



REVISIÓN SISTEMÁTICA SOBRE LA EFECTIVIDAD DE CETOENOL Y SU MECANISMO DE RESISTENCIA EN ÁCAROS FITOFAGOS DE LA FAMILIA TETRANYCHIDAE †

[A SYSTEMATIC REVIEW ON THE EFFECTIVENESS OF KETOENOLS
AND THEIR RESISTANCE MECHANISM ON PHYTOPHAGOUS MITES
OF THE TETRANYCHIDAE FAMILY]

Marcos Enrique Cua-Basulto¹, Esaú Ruiz-Sánchez^{*2},
Dany Alejandro Dzib-Cauich³ and Emanuel Hernández-Núñez^{*3}

¹Departamento de Recursos del Mar, CINVESTAV-IPN Unidad Mérida, Antigua
carretera a Progreso s/n Colonia Cordemex, C.P.97310, Mérida. Yucatán, México.

Email: marcos.cua@itconkal.edu.mx

²Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Conkal, Avenida
Tecnológico s/n, C.P. 97345, Conkal, Yucatán, México. Email:

esau.ruiz@itconkal.edu.mx

³Departamento de Posgrado e Investigación, Instituto Tecnológico Superior de
Calkiní. Av. Ah Canul S/N por carretera Federal, 24930 Calkiní, Campeche, México.

Email: ehernandez@itescam.edu.mx, dadzib@itescam.edu.mx

*Corresponding author

SUMMARY

Background. Ketoenol acaricides exert their action by inhibiting Acetyl-CoA carboxylase (ACC). These acaricides have been highly effective for the management of phytophagous mites, however, their intensive use has generated resistant populations, which is why it is necessary to know what resistance mechanisms could be involved in mites of the Tetranychidae family in greenhouse and field conditions. **Methodology.** A literature review of ketoenolic acaricides was performed in the following databases: Google academic, Science Direct & Springer, for which word combinations were used such as: ketoenolic acaricides, tetroneic and tetramic acid, spiromesifen, spirodiclofen, effectiveness of ketoenols, resistance mechanisms. Based on these parameters, 68 bibliographic references were selected, taking into consideration whether the studies had been carried out from year 2000 until 2023. To process the data from the publications, it was organized in the Microsoft Office Excel® program, where the information related to the effectiveness of ketoenolic acaricides and the resistance mechanisms of mites of the Tetranychidae family were classified, analyzed and discussed. **Main findings.** The use of Ketoenolic acaricides are an effective alternative in suppressing the population density of phytophagous mites of the Tetranychidae family in greenhouses and fields, taking into account that they are effective when applied at low or intermediate doses; likewise, the effectiveness of ketoenolic acaricides is not affected if they are applied in greenhouse and field conditions since their effectiveness is greater than 85%. On the other hand, resistance to ketoenolic acaricides is mainly mediated by metabolic resistance, due to high levels of activity of detoxification enzymes (P-450 monooxygenases, esterases and glutathione S-transferases) that the selected populations present. Regarding resistance at the site of action, there are few recorded cases, therefore, it is not considered an important factor in resistance to ketoenol acaricides in Tetranychidae. **Implications.** It is essential to know the mechanism of resistance to acaricides in Tetranychidae management programs, establishing more efficient measures on the use of chemical acaricides, such as a good application of acaricides to crops and rotation of acaricides, in this way we will contribute to a lower resistance to mites. **Conclusion.** This review indicates that ketoenolic acaricides are effective for control in mites, however, resistance to ketoenols in mites of the Tetranychidae family is mediated in most cases by detoxification enzymes.

Key words: spider mite; toxic effect; toxicology; acaricides.

RESUMEN

Antecedentes. Los acaricidas cetoenoles ejercen su acción inhibiendo la Acetil-CoA carboxilasa (ACC). Estos acaricidas han sido altamente efectivos para el manejo de ácaros fitófagos, sin embargo, su uso continuo ha generado

† Submitted July 9, 2024 – Accepted December 4, 2024. <http://doi.org/10.56369/tsaes.5721>



Copyright © the authors. Work licensed under a CC-BY 4.0 License. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

ISSN: 1870-0462.

ORCID = ME Cua Basulto: <http://orcid.org/0000-0002-1600-161X>; E Hernández Núñez: <http://orcid.org/0000-0002-7467-7538>; E Ruiz Sánchez: <http://orcid.org/0000-0003-0245-3305>; DA Dzib-Cauich <http://orcid.org/0000-0001-7961-2867>

poblaciones resistentes, por lo cual es necesario conocer cuáles son los mecanismos de resistencia que pudieran estar implicados en los ácaros de la familia Tetranychidae en invernadero y campo. **Metodología.** Se realizó una revisión bibliográfica de acaricidas cetoenólicos en las siguientes bases de datos: Google académico, Science Direct & Springer, para lo cual, se utilizaron combinaciones de palabras como: Acaricidas cetoenólicos, ácido tetrónico y tetrámico, spiromesifen, spirotetramat, efectividad de cetoenoles, mecanismos de resistencia. A partir de dichos parámetros, fueron seleccionadas 68 referencias bibliográficas, tomando a consideración si los estudios se habían realizado del año 2000 hasta 2023. Para el procesamiento de los datos procedentes de las publicaciones se organizó en el programa Microsoft Office Excel®, donde se clasificaron, analizaron y se discutió la información relacionada a la efectividad de acaricidas cetoenólicos y conocer los mecanismos de resistencia de ácaros de la familia Tetranychidae.

Principales hallazgos. Los acaricidas cetoenólicos son una alternativa eficaz en la supresión de la densidad poblacional de ácaros fitófagos de la familia Tetranychidae en invernadero y campo, tomando en cuenta que son eficaces cuando se aplican a dosis bajas o intermedias, de igual manera la efectividad de los acaricidas cetoenólicos no se ve afectada si estas son aplicadas en condiciones de invernadero y campo ya que su eficacia es superior al 85 %. Por otro lado, la resistencia a acaricidas cetoenólicos es mediado principalmente por la resistencia metabólica, debido a altos niveles de actividad de enzimas de desintoxicación (P-450 monooxigenasas, esterasas y glutatión S-transferasas) que presentan las poblaciones seleccionadas. Con respecto a la resistencia en el sitio de acción, existen pocos casos registrados, por lo cual, no se considera un factor importante en la resistencia a acaricidas cetoenoles en Tetranychidae. **Implicación.** Es fundamental conocer el mecanismo de resistencia a acaricidas en los programas de manejo de Tetranychidae, estableciendo medidas más eficientes sobre el uso de acaricidas químicos, como una buena aplicación de los acaricidas a los cultivos, rotación de los acaricidas, de esta forma contribuiremos a una menor resistencia a los ácaros. **Conclusión.** Esta revisión indica que los acaricidas cetoenólicos son efectivos para el control en ácaros, sin embargo, la resistencia a los cetoenoles en ácaros de la familia Tetranychidae es mediada en la mayoría de los casos por enzimas de desintoxicación.

Palabras clave: Araña roja; efecto tóxico; toxicología; acaricidas.

INTRODUCCIÓN

El uso de acaricidas químicos ha generado resistencia en muchas especies de ácaros fitófagos en todo el mundo (Marcic, 2012; Tong and Feng, 2016; Inak *et al.*, 2022). Por lo tanto, surge la necesidad del desarrollo de nuevos grupos de acaricidas con modos de acción novedosos, pero también de optimizar su uso para retrasar la selección de poblaciones de ácaros resistentes y prolongar la vida útil de los acaricidas (Dekeyser, 2005; Shen *et al.*, 2021). Los nuevos acaricidas deben ser eficaces contra las plagas objetivo, además de ser seguros para la salud humana. En los últimos años han surgido acaricidas de nueva generación como los cetoenoles cíclicos que son inhibidores de la acetil-CoA carboxilasa (ACC), que actúan inhibiendo la síntesis de lípidos (Marcic, 2012; Van Leeuwen *et al.*, 2015; Inak *et al.*, 2022). (Figura 1).

Existen diferentes mecanismos de resistencia a acaricidas, éstos pueden ser disminución en la penetración, metabolismo, excreción y alteración en la interacción de la molécula acaricida con su sitio de acción (Van Leeuwen *et al.*, 2010; Marcic, 2012; Ferreira *et al.*, 2015). La resistencia que presentan los ácaros fitófagos es causada principalmente por la acción de enzimas de desintoxicación (resistencia metabólica) y por mutaciones puntuales (resistencia del sitio de acción) en el sitio de acción (Van Leeuwen *et al.*, 2010; Marcic, 2012; Wu *et al.*, 2018). Aunque se han logrado avances importantes sobre la comprensión de los mecanismos de resistencia a acaricidas, en los ácaros aún falta más estudios por realizar. Este documento se centra en el estado actual de la investigación sobre la efectividad de los acaricidas cetoenólicos en invernadero/campo y los mecanismos de resistencia en ácaros fitófagos.

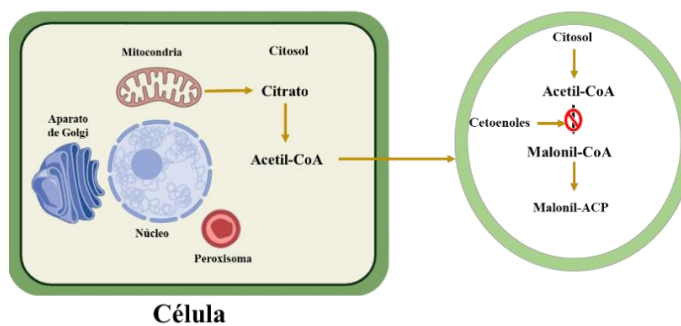


Figura 1. Representación esquemática del sitio de acción de los cetoenoles en células animales. Inhibición de la Acetil-CoA carboxilasa (ACC) por los cetoenoles (spirotetramat, spiromesifen y spirotetramat) interrumpen la biosíntesis temprana de ácidos grasos.

METODOLOGÍA

Este estudio corresponde a una investigación del nivel sistemático exploratorio, de enfoque cualitativo y utiliza la técnica de investigación documental para la recolección de datos (Botero-Posada *et al.*, 2023). Se realizó el método analítico-descriptivo para la descomposición y comprensión del problema de investigación, en este caso la necesidad de conocer el estado actual sobre la efectividad y sus mecanismos de resistencia de acaricidas cetoenólicos aplicados en invernadero y campo en especies de la familia Tetranychidae.

La revisión de literatura incluyó una búsqueda de artículos científicos dentro de las bases de datos seleccionadas como: Google académico, Science Direct, Springer Journal, Taylor & Francis, y Wiley Online Library; para lo cual se utilizó como parámetro de búsqueda combinaciones de las siguientes palabras clave: Acaricidas cetoenólicos, familia Tetranychidae, ácido tetrónico y tetrámico, spiromesifen, spirodiclofen, spirotetramat, efectividad de cetoenoles, mecanismos de resistencia. Los términos para la búsqueda se usaron en español e inglés.

A partir de dichos parámetros, fueron seleccionadas 68 referencias bibliográficas, tomando a consideración si los estudios se realizaron después del año 2000 hasta 2023. El criterio de inclusión se limitó a temas que trataran sobre la efectividad de acaricidas cetoenólicos en invernadero y campo y estudios que trataran sobre los mecanismos de resistencia a los acaricidas cetoenólicos en especies de la familia Tetranychidae. El procesamiento de los datos procedentes de las 68 publicaciones se organizó en el programa Microsoft Office Excel®, dispuestos según el año. El alcance de esta metodología busca clasificar, analizar y discutir la información relacionada a la efectividad de acaricidas cetoenólicos y conocer los mecanismos de resistencia de ácaros de la familia Tetranychidae.

ASPECTOS GENERALES DE LA FAMILIA TETRANYCHIDAE Y ACARICIDAS CETOENÓLICOS

Importancia de la familia Tetranychidae como plaga agrícola

Los ácaros son plagas de gran importancia en muchos cultivos a nivel mundial por lo que representan una amenaza para la producción de alimentos. Existen especies de ácaros fitófagos que pertenecen a diferentes familias como Tetranychidae, que son de gran importancia por el daño debido por su alimentación directa (Van Leeuwen *et al.*, 2010, Van Leeuwen *et al.*, 2015). Los ácaros de la familia Tetranychidae, constan de cuatro etapas en su ciclo de

vida: huevo, larva, dos etapas ninfales (protoninfa y deutoninfa) y adulto (Badii *et al.*, 2010; CABI, 2018). La hembra adulta vive de dos a cuatro semanas y es capaz de poner un promedio entre 50 a 90 huevos durante su vida (Fasulo and Denmark, 2000; Rani and Jandial, 2009; Dar *et al.*, 2015). Los huevos son esféricos, brillantes y translúcidos (Rania and Jandial, 2009; Dos Santos *et al.*, 2014). La larva solo tiene tres pares de patas y es ligeramente más grande que el huevo, hay dos instares ninfales, la protoninfa y deutoninfa que son de color verde pálido con marcas oscuras, ambos más pequeños que los adultos con cuatro pares de patas y finalmente el adulto, la hembra adulta ligeramente más grande que el macho (Rani and Jandial, 2009; CABI, 2018). Estos ácaros de la familia Tetranychidae pueden desarrollarse y reproducirse en una amplia gama de factores climáticos, como la alta temperatura o disponibilidad de alimento que son los que propician que el ciclo de vida sea más corto, influyendo directamente en los procesos fisiológicos de los ácaros tetraníquidos, dando como resultado una mayor tasa de crecimiento poblacional (Reyes-Pérez *et al.*, 2013; Alfaro-Valle *et al.*, 2022).

Los ácaros se han incrementado de forma progresiva en las últimas décadas, pasando de ser considerados plagas secundarias a situarse entre los problemas más importantes de la agricultura (Gerson y Weintraub 2007, Marcic 2012; Adesanya *et al.*, 2021). Los ácaros de la familia Tetranychidae como *Tetranychus urticae* (Koch, 1836), *T. merganser* (Boudreaux, 1954), *T. cinnabarinus* (Boisdu-val, 1867), *Panonychus citri* (McGregor, 1981) y *P. ulmi* (Koch, 1836) están entre las plagas más importantes y altamente polífagas, ya que se alimentan de cultivos de importancia hortícola, frutal y ornamental que son cultivados en invernadero y campo (Kumari *et al.*, 2017; Adesanya *et al.*, 2019; Alfaro-Valle *et al.*, 2022). Los daños producidos por los ácaros de la familia Tetranychidae presentan puntos cloróticos y amarillamiento en las hojas debido a la succión de savia, sin embargo, cuando las poblaciones son abundantes causan necrosis en los tejidos foliares, afectando principalmente la tasa fotosintética y la transpiración, dando como resultado la disminución del crecimiento, la floración y rendimiento del cultivo (López-Bautista *et al.*, 2016; Golec *et al.*, 2020; Yang *et al.*, 2020; Chinniah *et al.*, 2021). Por ejemplo, *T. urticae* y *T. cinnabarinus* han causado severos daños al alimentarse de diferentes cultivos hortícolas, frutales y ornamentales ocasionando pérdidas en el rendimiento que van del 10 hasta el 50%, esto debido a la alta densidad poblacional afectando la producción y calidad de los frutos (Brust, 2018; Rincón *et al.*, 2019). *Tetranychus merganser*, es otro ácaro de mayor importancia ya que se alimenta de diferentes familias vegetales como las Solanaceae, Caricaceae, Rosaceae y Cactaceae, entre otras, ocasionando pérdidas económicas hasta de un 100% en los cultivos cuando no se tiene un manejo adecuado

(Rodríguez *et al.*, 2022; Segura-Martínez *et al.*, 2023). De igual manera, *P. citri*, se encuentra en una variedad de cítricos como *Citrus sinensis* (Osbeck, 1765) *C. reticulata* (Blanco, 1837) y *C. limon* (Burm, 1768), provocando daños en hojas, frutos y cuando las infestaciones son intensas provocan la muerte progresiva de la planta, en algunas zonas se ha observado una reducción de 17 a 41% en el rendimiento de cítricos (Zanardi *et al.*, 2015b; Ya-Ying *et al.*, 2021; Demard and Qureshi, 2022). Por otra parte, *P. ulmi*, es un ácaro que infesta una amplia variedad de cultivos frutales como manzanas, peras y cerezas. La infestación de *P. ulmi* en los cultivos de manzana produce pérdidas económicas del 30%, que afectan la calidad del fruto, el tamaño y el rendimiento en el cultivo (Mahendiran and Ganie, 2018; Joshi *et al.*, 2023).

El control de los ácaros fitófagos es un enorme reto, ya que poseen la capacidad de desarrollar rápidamente resistencia a los acaricidas debido a su alta capacidad reproductiva y ciclo de vida corto (Díaz-Arias *et al.*, 2019; Shen *et al.*, 2021). Por lo que, la exploración de nuevos acaricidas con nuevos sitios de acción son actualmente los mejores enfoques para superar el problema de resistencia. Otra consideración para el desarrollo de nuevos acaricidas es que sean más seguros para los organismos no objetivo, compatibles con otras estrategias de control, como agentes de control biológico y menor persistencia en el ambiente (Dekeyser, 2005; Marcic 2012; Kumari *et al.*, 2017).

Los derivados del ácido tetrónico y tetrámico (cetoenoles)

El proceso de descubrimiento de los acaricidas cetoenoles inició con síntesis en el área de herbicidas bicíclicos. Por lo que después de varios intentos se reemplazó un átomo de nitrógeno central por un átomo de carbono, de lo que surgió el compuesto C-arilo (Figura 2) (Bretschneider *et al.*, 2003, Liu *et al.*, 2011; Bretschneider *et al.*, 2012). Después de varios trabajos bioquímicos se tuvo una nueva clase de herbicidas que actuaban sobre la acetil-CoA carboxilasa (ACC) y, después de numerosos intentos de optimización química, los derivados acilados mostraron tener actividad acaricida contra *T. urticae* (Bretschneider *et al.*, 2012). Posteriormente, luego de varios intentos se sintetizó el compuesto 2,4,6-trimetil-fenilo 3 y su derivado 3A (Figura 2), que mostró potencial acaricida contra *T. urticae*, pero no mostró efectividad contra *P. ulmi* (Bretschneider *et al.*, 2012). Para mejorar la actividad contra *P. ulmi*, se tuvo que realizar una amplia búsqueda y selección de sustituyentes en la estructura principal, lo que dio lugar a los primeros derivados del ácido monocíclico 5,5-dimetil tetrámico que mostró actividad contra diferentes especies de ácaros en campo, sin embargo, estos compuestos fueron fitotóxicos en algunos cultivos, como las frutas

con hueso y en uvas (Bretschneider *et al.*, 2003, Bretschneider *et al.*, 2012), por lo que tuvo que modificarse la estructura central de la molécula, cambiando la síntesis de los análogos del ácido tetrónico espirocíclico 5 a los análogos acilados como el derivado pivaloilo 5A (Figura 2) mostrando ser un excelente acaricida sin riesgos de fitotoxicidad (Bretschneider *et al.*, 2003, Bretschneider *et al.*, 2012). Luego de varios ajustes finos mediante diferentes reactivos acilantes se llegó a un óptimo derivado 7 que fue el ácido 2,2-dimetil-butírico, conocido como spirodiclofen, posteriormente se realizó un nuevo ajuste usando acilantes, llegando a un óptimo que fue el ácido 3,3-dimetil-butírico, conocido como spiromesifen, que mostró actividad contra insectos y ácaros. Finalmente, surgió el cetoenol, spirotetramat (Figura 2), derivado del ácido tetrámico, cuya actividad es acaricida e insecticida (Bretschneider *et al.*, 2003, Marcic *et al.*, 2011b; Bretschneider *et al.*, 2012). El descubrimiento de estos cetoenoles ejerce su acción inhibiendo la Acetil-CoA carboxilasa interrumpiendo la biosíntesis temprana de ácidos grasos (Figura 3).

Sitio de acción de los acaricidas cetoenólicos

La acetil-CoA carboxilasa (ACC) es una enzima dependiente de la biotina que cataliza la carbonización de acetil-CoA en malonil-CoA utilizando ATP como fuente de energía y bicarbonato como fuente de carbono (Kaundun, 2014). La catálisis depende de la biotina y se desarrolla a través de dos semireacciones separadas, primero se carboxila la biotina y luego por la transferencia del grupo carboxilo de la carboxibiotina al receptor de la Acetil-CoA (Kaundun 2014, Lümmer *et al.*, 2014) (Figura 4).

En los procariotas, cada paso es realizado por distintas subunidades de proteínas, mientras que, en eucariotas, las grandes enzimas ACC multidominio son responsables de toda la reacción catalítica. Los genomas en los mamíferos contienen dos genes que codifican las isoformas ACC1 y ACC2, con diferente localización: ACC1 se encuentra en el retículo endoplásmico de los tejidos lipogénicos, mientras que ACC2 se asocia con mitocondrias (Tong, 2005). La malonil-CoA producida por el citosólico ACC1 se utiliza principalmente para la biosíntesis de ácidos grasos en tejidos lipogénicos. La ACC2 está asociado con las mitocondrias y participa en la regulación de la β -oxidación de ácidos grasos (Abu-Elheiga *et al.*, 2000; Tong y Harwood, 2006). En los insectos y ácaros, los ACC multidominio están codificados por un solo gen (Parvy *et al.*, 2012; Demaeght *et al.*, 2013), con el dominio de biotina carboxilasa (BC) codificado catalizando el primer paso de la reacción, y el segundo paso mediado por el dominio codificado de carboxiltransferasa (CT) (Tong, 2013; Tong, 2017; Adesanya *et al.*, 2021). En los ácaros fitófagos, los

lípidos son una fuente importante de energía esencial para su crecimiento, por lo que los cetoenoles obstruyen el crecimiento de los ácaros al actuar como inhibidores de la biosíntesis de lípidos, evitando la formación de ácidos grasos mediante la inhibición de la acetil CoA-Carboxilasa (ACC) (Bruck *et al.*, 2009; Yu *et al.*, 2015; Horowitz *et al.*, 2020). En la actualidad

los cetoenoles han mostrado efectividad inmediata desde los primeros 3 a 10 días, con una tasa de mortalidad superior al 95 % en adultos, sin embargo, su efecto puede mantenerse hasta por 3 semanas posteriores a la aplicación (Sood *et al.*, 2015; Wang *et al.*, 2018; Çobanoğlu y Güldali, 2019; De Andrade *et al.*, 2020).

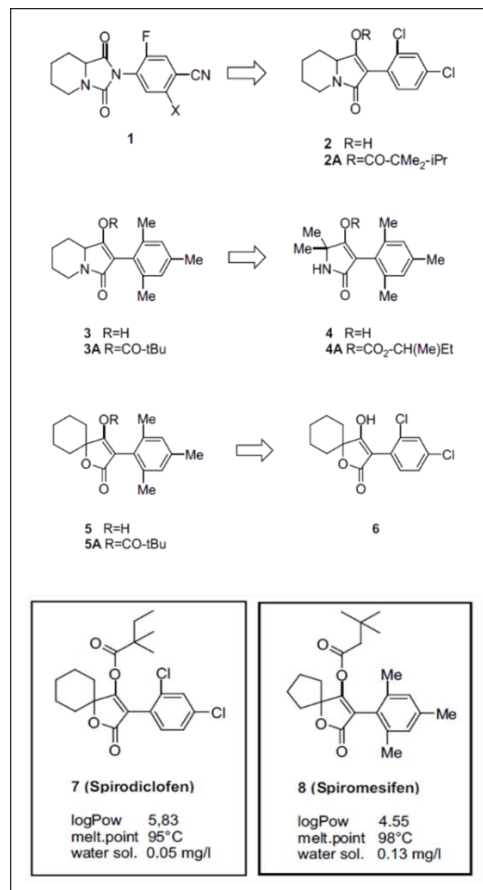


Figura 2. Esquema sobre proceso de síntesis de derivados del ácido tetrónico y tetrámico hasta llegar a la síntesis de spirodiclofen (7) y spiromesifen (8) (Bretschneider *et al.*, 2003).

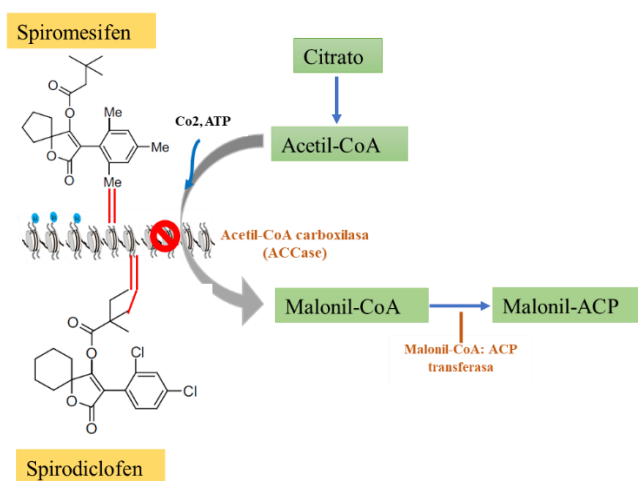


Figura 3. Representación esquemática de la ruta metabólica del mecanismo de acción de los cetoenoles (spiromesifen, spirodiclofen y spitotetramat) inhibiendo la Acetil-CoA carboxilasa (ACC) interrumpiendo la biosíntesis de ácidos grasos (Basada en: Lee *et al.*, 2011; Subramanian *et al.*, 2012).

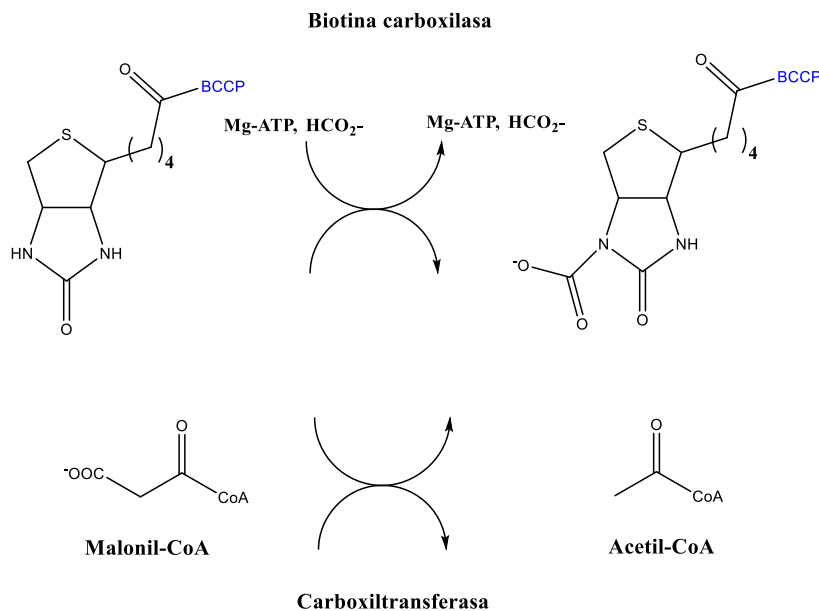


Figura 4. Esquema de reacción catalizada por la Acetil-CoA carboxilasa (ACC) que incluye las dos reacciones parciales, la carboxilación de biotina dependiente de ATP y la transferencia del grupo carboxilo a Acetil-CoA para formar Malonil-CoA (Basada en: Tong, 2005).

Efectividad de los cetoenoles sobre la familia Tetranychidae

Los ácaros fitófagos representan una de las limitantes en cultivos agrícolas en todo el mundo (Zhao *et al.*, 2011; Van Leeuwen *et al.*, 2015; Shen *et al.*, 2021). El control de los ácaros de la familia Tetranychidae se ha convertido en uno de los problemas en la actualidad, por lo que se necesita el uso de acaricidas químicos como los derivados cetoenólicos (spiromesifen, spiroticlofen y spirotetramat) (Zhao *et al.*, 2011; Marcic, 2012; Van Leeuwen *et al.*, 2015; Adesanya *et al.*, 2021; Rocha *et al.*, 2021). En los últimos años se ha estudiado el efecto de estos acaricidas en la supresión de la densidad poblacional en campo en numerosos cultivos hortícolas y frutales, donde se ha visto una efectividad de los cetoenoles superior al 90 % en adultos e inmaduros a los 3 días, manteniendo su efecto hasta por 21 días después de la aplicación, reduciendo significativamente la infestación de adultos e inmaduros de la familia Tetranychidae (Sood *et al.*, 2015; Wang *et al.*, 2018; Çobanoğlu y Güldali, 2019; Singh *et al.*, 2020). Para el caso del spiromesifen y spiroticlofen, su uso ha sido principalmente en frutales y hortalizas en el manejo de *Tetranychus*, *Oligonychus*, *Panonychus* y *Eutetranychus* (Marcic *et al.*, 2011a; Zanardi *et al.*, 2015a; De Andrade *et al.*, 2020). Para el caso de spirotetramat, este compuesto se ha usado en una amplia gama de cultivos, desde hortícolas, frutícolas y cultivos de granos básicos para el manejo no sólo de ácaros, sino también de insectos

fitófagos (Georgescu *et al.*, 2017; Azar *et al.*, 2024). Estos estudios han demostrado la efectividad de los cetoenoles en el control de ácaros plaga en una amplia gama de cultivos, pero de igual manera, se ha podido observar que *T. urticae* es el ácaro más devastador, ya que se hospeda en más de 1100 especies de plantas afectando cultivos importantes que incluyen vegetales y frutas (Talib *et al.*, 2023). En la actualidad *T. urticae* se encuentra como la especie plaga de gran importancia, ya que ha desarrollado resistencia a varios compuestos químicos (Sparks *et al.*, 2020), por lo cual es una especie difícil de controlar, sin embargo, el uso de acaricidas cetoenólicos aun muestran efectividad cuando estos se usan en condiciones de invernadero o campo (Tabla 1).

La efectividad de los acaricidas cetoenólicos se basa en que afectan los procesos de síntesis de lípidos en adultos e inmaduros (Lümmen *et al.*, 2014; De Rouck *et al.*, 2023). Se ha observado que los acaricidas cetoenólicos son eficaces contra huevos, ninfas y adultos (Wang *et al.*, 2018; Çobanoğlu *et al.*, 2019). Además, se ha podido observar que estos acaricidas tienen buen efecto residual y que su efecto puede prolongarse hasta por varias semanas después de la aplicación, manteniendo bajas las densidades poblacionales de ácaros en cultivos de campo e invernadero (Schmidt-Jeffris *et al.*, 2021; Cua-Basulto *et al.*, 2021, 2022). Derivado de su alta efectividad los acaricidas cetoenólicos se han sugerido como una alternativa dentro del manejo integrado de plagas (López-Manzanares *et al.*, 2022).

Tabla 1. Estudios sobre la efectividad de los cetoenoles en la reducción de la densidad poblacional de ácaros fitófagos en invernadero y campo.

Especie de ácaro/cultivo	Ingrediente activo y dosis	Efectividad (%) Protección (días)	Tipo de estudio	Referencia
<i>Tetranychus urticae</i> / Fresa	Spirodiclofen (96 g I.A/ha ⁻¹)	> 85 % Protección: 7-21 d	Campo	Raudonis, 2006
<i>Tetranychus urticae</i> /Pepino	Spirodiclofen (67.2 g I.A/ha ⁻¹)	> 95 % Protección: 6 y 10 d	Invernadero	Marcic <i>et al.</i> , 2009
<i>Panonychus ulmi</i> / Manzana	Spirodiclofen (144 g I.A/ha ⁻¹)	> 95 % Protección: 7-38 d	Campo	Marcic <i>et al.</i> , 2009
<i>Panonychus ulmi</i> / Manzana	Spirodiclofen (96 g I.A/ha ⁻¹)	> 95 % Protección: 14-47 d	Campo	Marcic <i>et al.</i> , 2011a
<i>Tetranychus urticae</i> / Pepino	Spirodiclofen (96 g I.A/ha ⁻¹)	> 95 % Protección: 6-10 d	Invernadero	Marcic <i>et al.</i> , 2011a
<i>Eutetranychus banksi</i> / Naranja	Spirodiclofen (60 g I.A/ha ⁻¹)	> 35 % Protección: 1-3 d	Campo	Zanardi <i>et al.</i> , 2015a
<i>Panonychus citri</i> / Naranja	Spirodiclofen (60 g I.A/ha ⁻¹)	> 45 % Protección: 1-3 d	Campo	Zanardi <i>et al.</i> , 2015a
<i>Tetranychus urticae</i> / Fresa	Spirodiclofen (40.5 g I.A/ha ⁻¹)	> 85 % Protección: 1-7 d	Campo	Wang <i>et al.</i> , 2018
<i>Oligonychus ilicis</i> / Manzana	Spirodiclofen (48.0 g I.A/ha ⁻¹)	> 80 % Protección: 3-10 d	Campo	De Andrade <i>et al.</i> , 2020
<i>Tetranychus urticae</i> / Calabaza	Spiromesifen (96 g I.A/ha ⁻¹)	> 90% Protección: 1-14 d	Campo	Srinivasa Reddy and Pushpa latha, 2013.
<i>Tetranychus urticae</i> / Pepino	Spiromesifen (192 g I.A/ha ⁻¹)	> 85% Protección: 1-14 d	Invernadero	Srinivasa <i>et al.</i> , 2014.
<i>Tetranychus urticae</i> / Berenjena	Spiromesifen (100 g I.A/ha ⁻¹)	> 85% Protección: 7 y 14 d	Campo	Kavya <i>et al.</i> , 2015
<i>Tetranychus urticae</i> /Abelmosco	Spiromesifen (100 g I.A/ha ⁻¹)	> 85% Protección: 1-10 d	Campo	Krishna <i>et al.</i> , 2016.
<i>Tetranychus urticae</i> / Tomate	Spiromesifen (80 g I.A/ha ⁻¹)	> 100%. Protección: 1-7 d	Invernadero	Phakun <i>et al.</i> , 2017
<i>Tetranychus urticae</i> / Berenjena	Spiromesifen (96 g I.A/ha ⁻¹)	Supresión poblacional Protección: 3-10 d	Campo	Baladhiya <i>et al.</i> , 2018
<i>Tetranychus urticae</i> / Ginseng indio	Spiromesifen (240 g I.A/ha ⁻¹)	Supresión poblacional Protección: 5-15 d	Campo	Hirekurubar <i>et al.</i> , 2018
<i>Tetranychus urticae</i> / Abelmosco	Spiromesifen (120 g I.A/ha ⁻¹)	Supresión poblacional Protección: 3-14 d	Campo	Singh <i>et al.</i> , 2020.
<i>Tetranychus urticae</i> / Frijol	Spiromesifen (192 g I.A/ha ⁻¹)	> 85% Protección: 3-14 d	Campo	RajashekhaRappa <i>et al.</i> , 2023

I.A: Ingrediente Activo

En este sentido los acaricidas cetoenólicos son de lo más utilizados y que han mostrado eficacia en diferentes cultivos, logrando controlar ácaros fitófagos. En estudios previos se ha demostrado que spirodiclofen ha mostrado efectividad en cultivos especialmente en hortalizas y frutales, controlando varias especies de ácaros como *T. urticae*, *E. banksi*, *P. ulmi*, *P. citri* y *O. ilicis*, donde se ha visto su eficacia superior al 85 % y su efecto puede mantenerse del día 1 hasta por 21 días después de su aplicación cuando estas se encuentran en condiciones de invernadero y campo (Raudonis, 2006; Marcic *et al.*, 2011a; Zanardi *et al.*, 2015, De Andrade *et al.*, 2020). Para spiromesifen, su uso ha sido en frutales y hortalizas, logrando controlar a *T. urticae* en invernadero y

campo, mostrando una efectividad mayor al 85% y su efecto puede mantener al día 1 hasta día 14 después de la aplicación. Los acaricidas cetoenólicos han demostrado que se pueden seguir usándose ya que ofrecen una opción eficaz para el manejo de ácaros (Srinivasa *et al.*, 2014; Baladhiya *et al.*, 2018; RajashekhaRappa *et al.*, 2023), donde se ha observado que cuando se aplican los acaricidas cetoenólicos a dosis mínimas (40.5 g I.A/ha⁻¹) para spirodiclofen y spiromesifen (80 g I.A/ha⁻¹) su efectividad no se ve comprometida, logrando así reducir la densidad poblacional (Phakun *et al.*, 2017; Wang *et al.*, 2018). De igual manera, los acaricidas cetoenólicos pueden utilizarse en cultivos frutales como manzanas, naranja o fresas (Zanardi *et al.*, 2015a Wang *et al.*, 2018; De

Andrade *et al.*, 2020) y en cultivos hortícolas como tomate, berenjena y frijol (Phakun *et al.*, 2017; Baladhiya *et al.*, 2018; RajashekhaRappa *et al.*, 2023). Por otra parte, para el uso de los acaricidas cetoenólicos se deben tomar ciertas recomendaciones, 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.*, 2021).

Mecanismos de resistencia de los ácaros fitófagos a los cetoenoles

Los ácaros destacan por ser los artrópodos con mayor número de casos de resistencia a plaguicidas en el mundo (Marcic 2012, Van Leeuwen *et al.*, 2015). Hasta el 2021 se ha registrado resistencia a 96 ingredientes activos para *T. urticae* y a 48 ingredientes activos para *P. ulmi* (Adesanya *et al.*, 2021). En general en insectos y ácaros, cerca del 90% de los casos relacionados a resistencia es causado por una desintoxicación mediada por enzimas (resistencia metabólica) y por insensibilidad en el sitio de acción (resistencia al sitio de acción) (Van Leeuwen *et al.*, 2009; Adesanya *et al.*, 2021). La resistencia metabólica es el tipo de resistencia más habitual en

insectos y ácaros ya que se produce cuando un insecticida o acaricida puede ser metabolizado y transformado en productos menos tóxicos, esto se debe a los niveles elevados de actividad enzimática que contribuyen a disminuir la dosis efectiva de un insecticida o acaricida evitando que llegue a su sitio de acción (Hemingway 2000; Ranson *et al.*, 2002; Panini *et al.*, 2016; Adesanya *et al.*, 2021). Otro de los mecanismos de resistencia a insecticidas o acaricidas es debido a la insensibilidad del sitio de acción que a menudo ha demostrado cambios estructurales por mutaciones puntuales de genes que codifican proteínas que interactúan con los insecticidas/acaricidas, lo que provoca una menor afinidad al tóxico (Van Leeuwen *et al.*, 2009; Liu, 2015; Adesanya *et al.*, 2021). Para el caso de especies de ácaros de la familia Tetranychidae, la resistencia a acaricidas cetoenólicos ha sido mediada por enzimas de desintoxicación, a la fecha se sabe que hay pocos casos reportados de resistencia mediada por insensibilidad en el sitio de acción, sin embargo, un estudio realizado por Wybouw *et al.* (2019), reporta la resistencia a spirodiclofen, donde menciona que una cepa de *T. urticae* proveniente de campo presentó una resistencia en las mutaciones (A1079T) puntuales en la acetil-CoA carboxilasa (ACC). (Tabla 2).

Tabla 2. Mecanismos de resistencia a acaricidas cetoenólicos en ácaros fitófagos.

Especie de ácaro	Ingrediente activo	Tipo de resistencia	Obtención de cepas	Referencia
<i>Tetranychus urticae</i>	Spirodiclofen	Metabólica: Esterasas, P-450 monoxigenasas y glutatión S-transferasas	Laboratorio	Van Pottelberge <i>et al.</i> , 2009
<i>Tetranychus urticae</i>	Spiromesifen	Metabólica: Esterasas, P-450 monoxigenasas y glutatión S-transferasas	Invernadero	Khajehali <i>et al.</i> , 2011
<i>Tetranychus urticae</i>	Spiromesifen	Metabólica: Esterasas y P-450 monoxigenasas	Invernadero	Yorulmaz and Kaplan 2014
<i>Tetranychus urticae</i>	Spirodiclofen	Metabólica: Esterasas	Invernadero	Turan <i>et al.</i> , 2016
<i>Tetranychus urticae</i>	Spirodiclofen	Metabólica: Esterasas	Invernadero	Yorulmaz and Kocaman, 2017
<i>Tetranychus urticae</i>	Spirodiclofen	Metabólica: Esterasas y P-450 monoxigenasas	Invernadero	Farahani <i>et al.</i> , 2018
<i>Tetranychus urticae</i>	Spirodiclofen	Mutación en sitio de acción: gen (A1079T) en la Acetil CoA-Carboxilasa	Laboratorio	Wybouw <i>et al.</i> , 2019
<i>Panonychus ulmi</i>	Spiromesifen	Metabólica: Esterasas, P-450 monoxigenasas y glutatión S-transferasas	Campo	Badieinia <i>et al.</i> , 2020
<i>Panonychus ulmi</i>	Spirodiclofen	Metabólica: Esterasas, P-450 monoxigenasas y glutatión S-transferasas	Campo	Badieinia <i>et al.</i> , 2020
<i>Tetranychus urticae</i>	Spirodiclofen	Metabólica: P-450 monoxigenasas y glutatión S-transferasas	Invernadero	Papapostolou <i>et al.</i> , 2021
<i>Panonychus citri</i>	Spirodiclofen	Metabólica: Esterasas y P-450 monoxigenasas	Campo	Cheng <i>et al.</i> , 2022

La resistencia metabólica en los ácaros fitófagos surge al aumento en la actividad de enzimas de desintoxicación que incluyen a los sistemas P-450 monooxigenasas, esterasas y glutatión S-transferasas (Della *et al.*, 2021; Inak *et al.*, 2023). Estudios realizados por Van Pottelberge *et al.* (2009) evaluaron cepas de *T. urticae* provenientes de cultivos hortícolas, donde se expusieron a aplicaciones de spiroticlofen. Estos estudios demostraron que las enzimas P-450 monooxigenasas, las esterasas y las glutatión S-transferasas están implicadas en la desintoxicación metabólica de spiroticlofen. De manera similar Turan *et al.* (2016) y Farahani *et al.* (2018) evaluaron la resistencia de *T. urticae* por efecto de spiroticlofen, en cultivos hortícolas, donde los resultados revelan que las poblaciones presentaron una mayor cantidad de enzimas de desintoxicación (esterasas y P-450 monooxigenasas). La resistencia a spiromesifen es otro de los casos más estudiados en los cetoenoles; Khajehali *et al.* (2011) y Yorulaz y Kaplan (2014) evaluaron poblaciones de *T. urticae* en cultivos hortícolas, donde observaron que éstas fueron resistentes a spiromesifen debido a que presentaron mayor actividad enzimática como las esterasas, P-450 monooxigenasas y las glutatión S-transferasas. Recientemente, Badieinia *et al.* (2020) evaluaron la resistencia de *Panonychus ulmi* a spiroticlofen y spiromesifen, provenientes de cultivos frutícolas, donde se pudo observar que las poblaciones resistentes presentaban alta actividad de enzimas de los sistemas enzimáticos de desintoxicación, esterasas, P-450 monooxigenasas y glutatión S-transferasas.

En los últimos años, se ha estudiado ampliamente los mecanismos metabólicos que dan lugar a la resistencia a los acaricidas cetoenólicos. Se ha documentado que existen múltiples genes que están asociados a las enzimas de desintoxicación (P-450 monooxigenasas, esterasas y glutatión S-transferasas) (De Rouck *et al.*, 2023). Por ejemplo, el gen CYP se ha asociado con las enzimas P-450 monooxigenasas, dando lugar a que estos multigenes se sobreexpresen, logrando que las enzimas de desintoxicación se sinteticen más fácilmente (Adesanya *et al.*, 2018; Cheng *et al.*, 2022). De igual manera, se ha demostrado que múltiples genes relacionados a las enzimas esterasas (CarEs) y las enzimas glutatión S-transferasas (TuGST), se sobreexpresan y que participan positivamente en la desintoxicación y resistencia a los acaricidas (Feng *et al.*, 2019; Wei *et al.*, 2016, 2020), lo que da como resultado que los metabolitos resultantes sean menos tóxicos, creando así poblaciones de ácaros fitófagos multiresistentes a los acaricidas (Pavlidis *et al.*, 2017; Riga *et al.*, 2014; Fotoukiai *et al.*, 2021; De Beer *et al.*, 2022).

CONCLUSIONES

Los acaricidas cetoenólicos tienen un gran potencial para el control de ácaros fitófagos de la familia Tetranychidae, incluyendo las especies de los géneros *Tetranychus*, *Panonychus* y *Oligonychus*. ya que se ha visto su efectividad en cultivos frutales y hortícolas cuando son aplicados en condiciones de invernadero y campo. Sin embargo, el uso continuo de acaricidas cetoenólicos ha seleccionado poblaciones de ácaros resistentes, causado principalmente por enzimas de desintoxicación (resistencia metabólica), como las esterasas, P-450 monooxigenasas y glutatión S-transferasas. La resistencia por insensibilidad en el sitio de acción se sabe que hay pocos casos reportados, lo cual no se considera que pudiera comprometer el rendimiento de estos cetoenoles en campo. Los ácaros fitófagos utilizan las enzimas de desintoxicación para metabolizar los acaricidas cetoenólicos, por lo tanto, se puede considerar el desarrollo de nuevas estrategias de control, como la buena cobertura en las aspersiones y rotación con ingredientes activos de otros grupos toxicológicos.

Funding. The authors thank CONACYT México for the scholarship awarded to Marcos Cua Basulto. Scholarship postdoctoral number 4923351 and thank to CINESTAV-IPN unit Mérida

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

Compliance with ethical standards. It does not apply.

Data availability. Data is available upon reasonable request to the corresponding author: ehernandez@itescam.edu.mx

Author contribution statement (CRediT). **M. Cua-Basulto-** Conceptualization, supervision, writing - review and editing., **E. Hernández-Núñez-** Conceptualization, supervision, writing – review and editing., **E. Ruiz Sánchez-** Conceptualization, supervision of manuscript, and writing review. **D.A. Dzib-Cauich-** Conceptualization, writing review and editing.

REFERENCES

- Adesanya, A.W., Franco, E., Walsh, D.B., Lavine, M., Lavine, L. and Zhu, F., 2018. Phenotypic and Genotypic Plasticity of Acaricide Resistance in Populations of *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) on Peppermint and Silage Corn in the Pacific Northwest. *Journal of Economic Entomology*, 111(6), pp. 2831-2843. <https://doi.org/10.1093/jee/toy303>

- Adesanya, A.W., Beauchamp, M.J., Lavine, M.D., Lavine, L.C., Zhu, F. and Walsh, D.B., 2019. Physiological resistance alters behavioral response of *Tetranychus urticae* to acaricides. *Scientific Reports*, 9, pp. 19308. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-55708-4>
- Adesanya, A.W., Lavine, M.D., Moural, T.W., Lavine, L.C., Zhu, F. and Walsh, D.B., 2021. Mechanisms and management of acaricide resistance for *Tetranychus urticae* in agroecosystems. *Journal of Pest Science*, 94(3), pp. 639–663. <https://doi.org/10.1007/s10340-021-01342-x>
- Abu-Elheiga, L., Brinkley, W.R., Zhong, L., Chirala, S.S., Woldegiorgis, G. and Wakil, S.J., 2000. The subcellular localization of Acetyl-CoA carboxylase 2. *Proceedings of the National Academy of Science*, 97(4), pp. 1444–1449. <https://doi.org/10.1073/pnas.97.4.1444>
- Alfaro-Valle, E., Martínez-Hernández, A., Otero-Colina, G. and Lara-Reyna, J., 2022. High susceptibility of *Tetranychus merganser* (Acari: Tetranychidae), an emergent pest of the tropical crop *Carica papaya*, towards *Metarhizium anisopliae* s.l. and *Beauveria bassiana* strains. *PeerJ*, 10, pp. e14064 <http://doi.org/10.7717/peerj.14064>
- Azar, S.F., Gheibi, M., Hesami, S. and Ostovan, H., 2024. Lethal and sub-lethal effects of the insecticide spirotetramat on the life table parameters of the wheat aphid, *Schizaphis graminum* (Rondani) and its predator *Hippodamia variegata* Goeze. *International Journal of Tropical Insect Science*, 44, pp 807–819 <https://doi.org/10.1007/s42690-024-01187-8>
- Badieinia, F., Khajehali, J., Nauen, R., Dermauw, W. and Van Leeuwen, T., 2020. Metabolic mechanisms of resistance to spirotetramat and spiromesifen in Iranian populations of *Panonychus ulmi*. *Crop Protection*, 134, pp. 105166. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2020.105166>
- Badii, M.H., Landeros, J. and Cerna, E., 2010. Regulación Poblacional de Ácaros Plaga de Impacto Agrícola (Population Regulation of Pest Mites of Agricultural Significance). *Daena: International Journal of Good Conscience*, 5(1), pp. 270–302. [http://www.spentamexico.org/v5-n1/5\(1\)270-302.pdf](http://www.spentamexico.org/v5-n1/5(1)270-302.pdf) (Consulta 4-enero-2024).
- Baladhiya, H.C., Patel, N.B., Joshi, V.I. and Acharya, R.R., 2018. Bio-efficacy of Spiromesifen 22.9 SC against Brinjal Mite, *Tetranychus urticae* Koch. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7(7), pp. 1650–1656. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.707.193>
- Botero-Posada, S.A., Álvarez-Del Castillo, X. and Ríos-Osorio, L.A., 2023. Sustainability in rural agri-food systems based on the understanding of their structural and functional characteristics: A systematic review. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 26(2), pp. #065. <http://dx.doi.org/10.56369/tsaes.4783>
- Bretschneider, T., Benet-Buchholz, J., Fischer, R. and Nauen, R., 2003. Spirodiclofen and spiromesifen- novel acaricidal and insecticidal tetrone acid derivatives with a new mode of action. *CHIMIA International Journal for Chemistry*, 57(11), pp. 697–701. <https://doi.org/10.2533/00094290377678588>
- Bretschneider, T., Fischer, R., and Nauen, R., 2012. Tetrone 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>
- Brück, E., Elbert, A., Fischer, R., Krueger, S., Kühnhold, J., Klueken, A., Nauen, R., Niebes, J.F., Reckmann, U., Schnorbach, H.J., Steffens, R. and Van Waetermeulen, X., 2009. Movento®, an innovative ambimobile insecticide for sucking insect pest control in agriculture: Biological profile and field performance. *Crop Protection*, 28(10), pp. 838–844. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2009.06.015>
- Brust, G.E., and Gotoh, T., 2018. Mites: biology, ecology, and management. In: Wakil W, Brust GE, Perring TM (eds.) *Sustainable Management of Arthropod Pests of Tomato*. Elsevier, London, pp.111–130. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802441-6.00005-X>
- CAB International. 2018. *Tetranychus urticae* (two-spotted spider mite). En línea: <https://www.cabi.org/isc/datasheet/53366> (Consulta 04-marzo- 2024).

- Çobanoğlu, S and Güldali, K.B., 2019. Toxicity of spiromesifen on different developmental stages of two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae). *Persian Journal of Acarology*, 8(1), pp. 57-68. <http://dx.doi.org/10.22073/pja.v8i1.39155>
- Cheng, L.Y., Hou, D.Y., Sun, Q.Z., Yu, S.J., Li, S.C., Liu, H.Q., Cong, L. and Ran, R., 2022. Biochemical and Molecular Analysis of Field Resistance to Spirodiclofen in *Panonychus citri* (McGregor). *Insects*, 13(11), pp.1011. <https://doi.org/10.3390/insects13111011>
- Chinniah, C., Naveena, K., Irulandi S. and Shanthi, M., 2021. Field efficacy of acaricides against citrus leaf mite *Panonychus citri* McGregor on acid lime. *Indian Journal of Entomology*, 83(3), pp. 385-387. <https://doi.org/10.5958/0974-8172.2020.00221.7>
- Cua-Basulto, M.E., Ruiz-Sánchez, E., Pérez-Gutiérrez, A., Martín-Mex, R., Nexticapán-Garcéz, Á. and Pérez-Brito, D., 2021. Effects of Acaricides on *Oligonychus* sp. and Compatibility with Predatory Mites *Neoseiulus californicus* and *Phytoseiulus persimilis*. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 128, pp.1617-1625. <https://doi.org/10.1007/s41348-021-00544-w>
- Cua-Basulto, M.E., Ruiz-Sánchez, E., Chan-Cupul, W., Reyes-Ramirez, A., Ballina-Gómez, H. and Hernández Núñez, E., 2022. Efecto de acaricidas químicos en la mortalidad de la araña roja *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae). *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 25, pp. #040. <https://www.revista.ccba.uady.mx/ojs/index.php/TSA/article/view/3964/1768> (Consulta 10-noviembre- 2023).
- Dar, M.Y., Rao, R.J., Ramegowda, G.K. and Mittal, V., 2015. Biology and Demographic Parameters of European Red Mite, *Panonychus ulmi* Koch (Acari: Tetranychidae) on Mulberry in Kashmir Valley, India. *International Journal of Zoological Research*, 11 (3) pp. 76-88. <https://doi.org/10.3923/ijzr.2015.76.88>
- De Andrade, D.J., Da Rocha, C.M., De Matos, S.T.S. and Zanardi, OZ., 2020. Oxydemeton-methyl-based bioacaricide as a management tool against *Oligonychus ilicis* (McGregor) (Acari: Tetranychidae) in coffee. *Crop Protection*, 134, pp. 105182. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2020.105182>
- De Beer, B., Vandenhoe, M., Njiru, C., Spanoghe, P., Dermauw, W. and Van Leeuwen, T., 2022. High-Resolution Genetic Mapping Combined with Transcriptome Profiling Reveals That Both Target-Site Resistance and Increased Detoxification Confer Resistance to the Pyrethroid Bifenthrin in the Spider Mite *Tetranychus urticae*. *Biology*, 11 (11), pp. 1630. <https://doi.org/10.3390/biology11111630>
- De Rouck, S., Inak, E., Dermauw, W. and Van Leeuwen, T., 2023. A review of the molecular mechanisms of acaricide resistance in mites and ticks. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, 159, pp. 103981. <https://doi.org/10.1016/j.ibmb.2023.103981>
- Dekeyser, M.A., 2005. Review. Acaricide mode action. *Pest Management Science*, 61(2), pp. 103-110. <https://doi.org/10.1002/ps.994>
- Della, V.J.F., Van Leeuwen, T., Rossi, G.D. And Andrade, D.J., 2021. The role of detoxification enzymes in the susceptibility of *Brevipalpus californicus* exposed to acaricide and insecticide mixtures. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 175, pp. 104855. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2021.104855>
- Demard, E. and Qureshi, J.A., 2022. The Citrus Red Mite (*Panonychus citri*): A Pest of Citrus Crops. *University of Florida*, pp. ENSY2081. <https://doi.org/10.32473/edis-in1367-2022>
- Demaeght, P., Dermauw, W., Tsakireli, D., Khajehali, J., Nauen, R., Tirry, L., Vontas, J., Lümmer, P. and Van Leeuwen, T., 2013. Molecular analysis of resistance to acaricidal spirocyclic tetrone acids in *Tetranychus urticae*: CYP392E10 metabolizes spirodiclofen, but not its corresponding enol. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, 43(6), pp. 544-554. <https://doi.org/10.1016/j.ibmb.2013.03.007>
- Díaz-Arias, K.V., Rodríguez-Maciél, J.C., Lagunes-Tejeda, A., Aguilar-Medel, S., Tejeda-Reyes, M.A. and Silva-Aguayo, G., 2019. Resistance to abamectin in field population of *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) associated with cut rose from state of México, México. *Florida Entomologist*, 102(2), pp. 428-430. <https://doi.org/10.1653/024.102.0222>

- Dos Santos, A., Teixeira, V.A., Peres, F.O., Serafin, M.E., Neto, M.P. and Da Cunha Oliveira, C.A., 2014. Primeiro registro de *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) em mudas de teca no Brasil. *Brazilian Journal of Forestry Research*, 34(78), pp. 165-167. <https://doi.org/10.4336/2014.pfb.34.78.603>.
- Farahani, S., Bandani, A. and Eslami, S., 2018. Comparison of susceptibility of two Iranian populations of *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) to spirotetramat. *Persian Journal of Acarology*, 7(3), pp. 279-287. <http://dx.doi.org/10.22073/pja.v7i3.36682>
- Fasulo, T.R. And Denmark, H.A., 2000. Two spotted Spider Mite, *Tetranychus urticae* Koch (Arachnida: Acari: Tetranychidae). Entomology and Nematology Department, Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida, pp.1-5. https://entnemdept.ufl.edu/creatures/orn/twospotted_mite.htm (Consulta 13-feb-2024)
- Feng, K., Yang, Y., Wen, X., Ou, S., Zhang, P., Yu, Q., Zhang, Y., Shen, G., Xu, Z., Li, J. and He, L., 2019. Stability of cyflumetofen resistance in *Tetranychus cinnabarinus* and its correlation with glutathione-S-transferase gene expression. *Pest Management Science*, 75, pp. 2802-2809. <http://dx.doi.org/10.1002/ps.5392>
- Ferreira, C.B.S., Andrade, F.H.N., Rodrigues, A.R.S., Siquiera, H.A.A., and Gondim Jr, M.G.C., 2015. Resistance in field populations of *Tetranychus urticae* to acaricides and characterization of the inheritance of abamectin resistance. *Crop Protection*, 67, pp. 77-83. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2014.09.022>
- Fotoukiai, S.M., Wybouw, N., Kurlavs, A.H., Tsakireli, D., Pergantis, S.A., Clark, R.M., Vontas, J. and Van Leeuwen, T., 2021. High-resolution genetic mapping reveals cis-regulatory and copy number variation in loci associated with cytochrome P450-mediated detoxification in a generalist arthropod pest. *PLoS Genetics*, 17, pp. e1009422. <https://doi.org/10.1371/journal.pgen.1009422>
- Gerson, U. and Weintraub, P.G., 2007. Mites for the control of pests in protected cultivation. *Pest Management Science*, 63(7), pp. 658-676. <https://doi.org/10.1002/ps.1380>
- Georgescu, E., Caña, L. and Rasnoveanu, L., 2017. Results concerning testing of the spirotetramat active ingredient for controlling of two spotted spider mite (*Tetranychus urticae* Koch) at soybean crop in south-east of the Romania. *Lucrări Științifice*, 60(1), pp. 103-108. <https://repository.iuls.ro/xmlui/handle/20.500.12811/867> (Consulta 5-enero-2024)
- Golec, J.R., Hoge, B. and Walgenbach, J.P., 2020. Effect of biopesticides on different *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) life stages. *Crop Protection*, 128, pp. 105015. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2019.105015>
- Hemingway, J., 2000. The molecular basis of two contrasting metabolic mechanisms of insecticide resistance. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, 30(11), pp. 1009-1015. [https://doi.org/10.1016/S0965-1748\(00\)00079-5](https://doi.org/10.1016/S0965-1748(00)00079-5)
- Horowitz, R.A., Ghanim, M., Roditakis, M., Nauen, R. and Ishaaya, I., 2020. Insecticide resistance and its management in *Bemisia tabaci* species. *Journal of Pest Science*, 93(12), pp. 893-910. <https://doi.org/10.1007/s10340-020-01210-0>
- Inak, E., Alpkent, Y.N., Çobanoğlu, S., Toprak, U. and Van Leeuwen, T., 2022. Incidence of spiromesifen resistance and resistance mechanisms in *Tetranychus urticae* populations collected from strawberry production areas in Turkey. *Crop Protection*, 160(3), pp. 106049. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2022.106049>
- Inak, E., Demirci, B., Vandenholeb, M., Söylemezoğlu, G., Van Leeuwen, T. and Toprak U., 2023. Molecular mechanisms of resistance to spirotetramat and spiromesifen in *Tetranychus urticae*. *Crop Protection*, 172, pp. 106343. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2023.106343>
- Joshi, N.K., Phan, N.T. And Biddinger, D.J., 2023. Management of *Panonychus ulmi* with Various Miticides and Insecticides and Their Toxicity to Predatory Mites Conserved for Biological Mite Control in Eastern U.S. Apple Orchards. *Insects*, 14(3), pp. 288. <https://doi.org/10.3390/insects14030228>
- Kaundun, S.S., 2014. Resistance to acetyl-CoA carboxylase-inhibiting herbicides. *Pest*

- Management Science*, 70(9), pp. 1405-1417.
<https://doi.org/10.1002/ps.3790>
- Khajehali, J., Van Nieuwenhuysse, P., Demaeght, P., Tirry, L. and Van Leeuwen, T., 2011. Acaricide resistance and resistance mechanisms in *Tetranychus urticae* populations from rose greenhouses in the Netherlands. *Pest Management Science*, 67(11), pp. 1424-1433.
<https://doi.org/10.1002/ps.2191>
- 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>
- Lee, S., Son, H., Lee, J., Min, K., Choi, G.J., Kim, J.C and Lee, Y.W., 2011. Functional Analyses of Two Acetyl Coenzyme A Synthetases in the Ascomycete *Gibberella zeae*. *Eukaryotic Cell*, 10(8), pp. 1043-1052.
<https://doi.org/10.1128/EC.05071-11>
- Liu, Z., Lei, Q., Li, Y., Xiong, L., Song, H. and Wang, Q., 2011. Design, Synthesis, Structure, and Acaricidal/Insecticidal Activity of Novel Spirocyclic Tetronic Acid Derivatives Containing an Oxalyl Moiety. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(23) pp. 12543-12549.
<https://dx.doi.org/10.1021/jf203722z>
- Liu, N., 2015. Insecticide Resistance in Mosquitoes: Impact, Mechanisms, and Research Directions. *Annual Review of Entomology*, 60(1), pp. 537-559.
<https://doi.org/10.1146/annurev-ento-010814-020828>
- López-Manzanares, B., Martínez-Villar, E., Marco-Mancebón, V.S. and Pérez-Moreno, I., 2022. Compatibility of the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* with etoxazole, spirotetramat and spiromesifen against *Tetranychus urticae*. *Biological Control*, 169 pp. 104892.
<https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2022.104892>
- López-Bautista, E., Santillán-Galicia, M.T., Suárez-Espinosa, J., Cruz-Huerta, N., Bautista-Martínez, N. and Alcántara-Jiménez, J.A., 2016. Damage caused by mite *Tetranychus merganser* (Trombidiformes: Tetranychidae) on *Carica papaya* (Violales: Caricaceae) plants and effect of two species of predatory mite. *International Journal of Acarology*, 42(6), pp. 303-309.
<http://dx.doi.org/10.1080/01647954.2016.1184714>
- Lümmen, P., Khajehali, J., Luther, K. and Van Leeuwen, T., 2014. The cyclic keto-enol insecticide spirotetramat inhibits insect and spider mite Acetyl-CoA carboxylases by interfering with the carboxyltransferase partial reaction. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, 55, pp. 1-8.
<https://doi.org/10.1016/j.ibmb.2014.09.010>
- Mahendiran, G. and Ganie, S.A., 2018. Population dynamics, life history and efficacy of acaricides against European red mite, *Panonychus ulmi* (Koch), on almond and apple. *African Entomology*, 26(2), pp. 333-336. <https://doi.org/10.4001/003.026.0333>
- Marcic, D., Mutavdzic, S., Medjo, I., Prijovic, M. and Peric, P., 2011a. Field and greenhouse evaluation of spirotetramat against *Panonychus ulmi* and *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) in Serbia. *Zoosymposia*, 6(1), pp. 93-98.
<https://doi.org/10.11646/zoosymposia.6.1.16>
- Marcic, D., Peric, P., Petronijevic, S., Prijovic, M. and Drobnjakovic, T., 2011b. Cyclic Ketoenols – Acaricides and Insecticides with a Novel Mode of Action. *Pesticides & Phytomedicine*, 26(3), pp. 185-195.
<https://doi.org/10.2298/PIF1103185M>
- 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>
- Phukan, B., Rahman, S. and Bhuyan, K.K., 2017. Effects of botanicals and acaricides on management of *Tetranychus urticae* (Koch) in tomato. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 5(3), pp. 241-246.
<https://www.entomoljournal.com/archives/2017/vol5issue3/PartD/5-2-135-954.pdf> (Consulta 19-enero-2024)
- Parvy, J.P., Napal, L., Rubin, T., Poidevin, M., Perrin, L., Wicker-Thomas, C., Montagne, J. and Beitel, G., 2012. *Drosophila melanogaster* Acetyl-CoA-carboxylase sustains a fatty Acid-- dependent remote signal to waterproof the respiratory system. *PLoS Genet*, 8(8), pp. e1002925.
<https://doi.org/10.1371/journal.pgen.1002925>

- Panini, M., Manicardi, G.C., Moores, G.D. And Mazzoni, E., 2016. An overview of the main pathways of metabolic resistance in insects. *Invertebrate Survival Journal*, 13(1), pp. 326-335. <https://doi.org/10.25431/1824-307X/isj.v13i1.326-335>
- Pavlidis, N., Khalighi, M., Myridakis, A., Dermauw, W., Wybouw, N., Tsakireli, D., Stephanou, E.G., Labrou, N.E., Vontas, J and Van Leeuwen, T., 2016. 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, pp. 101-115. <https://doi.org/10.1016/j.ibmb.2016.12.003>
- Rajashekharappa, K., Ambarish, S., Ramesh, M.M. and Onkarappa, S., 2023. Efficacy of acaricides against red spider mite *Tetranychus urticae* infesting yard long bean. *Indian Journal of Entomology*, 85(2), 400-402. <https://doi.org/10.55446/IJE.2022.793>
- Ranson, H., Claudianos, C., Ortel, F. and Hemingway, J., 2002. Evolution of supergene families associated with insecticide resistance. *Science*, 298, pp. 179-181. <https://doi.org/10.1126/science.1076781>
- Rani, P.S. and Jandial, V.K., 2009. Comparative Biology of Carmine Spider Mite, *Tetranychus Cinnabarinus* Boisduval (Prostigmata: Tetranychidae) Infesting Marigold. *Indian Journal of Entomology*, 71, pp. 334-338. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20113370889> (Consulta 17-enero-2024).
- Raudonis, L.; 2006. Comparative toxicity of spirotetrameth and lambda-cyhalothrin to *Tetranychus urticae*, *Tarsonemus pallidus* and predatory mite *Amblyseius andersoni* in a strawberry site under field conditions. *Agronomy Research*, 4, pp. 317-322. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20063187360> (Consulta 09-diciembre-2023).
- Reyes-Pérez, N., Villanueva-Jiménez, J.A., Vargas-Mendoza, M.C., Cabrera-Mireles, H. and Otero-Colina, G., 2013. Parámetros poblacionales de *Tetranychus merganser* Boudreaux (Acari: Tetranychidae) en papaya (Carica papaya L.) a diferentes temperaturas. *Agrociencia*, 47(2), pp. 147-157. <https://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v47n2/v47n2a4.pdf> (Consulta 14-noviembre-2023).
- 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, pp. 43-53. <https://doi.org/10.1016/j.ibmb.2014.01.006>
- Rincón, R.A., Rodríguez, D. and Coy-Barrera, E., 2019. Botanicals Against *Tetranychus urticae* Koch Under Laboratory Conditions: A Survey of Alternatives for Controlling Pest Mites. *Plants*, 8(8), pp. 272. <https://doi.org/10.3390/plants8080272>
- Rocha, C., Della, V.J., Savi, P., Omoto, C. and Andrade, D., 2021. Resistance to spirotetrameth in *Brevipalpus yothersi* (Acari: Tenuipalpidae) from Brazilian citrus groves: detection, monitoring, and population performance. *Pest Management Science*, 77(7), pp. 3099-3106. <https://doi.org/10.1002/ps.6341>
- Rodríguez, N.S., Ojeda, C.M., Ramirez, S.E. and Barranco, F.J.E., 2022. *Tetranychus merganser* Boudreaux (Acari: Tetranychidae) asociada a *Moringa oleifera* Lam. (Moringaceae) y *Capsicum annuum* L. (Solanaceae) bajo condiciones de invernadero en el sur de la Ciudad de México. *Sociedades rurales, producción y medio ambiente*, 22(43), pp. 76-83. <https://sociedadesruralesojs.xoc.uam.mx/index.php/srpma/article/view/459/430> (Consulta 25-octubre-2023).
- Sparks, T.C., Crossthwaite, A.J., Nauen, R., Banba, S., Cordova, D., Earley, F., Ebbinghaus-Kintscher, U., Fujioka, S., Hirao, A., Karmon, D., Kennedy, R., Nakao, T., Popham, H.J.R., Salgado, V., Watson, G.B., Wedel, B.J. and Wessels, F.J. 2020. Insecticides, biologics and nematocides: Updates to IRAC's mode of action classification - a tool for resistance management. *Pesticide Biochemistry and Physiology*. 167: pp. 104587. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2020.104587>
- Segura-Martínez M.T.J., Ordaz-Silva S., Hernández-Juárez A., Heinz-Castro R.T.Q., Mora-Ravelo, S.G., Chacón-Hernández, J.C., 2023. Life Table Parameters of *Tetranychus merganser* Boudreaux (Acari: Tetranychidae) on Five Host Plants. *Insects*, 14(5), pp. 473. <https://doi.org/10.3390/insects14050473>

- Singh, R.H., Paramjit, K., and Damanpreet., 2020. Bioefficacy of oberon 22.9% (spiromesifen) against red spider mite, *Tetranychus urticae* Koch in okra and effect on its natural enemies. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 8(2) pp. 1740-1743. <https://www.entomoljournal.com/archives/2020/vol8issue2/PartAD/8-2-284-193.pdf> (Consulta 15-octubre-2023).
- Srinivasa, R.D., Nagaraj, R., Pusha, L.M. and Chowdary, R., 2014. Comparative evaluation of novel acaricides against two spotted spider mite. *Tetranychus urticae* koch. infesting cucumber (*Cucumis sativus*) under laboratory and green house conditions. The Bioscan, 9(3). pp.1001-1005. <https://thebioscan.com/index.php/pub/article/view/780/744> (Consulta 11-octubre-2023).
- Shen, N., Li, Y., Leviticus, K., Chang, X.L., Tang, T., Cui, L., Han, Z.J., and Zhao, C.Q., 2021. Effect of broflanilide on the phytophagous mite *Tetranychus urticae* and the predatory mite *Typhlodromips swirskii*. *Pests Management Science*, 77, pp. 2964-2970. <https://doi.org/10.1002/ps.6335>
- Sood, A.K., Sood, S. and Singh, V., 2015. Efficacy evaluation of spiromesifen against red spider mite, *Tetranychus urticae* Koch on parthenocarpic cucumber under protected environment. *An International Quarterly Journal of Life Sciences*, 10(3), pp. 963-966. <https://thebioscan.com/index.php/pub/article/view/1283> (Consulta 11-noviembre-2023).
- Schmidt-Jeffris, R., Coffey, J.L., Miller, G. and Farran, M., 2021. Residual Activity of Acaricides for Controlling Spider Mites in Watermelon and Their Impacts on Resident Predatory Mites. *Journal of Economic Entomology*, 114(2), pp. 818-827. <https://doi.org/10.1093/jee/toaa320>
- Subramanian, V., Dubini, A., and Seibert, M., 2012. Metabolic Pathways in Green Algae with Potential Value for Biofuel Production. Gordon R. and Seckbach J., eds. In *The Science of Algal Fuels. Cellular Origin, Life in Extreme Habitats and Astrobiology*, Dordrecht: Springer. pp 399-422. https://doi.org/10.1007/978-94-007-5110-1_22
- Talib, Y.J., Abass, M.H. and Thamer, N.K. 2023. Efficiency of some jasmonic acid concentrations on mortality of two-spotted spider mite *Tetranychus urticae* Koch on eggplant. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 1225(1), pp. 012065. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1225/1/012065>
- Tong, L., 2005. Acetyl-coenzyme A carboxylase: crucial metabolic enzyme and attractive target for drug discovery. *Cellular and Molecular Life Science*, 62(16), pp. 1784-1803. <https://doi.org/10.1007/s00018-005-5121-4>
- Tong, L. and Harwood, H.J., 2006. Acetyl-coenzyme A carboxylases: Versatile targets for drug discovery. *Journal Cellular Biochemistry*, 99(6), pp. 1476-1488. <https://doi.org/10.1002/jcb.21077>
- Tong, L., 2013. Structure and function of biotin-dependent carboxylases. *Cellular and Molecular Life Science*, 70(5), pp. 863-891. <https://doi.org/10.1007/s00018-012-1096-0>
- Tong, S.M. and Feng, M.G., 2016. Laboratory and field evaluations of camptothecin sodium salt against phytophagous mites. *Pest Management Science*, 72 (3), pp. 629-636. <https://doi.org/10.1002/ps.4033>
- Tong, L., 2017. Striking Diversity in Holoenzyme Architecture and Extensive Conformational Variability in Biotin-Dependent Carboxylases. *Advances in Protein Chemistry and Structural Biology*, 109, pp. 161-194. <https://doi.org/10.1016/bs.apcsb.2017.04.006>
- Turan, I., Yorulmaz, S.S. And Ay, R., 2016. Antalya İli Kumluca İlçesi Kavun Seralarından Toplanan *Tetranychus urticae* (Koch) (Acari: Tetranychidae) Popülasyonlarının Abamectin ve Spirodiclofen'e Karşı Direnç Düzeyleri. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7(1), pp. 254-261. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/234234> (Consulta 23-octubre-2023).
- Van Pottelberge, S., Van Leeuwen, T., Khajehali, J. and Tirry, L., 2009. Genetic and biochemical analysis of a laboratory-selected spirodiclofen-resistant strain of *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae). *Pest Management Science*, 65(4), pp. 358-366. <https://doi.org/10.1002/ps.1698>
- Van Leeuwen, T., Vontas, J., Tsagkarakou, A. and Tirry, L., 2009. Mechanisms of Acaricide Resistance in the Two-Spotted Spider Mite *Tetranychus urticae*. Ishaaya I and Horowitz AR., eds. In *Biorational Control of Arthropod Pests. Springer Science+Business Media*, pp.

- 347-393. https://doi.org/10.1007/978-90-481-2316-2_14
- Van Leeuwen, T., Vontas, J., Tsagkarakou, A., Dermauw, W. and 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), pp. 563-572. <https://doi.org/10.1016/j.ibmb.2010.05.008>
- 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 and Physiology*, 121, pp. 12-21. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2014.12.009>
- 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, pp. 63-68. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.07.058>
- Wei, P., Shi, L., Shen, G., Xu, Z., Liu, J., Pan, Y. and He, L., 2016. Characteristics of carboxylesterase genes and their expression-level between acaricide-susceptible and resistant *Tetranychus cinnabarinus* (Boisduval). *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 131, pp. 87-95. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2015.12.007>
- Wei, P., Demaeght, P., De Schutter, K., Grigoraki, L., Labropoulou, V., Riga, M., Vontas, J., Nauen, R., Dermauw, W. and Van Leeuwen, T., 2020. Overexpression of an alternative allele of carboxyl/choline esterase 4 (CCE04) of *Tetranychus urticae* is associated with high levels of resistance to the keto-enol acaricide spirotetrameth. *Pest Management Science*, 76(3), pp. 1142-1153. <https://doi.org/10.1002/ps.5627>
- Wu, M., Adesanya, A.W., Morales, M.A., Walsh, D.B., Lavigne, L.C., Lavigne, M.D. and Zhu, F., 2018. Multiple acaricide resistance and underlying mechanisms in *Tetranychus urticae* on hops. *Journal of Pest Science*, 92(2), pp. 543-555. <https://doi.org/10.1007/s10340-018-1050-5>
- Wybouw, N., Kosterlitz, O., Kurlavs, A.H., Bajda, S., Greenhalgh, R., Snoeck, S., Bui, H., Bryon, A., Dermauw, W., Van Leeuwen, T. and Clark, R.M., 2019. Long-term population studies uncover the genome structure and genetic basis of xenobiotic and host plant adaptation in the herbivore *Tetranychus urticae*. *Genetics*, 211(4), pp. 1409-1427. <https://doi.org/10.1534/genetics.118.301803>
- Ya-Ying, L., Ming-Xiu, L., Jin-Ge, Y., Tochukwu, T.O., Han-Qiu, C. and Huai L., 2021. Evaluation of a phagocytic consumption predatory thrips *Scolothrips takahashii* for control of the citrus red mite *Panonychus citri*. *Crop Protection*, 140, pp. 105421. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2020.105421>
- Yang, Y., Luo, X., Wei, W., Fan, Z., Huang, T. and Pan, X., 2020. Analysis of leaf morphology, secondary metabolites and proteins related to the resistance to *Tetranychus cinnabarinus* in cassava (*Manihot esculenta* Crantz). *Scientific Reports*, 10(1), pp. 14197. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-70509-w>
- Yorulmaz, S.S. y Kaplan, B.K., 2014. Isparta ili merkez ilçesinde domates seralarından toplanan *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) popülasyonlarının bazı akarisitlere karşı direnç düzeyleri ve detoksifikasyon enzimleri. *Turkish Bulletin of Entomology*, 4(3), pp. 185-195. <https://dx.doi.org/10.16969/teb.99216>
- Yu, S., Tian, H., Yang, J., Ding, L., Chen, F., Li, X., Yue, J., Liu, H., Ran, C., 2015. Cloning of acetyl CoA carboxylase DNA and the effects of spirotetrameth on the expression of acetyl CoA carboxylase mRNA in *Panonychus citri*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 156(1), pp. 52-58. <https://doi.org/10.1111/eea.12314>
- Zanardi, O.Z., Ribeiro, L.P., Ansante, T.F., Santos, M.S., Bordini, G.P., Yamamoto, P.T. And Vendramim, J.D., 2015a. Bioactivity of a matrine-based biopesticide against four pest species of agricultural importance. *Crop Protection*, 67, pp. 160-167. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2014.10.010>
- Zanardi, O.Z., Bordini, G.P., Franco, A.A., De Moraes, M.R. and Yamamoto, P.T., 2015b. Development and reproduction of *Panonychus citri* (Prostigmata: Tetranychidae) on different species and varieties of citrus plants. *Experimental and*

Applied Acarology, 67, pp. 565-581.
<https://doi.org/10.1007/s10493-015-9968-2>

Zhao, J.H., Wang, Z.C., Ji, M.H., Cheng, J.L., Zhu, G.N. And Yu, C.M., 2011. Synthesis and

bioactivity evaluation of novel spiromesifen derivatives. *Pest Management Science*, 68(1), pp. 10-15. <https://doi.org/10.1002/ps.2248>