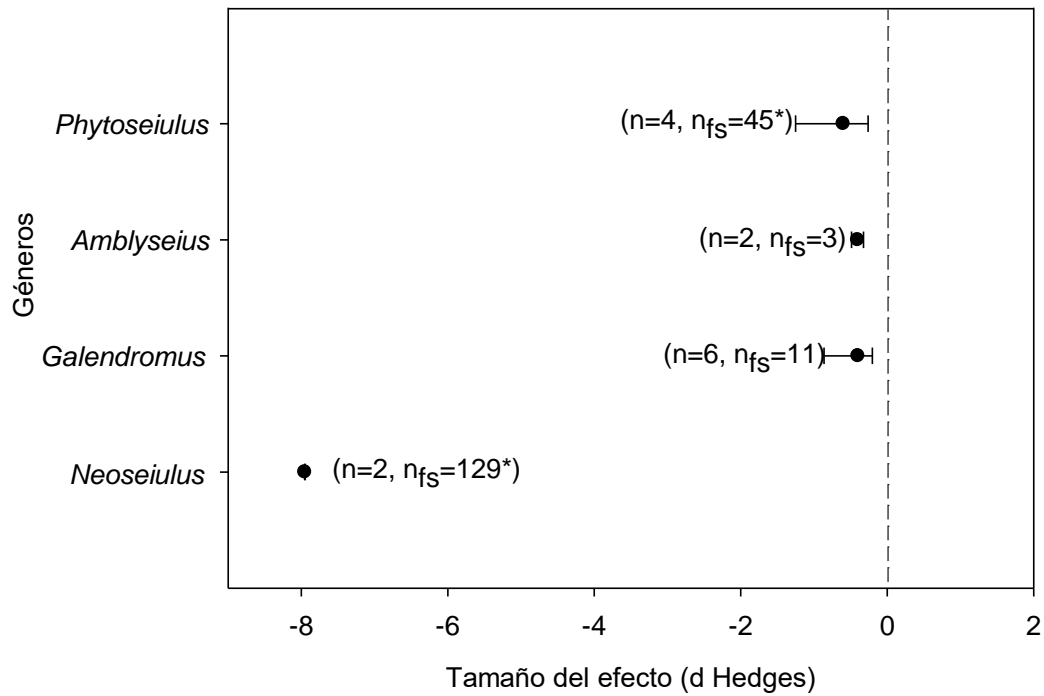
df: grados de libertad; Q_B: variación en el tamaño del efecto explicado por el modelo.
Fuente: Elaboración propia.

El análisis de supervivencia se integró en dos secciones, los efectos por grupos de acaricidas de acuerdo con el modo de acción y el efecto de los acaricidas sobre los géneros de Phytoseiidae. Los tres grupos de acaricidas analizados tienen efectos negativos significativos. El grupo METI I fue el que presentó mayor efecto sobre la supervivencia (Figura 2).



n: tamaño de la muestra; n_{fs}: número de seguridad; *: indica la robustez estadística de n_{fs}.
Se muestra el tamaño del efecto medio E₊₊ = -0.6065 y el IC del sesgo del 95% = -1.0526 a -0.3692.
Figura 2. Tamaño del efecto (media e intervalo de confianza [IC] del 95%), de los acaricidas en la supervivencia de adultos para la categoría considerada para el grupo acaricida, según su modo de acción. Los tamaños del efecto fueron significativos si los IC del 95% no se superponen con cero. Los tamaños del efecto dentro de los análisis se consideraron diferentes entre sí, si su IC del 95% no se superponía.

En el análisis de los efectos por géneros de Phytoseiidae se observó que los acaricidas tuvieron efectos negativos significativos en todos los géneros; en particular, *Neoseiulus* presentó el mayor tamaño del efecto (Figura 3).

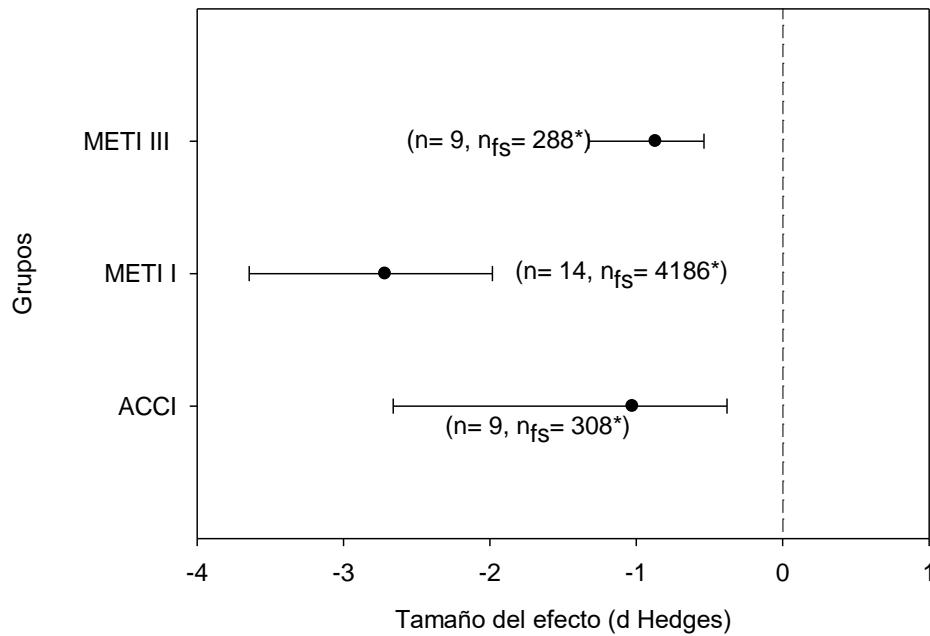


n: tamaño de la muestra; n_{fs}: número de seguridad; *: indica la robustez estadística de n_{fs}.

Se muestra el tamaño del efecto medio $E_{++} = -0.6065$ y el IC del sesgo del 95% = -0.9971 a -0.3728 .

Figura 3. Tamaño del efecto (media e intervalo de confianza [IC] del 95%) de los acaricidas en la supervivencia de ácaros adultos para la categoría considerada para el grupo apropiado (géneros de depredadores). Los tamaños del efecto se consideraron significativos si los IC del 95% no se superponen con cero. Los tamaños del efecto dentro de los análisis se consideraron diferentes entre sí, si su IC del 95% no se superponía.

El análisis de la variable fecundidad se integró en dos secciones, la de los efectos por grupos de acaricidas de acuerdo con el modo de acción y el efecto de los acaricidas en los géneros de Phytoseiidae. Los tres grupos de acaricidas analizados tuvieron efectos negativos significativos, y el grupo METI I presentó mayor efecto sobre la variable fecundidad (Figura 4).

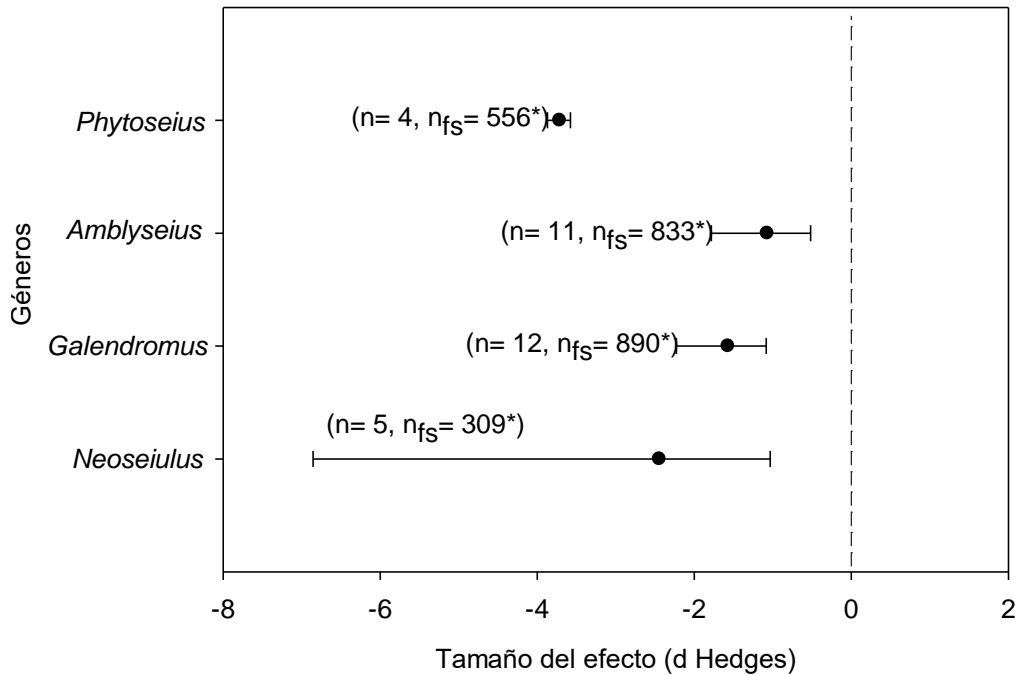


n: tamaño de la muestra; n_{fs}: número de seguridad; *: indica la robustez estadística de n_{fs}.

Se muestra el tamaño del efecto medio $E_{++} = -1.5507$ y el IC del sesgo del 95% = -2.1341 a -1.1079.

Figura 4. Tamaño del efecto (media e intervalo de confianza [IC] del 95%) de los acaricidas en la fecundidad para la categoría considerada para el grupo apropiado de acaricida, según su modo de acción. Los tamaños del efecto se consideraron significativos si los IC del 95% no se superponen con cero. Los tamaños del efecto dentro de los análisis se consideraron diferentes entre sí, si su IC del 95% no se superponía.

El análisis de los efectos por géneros de Phytoseiidae mostró disminución significativa en la fecundidad y fue ligeramente mayor en el género *Phytoseius* (Figura 5).

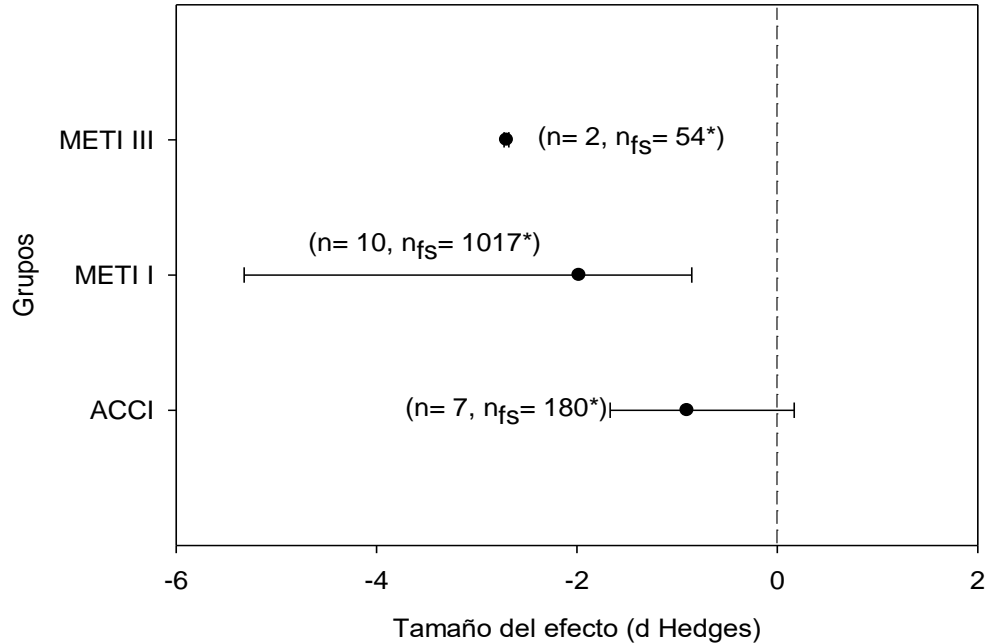


n: tamaño de la muestra; n_{fs}: número de seguridad; *: indica la robustez estadística de n_{fs}.

Se muestra el tamaño del efecto medio E₊₊ = -1.5507 y el IC del sesgo del 95% = -2.1821 a -1.0863.

Figura 5. Tamaño del efecto (media e intervalo de confianza [IC] del 95%) de los acaricidas en la fecundidad para la categoría considerada para el grupo apropiado (géneros de ácaros depredadores). Los tamaños del efecto se consideraron significativos si los IC del 95% no se superponen con cero. Los tamaños del efecto dentro de los análisis se consideraron diferentes entre sí, si su IC del 95% no se superponía.

El análisis del periodo de oviposición se integró en dos secciones, los efectos por grupos de acaricidas de acuerdo con el modo de acción y el efecto de los acaricidas en los géneros de Phytoseiidae. De los tres grupos de acaricidas analizados, METI I y METI III tuvieron efectos negativos significativos (Figura 6).

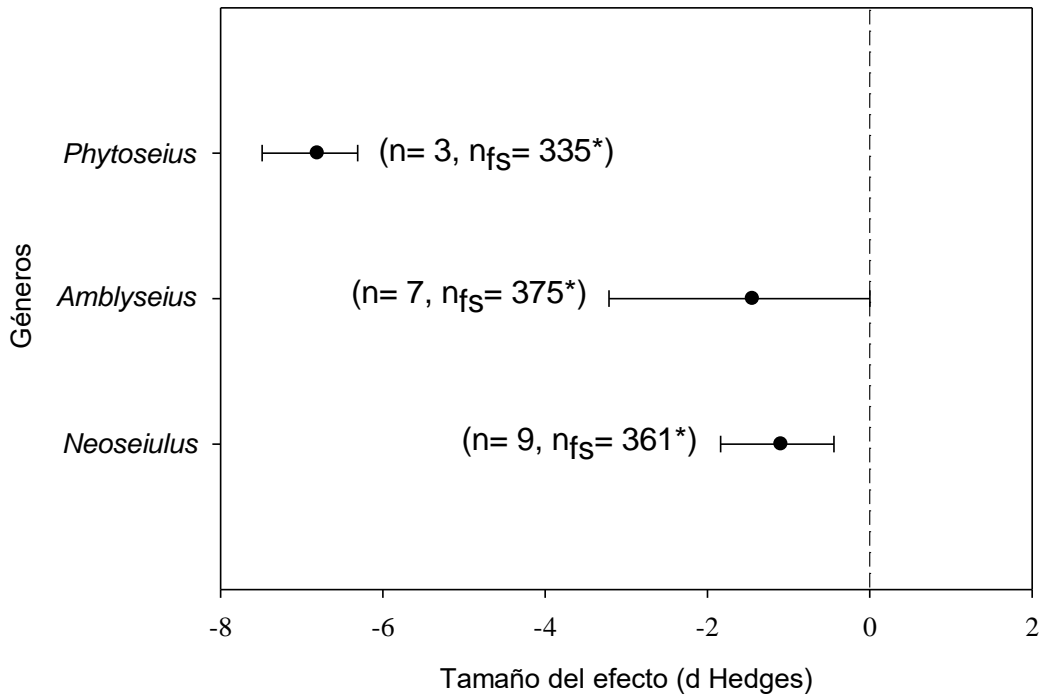


n: tamaño de la muestra; n_{fs}: número de seguridad; *: indica la robustez estadística de n_{fs}.

Se muestra el tamaño del efecto medio E₊₊ = -1.4607 y el IC del sesgo del 95% = -2.3706 a -0.8062.

Figura 6. Tamaño del efecto (media e intervalo de confianza [IC] del 95%) de los acaricidas en la oviposición para la categoría considerada para el grupo apropiado (modos de acción). Los tamaños del efecto se consideraron significativos si los IC del 95% no se superponen con 0. Los tamaños del efecto dentro de los análisis se consideraron diferentes entre sí, si su IC del 95% no se superponía.

El análisis de los efectos por géneros de Phytoseiidae mostró que todos los incluidos en la evaluación recibieron efectos negativos significativos; en particular, *Phytoseius* mostró tamaño mayor del efecto sobre la variable oviposición (Figura 7).



n: tamaño de la muestra; n_{fs}: número de seguridad; *: indica la robustez estadística de n_{fs}.
Se muestra el tamaño del efecto medio E₊₊ = -1.4607 y el IC del sesgo del 95% = -2.5192 a -0.7989.

Figura 7. Tamaño del efecto (media e intervalo de confianza [IC] del 95%) de los acaricidas en la oviposición para la categoría considerada para el grupo apropiado (géneros). Los tamaños del efecto se consideraron significativos si los IC del 95% no se superponen con 0. Los tamaños del efecto dentro de los análisis se consideraron diferentes entre sí, si su IC del 95% no se superponía.

El metaanálisis de estudios publicados sobre los efectos de acaricidas en ácaros depredadores de la familia Phytoseiidae generó información relevante. En algunos casos, los estudios publicados en este tema muestran resultados contrapuestos, donde ciertos acaricidas en unos estudios no muestran efectos y en otros estudios se observan efectos negativos. En estudios separados, Hamedi *et al.* (2010) y Sarbaz *et al.* (2017) encontraron efectos negativos significativos en la supervivencia de adultos, fecundidad y periodo de oviposición en los ácaros de los géneros *Phytoseiulus*, *Amblyseius*, *Phytoseius* y *Neoseiulus* por efecto del spiromesifen, spirodiclofen, bifenazate, acequinocyl y fenpiroximato. Por el contrario, Alinejad *et al.* (2016), Bergeron & Schmidt-Jeffris (2020) y Lima *et al.* (2016) mencionaron que estos mismos acaricidas no tuvieron efectos negativos en la supervivencia de adultos, fecundidad y periodo de oviposición en los ácaros depredadores pertenecientes a los géneros *Galendromus*, *Amblyseius* y *Neoseiulus*.

En general, en el metaanálisis se observaron efectos negativos significativos de los acaricidas en las variables supervivencia de adultos, fecundidad y periodo de oviposición. La supervivencia es un indicador que suele asociarse al efecto directo de los plaguicidas en un periodo de tiempo corto (24 h a 96 h) (Cloyd, 2012). Según Lima *et al.* (2013, 2016), Park *et al.* (2011) y Maroufpoor *et al.* (2016), los acaricidas de los grupos incluidos en el presente metaanálisis disminuyen la supervivencia en ácaros depredadores, principalmente en la aplicación por contacto.

La fecundidad es un parámetro del crecimiento poblacional de ácaros que se relaciona con el número de huevos puestos por hembras (Lima *et al.*, 2016). Se ha observado que la fecundidad disminuye de modo sustancial a medida que aumenta la exposición a concentraciones de los acaricidas ACCI, METI I y METI III (Park *et al.*, 2011). Según López *et al.* (2015) y Sato *et al.* (2011), las hembras de ácaros depredadores tratadas con acaricidas de nueva generación ovipositan menor número de huevos. El efecto negativo en la fecundidad se relaciona con una disminución en el contenido de lípidos en hembras tratadas, lo cual sugiere que estos compuestos interfieren en la inhibición de síntesis de lípidos necesarios para ovipositar (Van Leeuwen *et al.*, 2014).

El metaanálisis también mostró que el periodo de oviposición disminuye significativamente por efecto de los acaricidas ACCI, METI I y ETI III. El periodo de oviposición es otra variable para medir el crecimiento de la población de ácaros, esta variable indica los días a los cuales ovipositan las hembras. Alinejad *et al.* (2014) y Ghadim *et al.* (2017) observaron que la oviposición disminuye por el efecto de los acaricidas. Hamedi *et al.* (2010), Maroufpoor *et al.* (2016) y Sarbaz *et al.* (2017) encontraron que las hembras tratadas con acaricidas ACCI disminuyeron los días a la oviposición, por una disminución en el contenido de lípidos en hembras tratadas, lo cual sugiere que los lípidos interfieren en la biosíntesis de los huevos (Van Leeuwen *et al.*, 2014). Lo anterior tendría implicaciones importantes en el ciclo biológico de los ácaros depredadores.

Los efectos negativos de los acaricidas sobre los ácaros depredadores encontrados en el metaanálisis deben tomarse con reserva, ya que los datos utilizados se basan en trabajos realizados en condiciones de laboratorio y se sabe que las evaluaciones de los acaricidas en condiciones controladas pueden sobreestimar los efectos reales en campo. No obstante, los resultados del metaanálisis son contundentes y sugieren que el uso de acaricidas de nueva generación debe tomarse con precaución, debido a los efectos en organismos no objetivo.

Conclusiones

El acaricida spirodiclofen fue altamente tóxico por contacto a los ácaros depredadores *A. swirskii* y *N. californicus* bajo condiciones de laboratorio. Al considerar las dosis comerciales de campo, spirodiclofen tendría mayor toxicidad a los ácaros depredadores que a los ácaros fitófagos.

De acuerdo al metaanálisis, los acaricidas inhibidores de la Acetil-CoA-Carboxilasa (ACCI) e inhibidores del transporte de electrones mitocondrial en los complejos METI I y METI III tienen efectos negativos significativos en los géneros *Phytoseiulus*, *Amblyseius*, *Galendromus* y *Neoseiulus*. Con tales efectos, estos acaricidas podrían reducir la densidad poblacional de los ácaros depredadores en campo.

Conflictos de intereses

Los autores declaran no tener conflictos de interés.

Referencias

- Abbott, W. S. (1925). A method of computing the effectiveness of an insecticide. *Journal of Economic Entomology*, 18(2), 265-267. doi: <https://doi.org/10.1093/jee/18.2.265a>
- Abraham, C. M., Braman, S. K., Oetting, R. D., & Hinkle, N. C. (2013). Pesticide compatibility with natural enemies for pest management in greenhouse gerbera daisies. *Journal of Economic Entomology*, 106(4), 1590-1601. doi: <https://doi.org/10.1603/EC12503>
- Alinejad, M., Kheradmand, K., & Fathipour, Y. (2014). Sublethal effects of fenazaquin on life table parameters of the predatory mite *Amblyseius swirskii* (Acari: Phytoseiidae). *Experimental and Applied Acarology*, 64(3), 361-373. doi: <https://doi.org/10.1007/s10493-014-9830-y>
- Alinejad, M., Kheradmand, K., & Fathipour, Y. (2016). Assessment of sublethal effects of spirotetramat on biological performance of the predatory mite, *Amblyseius swirskii*. *Systematic & Applied Acarology*, 21(3), 375-384. doi: <https://doi.org/10.11158/saa.21.3.12>
- Askari, G., Hejazi, M. J., & Amizadeh, M. (2013). Lethal and sublethal effects of spiromesifen, spirotetramat and spirotetramat on *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae). *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 46(11), 1278-1284. doi: <https://doi.org/10.1080/03235408.2013.764074>
- Bergeron, P. E., & Schmidt-Jeffris R. A. (2020). Not all predators are equal: miticide non-target effects and differential selectivity. *Pest Management Science*, 76(6), 2170-2179. doi: <https://doi.org/10.1002/ps.5754>
- Cloyd, R. A. (2012). Indirect effects of pesticides on natural enemies. Pesticides - Advances in chemical and botanical pesticides. *IntechOpen*, 127-150. doi: <https://doi.org/10.5772/48649>
- Ghadim, M., Kheradmand, K., & Talebi, A. A. (2017). Sublethal effects of pyridaben on life table parameters of the predatory mite *Neoseiulus californicus* (McGregor) (Acari: Phytoseiidae). *Zoology and Ecology*, 28(1), 56-63. doi: <https://doi.org/10.1080/21658005.2017.1408939>
- Ghasemzadeh, S., & Qureshi, J. A. (2018). Demographic analysis of fenpyroximate and thiacloprid exposed predatory mite *Amblyseius swirskii* (Acari: Phytoseiidae). *PLoS ONE*, 13(11), e0206030. doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0206030>
- Gurevitch J., & Hedges, L. V. (2001). Meta-analysis: Combining results of independent experiments. In K. E. Barton & J. Koricheva, *The ontogeny of plant defense and herbivory: Characterizing general patterns using meta-analysis* (pp. 347-369). *The American Naturalist*, 175(4), 481-493. doi: <https://doi.org/10.1201/9781003059813>
- Hamed, N., Fathipour, Y., & Saber, M. (2010). Sublethal effects of fenpyroximate on life table parameters of the predatory mite *Phytoseius plumifer*. *BioControl*, 55, 271-278. doi: <https://doi.org/10.1007/s10526-009-9239-4>
- Kumari, S., Chauhan, U., Kumari, A., & 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), 191-196. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2015.06.003>
- Lima, D. B., Melo, J. W. S., Guedes, R. N. C., Siqueira, H. A. A., Pallini, A., & Gondim, M. G. C. (2013). Survival and behavioural response to acaricides of the coconut mite predator *Neoseiulus baraki*. *Experimental and Applied Acarology*, 60, 381-393. doi: <https://doi.org/10.1007/s10493-012-9644-8>
- Lima, D. B., Melo, J. W. S., Gondim, M. G. C., Guedes, R. N. C., & Oliveira, J. E. M. (2016). Population-level effects of abamectin, azadirachtin and fenpyroximate on the predatory mite *Neoseiulus baraki*. *Experimental and Applied Acarology*, 70, 165-177. doi: <https://doi.org/10.1007/s10493-016-0074-x>
- López, L., Smith, H. A., Hoy, M. A., & Bloomquist, J. R. (2015). Acute toxicity and sublethal effects of fenpyroximate to *Amblyseius swirskii* (Acari: Phytoseiidae). *Journal of Economic Entomology*, 108(3), 1047-1053. doi: <https://doi.org/10.1093/jee/tov033>
- Marcic, D. (2012). Acaricides in modern management of plant-feeding mites. *Journal of Pest Science*, 85(4), 395-408. doi: <https://doi.org/10.1007/s10340-012-0442-1>
- Maroufpoor, M., Ghoosta, Y., Pourmirza, A. A., & Lotfalizadeh, H. (2016). The effects of selected acaricides on life table parameters of the predatory mite, *Neoseiulus californicus*, fed on European red mite. *North-Western Journal of Zoology*, 12(1), 1-6. doi: http://biozoojournals.ro/nwjz/content/v12n1/nwjz_e151101_Maroufpoor.pdf

- Mcmurtry, J. A., de Moraes, G. J., & Sourassou, N. F. (2013). Revision of the lifestyles of phytoseiid mites (Acari: Phytoseiidae) and implications for biological control strategies. *Systematic & Applied Acarology*, 18(4), 297-320. doi: <https://doi.org/10.11158/saa.18.4.1>
- Park, J., Kim, M., Lee, J., Shin, K., Lee, S. E., Kim, J., & Cho, K. (2011). Sublethal effects of fenpyroximate and pyridaben on two predatory mite species, *Neoseiulus womersleyi* and *Phytoseiulus persimilis* (Acari, Phytoseiidae). *Experimental and Applied Acarology*, 54, 243-259. doi: <https://doi.org/10.1007/s10493-011-9435-7>
- PLM México. (2019). *Diccionario de Especialidades Agroquímicas (DEAQ)*. Agroquímicos-Orgánicos PLM. <http://www.agroquimicos-organicosplm.com>
- Puchalska, E., & Piotrowska, M. (2016). Side effects of acequinocyl on predatory mite *Typhlodromus pyri* Scheuten (Acari: Phytoseiidae). *Communications in Biometry and Crop Science*, 11(2), 140-148. https://www.researchgate.net/profile/Ewa-Puchalska/publication/306229930_Side_effects_of_acequinocyl_on_predatory_mite_Typhlodromus_pyri_Scheuten_Acari_Phytoseiidae/links/593672620f7e9bee7ee594b/Side-effects-of-acequinocyl-on-predatory-mite-Typhlodromus-pyri-Scheuten-Acari-Phytoseiidae.pdf
- Reddy, P. P. (2016). Pest and predatory mites. In: Reddy P. P. (ed). Sustainable crop protection under protected cultivation. Springer, Singapore, (pp. 227-244). doi: <https://doi.org/10.1007/978-981-287-952-3>
- Rosenberg, M. S. (2005). The file-drawer problem revisited: A general weighted method for calculating fail-safe numbers in meta-analysis. *Evolution*, 59(2), 464-468. doi: <https://doi.org/10.1111/j.0014-3820.2005.tb01004.x>
- Rosenberg, M. S., Adams, D. C., & Gurevitch J. (2002). *MetaWin: Statistical software for meta-analysis* (Versión 2.1) [Software de computación]. Sinauer, Sunderland.
- Sarbaz, S., Goldasteh, S., Zamani, A. A., Solymannejadiyan, E., & Vafaei, R. (2017). Side effects of spiromesifen and spirodiclofen on life table parameters of the predatory mite, *Neoseiulus californicus* McGregor (Acari: Phytoseiidae). *International Journal of Acarology*, 43(5), 380-386. doi: <https://doi.org/10.1080/01647954.2017.1325396>
- Sato, M. E., da Silva, M. Z., Raga, A., Cangani, K. G., Veronez, B., & Nicastro, R. L. (2011). Spiromesifen toxicity to the spider mite *Tetranychus urticae* and selectivity to the predator *Neoseiulus californicus*. *Phytoparasitica*, 39(473). doi: <https://doi.org/10.1007/s12600-011-0189-x>
- Ullah, M. S., Moriya, D., Kongchuensin, M., Konvipasruang, P., & Gotoh, T. (2011). Comparative toxicity of acaricides to *Tetranychus merganser* Boudreaux and *Tetranychus kanzawai* Kishida (Acari: Tetranychidae). *International Journal Acarology*, 37(6), 535-543. doi: <https://doi.org/10.1080/01647954.2010.525531>
- Ullah, M. S., & Gotoh, T. (2013). Laboratory-based toxicity of some acaricides to *Tetranychus macfarlanei* and *Tetranychus truncatus* (Acari: Tetranychidae). *International Journal of Acarology*, 39(3), 244-251. doi: <https://doi.org/10.1080/01647954.2012.758655>
- 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), 563-572. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ibmb.2010.05.008>
- Van Leeuwen, T., Tirry, L., Yamamoto, A., Nauen, R., & Dermauw, W. (2014). The economic importance of acaricides in the control of phytophagous mites and an update on recent acaricide mode of action research. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 121, 12-21. doi: <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2014.12.009>