

TOXICIDAD DE ACARICIDAS PARA EL ÁCARO ROJO DE LAS PALMAS *Raoiella indica* (ACARI: TENUIPALPIDAE)

TOXICITY OF ACARICIDES TO THE RED PALM MITE *Raoiella indica* (ACARI: TENUIPALPIDAE)

E. Patricia Sánchez-Vázquez, Rodolfo Osorio-Osorio*, L. Ulises Hernández-Hernández,
Vidal Hernández-García, César Márquez-Quiroz, Efraín De la Cruz-Lázaro

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, División Académica de Ciencias Agropecuarias,
km 25 carretera Villahermosa-Teapa. 86000. Centro, Tabasco, México. (rodolfo.osorio@gmail.com).

RESUMEN

El ácaro rojo de las palmas, *Raoiella indica* Hirst (Acari: Tenuipalpidae), es una plaga de introducción reciente en México, y está en vigilancia epidemiológica. La actividad fitosanitaria para mitigar su expansión y daños incluye muestreo, diagnóstico y control de focos de infestación, mediante podas sanitarias y aplicación de acaricidas. Los acaricidas se eligen con base en pruebas de efectividad desarrolladas en otros países, donde las poblaciones locales de *R. indica* pueden presentar respuesta diferente a los acaricidas. El objetivo de este estudio fue determinar la toxicidad de 14 acaricidas en una población del ácaro rojo *R. indica* recolectada en Tabasco, México. Los bioensayos se realizaron en condiciones de laboratorio, en hembras adultas de *R. indica* sobre porciones de lámina foliar de palma de coco (*Cocos nucifera* L.) impregnadas con soluciones acaricidas. La mortalidad de los ácaros se evaluó 24 h después de la aplicación y los datos se analizaron con el procedimiento Probit. De acuerdo con la concentración letal a 50 % (CL₅₀) y a 90 % (CL₉₀), los acaricidas más tóxicos para los adultos de *R. indica* fueron fenazaquin y milbemectina, y les siguieron abamectina y dicofol. Acequinocyl, fenpyroximate, propargite, clorhidrato de formetanato, azufre y bifentrina fueron menos tóxicos. Estos resultados aportan información para el control químico local de esta plaga y para establecer las bases de una estrategia de uso racional de acaricidas. Además, se debe complementar con información de la efectividad biológica de esos productos *in situ*, el momento adecuado de aplicación y la manera de minimizar el impacto en los antagonistas naturales de *R. indica*.

Palabras clave: Control químico, *Cocos nucifera*, bioensayo.

ABSTRACT

The red palm mite, *Raoiella indica* Hirst (Acari: Tenuipalpidae), is a pest recently introduced to Mexico, and is under epidemiological surveillance. In order to reduce its expansion and damage, several phytosanitary activities are carried out, including sampling, diagnosis, and control of infestation points, by means of sanitary pruning and application of acaricides. Acaricides are selected based on effectiveness tests developed in other countries where the *R. indica* local populations may have a different response to those acaricides. The aim of this study was to determine the toxicity of 14 acaricides in a red mite *R. indica* population collected in Tabasco, Mexico. Bioassays were conducted under laboratory conditions, placing *R. indica* adult females on leaf blade pieces of coconut palm (*Cocos nucifera* L.) impregnated with acaricide solutions. Twenty-four hours after application, mite mortality was evaluated and the Probit procedure was used to analyze the data. According to the lethal concentration 50 % (LC₅₀) and 90 % (LC₉₀), the most toxic acaricides to *R. indica* adults were fenazaquin and milbemectin, followed by abamectin and dicofol. Acequinocyl, fenpyroximate, propargite, formetanate hydrochloride, sulfur, and bifenthrin were less toxic. These results provide information for the chemical control of this pest and to lay the foundations for a strategy to make a rational use of acaricides. In addition, they should be complemented with biological effectiveness information of these products *in situ*, proper application timing, and how to minimize the impact on *R. indica*'s natural antagonists.

Key words: Chemical control, *Cocos nucifera*, bioassay.

* Autor responsable ♦ Author for correspondence.

Recibido: septiembre, 2015. Aprobado: mayo, 2016.

Publicado como ARTÍCULO en Agrociencia 51: 81-90. 2017.

INTRODUCCIÓN

El ácaro rojo de las palmas, *Raoiella indica* Hirst (Acari: Tenuipalpidae), es la plaga más importante e invasiva introducida en América (Amaro y Gomes, 2012; Dowling *et al.*, 2012; Kane *et al.*, 2012). Esta plaga se dispersó rápido en los países del Caribe (Rodrigues *et al.*, 2007; Roda *et al.*, 2008), Florida, EE.UU. (Cocco y Hoy, 2009), México (NAPPO, 2009), Brasil (Navia *et al.*, 2011), Colombia (Carrillo *et al.*, 2011) y Venezuela (Vásquez y De Moraes, 2013). La presencia de *R. indica* en la región neotropical afecta principalmente a cultivos de importancia económica, como palma de coco (*Cocos nucifera* L.), plátanos (*Musa* spp.) y flores tropicales de la familia Heliconiaceae (Amaro y Gomes, 2012; Carrillo *et al.*, 2012; Dowling *et al.*, 2012; Kane *et al.*, 2012).

Con la detección de esta plaga en México, el Gobierno Federal, a través del Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA), implementó la campaña contra el ácaro rojo de las palmas. El propósito fue reducir los niveles de infestación y mitigar el riesgo de dispersión hacia zonas agrícolas del territorio nacional. La estrategia operativa incluye muestreo, diagnóstico y control de focos de infestación mediante podas sanitarias y aplicación de acaricidas (SENASICA, 2013). No obstante, esta plaga se ha diseminado en el país (SENASICA, 2015).

El control químico de los ácaros es crucial en los programas de manejo integrado de plagas en el mundo y es poco probable que se elimine pronto (Van Leeuwen *et al.*, 2015). Además, los tratamientos químicos son útiles para controlar brotes poblacionales (Fountain *et al.*, 2010) o mitigar su dispersión (De Assis *et al.*, 2013). Un reto es que el control químico debe orientarse al uso de acaricidas inocuos o poco perjudiciales para la fauna benéfica y los mamíferos, y persistencia ambiental corta (Dekeyser, 2005; Van Leeuwen *et al.*, 2015).

Los ácaros incluyen especies plagas con potencial alto para desarrollar resistencia a los acaricidas (Whalon *et al.*, 2008). Los acaricidas se aplican con frecuencia mayor que otros plaguicidas, porque los ácaros tienen fecundidad alta y su ciclo de vida es corto, lo cual conduce al desarrollo rápido de resistencia (Van Leeuwen *et al.*, 2010). La recomendación para demorar el desarrollo de la resistencia incluye

INTRODUCTION

The red palm mite, *Raoiella indica* Hirst (Acari: Tenuipalpidae), is the most important and invasive pest introduced in the Americas (Amaro and Gomes, 2012; Dowling *et al.*, 2012; Kane *et al.*, 2012). This pest has spread rapidly in the Caribbean countries (Rodrigues *et al.*, 2007; Roda *et al.*, 2008), Florida, USA (Cocco and Hoy, 2009), Mexico (NAPPO, 2009), Brazil (Navia *et al.*, 2011), Colombia (Carrillo *et al.*, 2011), and Venezuela (Vásquez and De Moraes, 2013). The presence of *R. indica* in the Neotropical region affects mainly to economically-important crops such as coconut (*Cocos nucifera* L.), bananas (*Musa* spp.) and tropical flowers of the Heliconiaceae family (Amaro and Gomes, 2012; Carrillo *et al.*, 2012; Dowling *et al.*, 2012; Kane *et al.*, 2012).

After detecting this pest in Mexico, the Federal Government implemented the campaign against the red palm mite, through the Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (National Health, Innocuousness, and Agrifood Quality Service: SENASICA). Its purpose was to reduce infestation levels and to mitigate the propagation risk to domestic agricultural areas. The operational strategy includes sampling, diagnosis, and control of infestation points by means of sanitary pruning and application of acaricides (SENASICA, 2013). However, the pest has spread in the country (SENASICA, 2015).

The chemical control of mites is crucial for the comprehensive handling programs for pest in the world and it is unlikely that it will be eliminated soon (Van Leeuwen *et al.*, 2015). Besides, chemical treatments are useful to control population outbreaks (Fountain *et al.*, 2010) or to mitigate their propagation (De Assis *et al.*, 2013). One challenge of chemical control is using innocuous acaricides or that cause little damage to the beneficial fauna and mammals, and with short environmental persistence (Dekeyser, 2005; Van Leeuwen *et al.*, 2015).

Mites include pest species with high potential to develop resistance to acaricides (Whalon *et al.*, 2008). Acaricides are applied with more frequency than other pesticides, due to the mites' high fertility and short life cycle, which result in the rapid development of resistance (Van Leeuwen *et al.*, 2010). In order to delay that development, actions such as alternation,

acciones como alternancia, secuenciación, rotación y uso de mezclas de compuestos con mecanismos de acción diferentes (Marcic, 2012). Por lo tanto, el desafío principal para el control químico efectivo es reconocer la toxicidad base de los acaricidas locales. Es necesario diversificar el mecanismo de mortalidad mediante la rotación de los acaricidas con mecanismos diferentes de acción (Whalon *et al.*, 2008). El uso de un ingrediente activo único para el control de plagas seguirá propiciando resistencia acelerada (Whalon *et al.*, 2008).

Las investigaciones del potencial de los predadores naturales de *R. indica* en México no son concluyentes, y en la campaña contra el ácaro rojo de las palmas todavía se aplican acaricidas (SENASICA, 2015). Los acaricidas recomendados y autorizados temporalmente por la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios son abamectina, spiridiclofen y azufre(COFEPRIS) (SENASICA, 2013). Esta recomendación está basada en la información generada en Brasil (De Assis *et al.*, 2012), Puerto Rico y EE.UU. (Rodrigues y Peña, 2012). Nuestra hipótesis fue que las poblaciones locales de *R. indica* presentan respuesta diferente a esos acaricidas. Además, algunos de los productos químicos recomendados no están autorizados o disponibles en México. Con estos antecedentes, el objetivo del presente estudio fue determinar las concentraciones letales a 50 % y 90 % de los acaricidas comerciales disponibles en México contra *R. indica*. Esta información es necesaria para resolver situaciones de emergencia para el control químico de esta plaga y establecer las bases de una estrategia para el uso racional de acaricidas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Recolecta y manejo de *Raoiella indica*

Los especímenes de *R. indica* se obtuvieron de foliolos de palma de coco infestados en forma natural en el Campo Experimental de la División Académica de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, ubicado en el km 25 de la carretera Villahermosa-Teapa en el municipio de Centro, Tabasco. Los foliolos se colocaron en bolsas de polietileno, se trasladaron al laboratorio de Sanidad Vegetal de la misma institución, se mantuvieron en una cámara de cría a 28 ± 2 °C y 50 ± 10 % de humedad relativa y se usaron el mismo día de la recolecta. De estas muestras se obtuvieron hembras adultas, con cuerpo oval, más grandes que las otras formas biológicas de esta

sequencing, rotation, and the use of compound mixtures with different action mechanisms are suggested (Marcic, 2012). For this reason, the main challenge to effective chemical control lies in recognizing the basic toxicity of local acaricides. Rotating acaricides with different mechanisms of action is necessary, in order to diversify the mortality mechanism (Whalon *et al.*, 2008). The use of a single active ingredient for pest control will continue promoting rapid resistance (Whalon *et al.*, 2008).

In Mexico, researches about the potential of *R. indica*'s natural predators are inconclusive, and acaricides are still used in the campaign against red palm mite (SENASICA, 2015). The Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (Federal Commission for the Protection Against Sanitary Risks) temporarily recommended and authorized these acaricides: abamectin, spiridiclofen, and sulfur (COFEPRIS) (SENASICA, 2013). This recommendation is based on the information generated in Brazil (De Assis *et al.*, 2013), and Puerto Rico and USA (Rodrigues and Peña, 2012). Our hypothesis was that *R. indica* local populations have different responses to these acaricides. In addition, some of the recommended chemicals are not authorized or available in Mexico. With this background, the objective of this study was to determine the lethal concentration (50 % and 90 %) against *R. indica* of the commercial acaricides available in Mexico. This information is necessary solve emergency situations that involve the chemical control of this pest and to lay the foundations for a strategy to make a rational use of acaricides.

MATERIALS AND METHODS

Raoiella indica - collection and handling

Raoiella indica specimens were obtained from coconut palm leaflets infested by natural means in the Experimental Farm of the Academic Division of Agricultural Sciences of the Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, located at km 25 of the Villahermosa-Teapa Highway, in the municipality of Centro, Tabasco. Leaflets were put in polyethylene bags, moved to the Plant Health laboratory of the same institution, and kept in a breeding chamber at 28 ± 2 °C and 50 ± 10 % relative humidity. They were used the same day in which they were collected. These samples included adult females with oval body, larger than other biological forms of this species, with dark spots on the back

especie, con manchas oscuras en el dorso y opistosoma redondeado (Kane *et al.*, 2012; Navia *et al.*, 2013). Además, solo se seleccionaron especímenes de color rojo carmín intenso para usar hembras relativamente jóvenes.

Recolecta y preparación del material vegetal

En el mismo sitio de recolecta de *R. indica* se obtuvieron muestras de folíolos sanos de palma de coco, se limpiaron con un pincel No. 4 y se revisaron minuciosamente con un microscopio para asegurarse que no tuvieran síntomas de enfermedad, ácaros o insectos depredadores. Los folíolos se cortaron en porciones de 2.5 x 4 cm, se colocaron en cajas Petri de 9 cm de diámetro y se mantuvieron en las condiciones ambientales ya mencionadas.

Acaricidas evaluados

Los acaricidas seleccionados son productos químicos para uso agrícola y control de diferentes especies de ácaros fitófagos de frutales, hortalizas y ornamentales; todos tienen registro vigente en la COFEPRIS (2015) y se venden en el área de estudio (Cuadro 1). Los acaricidas se usaron según las recomendaciones en la literatura (Dekeyser, 2005; Marcic, 2012; Sparks y Nauen, 2015; Van Leeuwen *et al.*, 2015) y en etiquetas de los productos. Acaricidas que sólo afectan los estados inmaduros se descartaron porque los bioensayos se realizaron en ácaros adultos.

Bioensayos preliminares

Las pruebas se realizaron de acuerdo al método no. 4 de las series de métodos para pruebas de susceptibilidad del Comité de Acción de Resistencia a los Insecticidas (IRAC) (IRAC, 2009). De forma preliminar, para cada uno de los 14 acaricidas se prepararon concentraciones diluidas en un factor de 10: 0.0001, 0.001, 0.01, 0.1, 1, 10, 100 y 1000 mg de ingrediente activo por litro de solución y un testigo de agua destilada. La unidad experimental fue una porción de lámina foliar de 2.5 x 4 cm de foliolo de palma, sumergida por 5 s en la solución acaricida o agua. Las porciones se secaron 20 min a temperatura ambiente, se colocaron con la cara abaxial sobre una placa de acrílico de 5 x 5 cm, con un orificio de 2.5 cm de diámetro en el centro, y sus bordes se fijaron con cinta adhesiva a la placa. Luego se colocaron 10 hembras sobre el área abaxial de la lámina foliar limitada por el orificio del acrílico. Para confinar los ácaros a este espacio, se colocó otra placa de acrílico del mismo tamaño y los bordes de ambas placas se sellaron con cinta adhesiva. Esta unidad experimental representó una repetición y se colocó sobre una capa de algodón húmedo dentro de una caja Petri. Cada tratamiento tuvo tres repeticiones y 30 ácaros en total por concentración de

and round opisthosoma (Kane *et al.*, 2012; Navia *et al.*, 2013). Additionally, only intense carmine red specimens were selected, in order to use relatively young females.

Plant material collection and preparation

Raoiella indica samples from healthy coconut palm leaflets were obtained on the same site of the collection. They were cleaned with a No. 4 paintbrush and minutely examined in a microscope in order to make sure that they did not have disease symptoms, mites or predatory insects. The leaflets were cut into of 2.5 x 4 cm pieces, placed in 9-cm diameter Petri dishes, and kept under the above-mentioned environmental conditions.

Acaricides evaluated

The selected acaricides are chemicals products for agricultural use and control of different species of fruit, vegetables and ornamental phytophagous mites. All acaricides have in force registration in COFEPRIS (2015) and they are sold in the study area (Table 1). The acaricides were used following the suggestions included in the products' labels and bibliography (Dekeyser, 2005; Marcic, 2012; Sparks and Nauen, 2015; Van Leeuwen *et al.*, 2015). Acaricides that only affect the immature stages were discarded, because the bioassays were conducted in adult mites.

Preliminary bioassays

The tests were performed according to method No. 4 of the series of methods for susceptibility tests of the Insecticide Resistance Action Committee (IRAC) (IRAC, 2009). In a preliminary stage, diluted concentrations for each of the 14 acaricides were prepared by a factor of 10: 0.0001, 0.001, 0.01, 0.1, 1, 10, 100, and 1000 mg of active ingredient per liter of solution and a distilled water control. The experimental unit was a 2.5 x 4 cm foliar blade piece of a palm leaflet immersed for 5 s in the acaricide solution or water. The pieces were dried at room temperature for 20 min, with the abaxial side facing a 5 x 5 cm acrylic plate with a 2.5 cm diameter hole in the center, and their edges were fixed with tape to the plate. Then, 10 females were placed over the abaxial area of the foliar blade limited by the acrylic hole. Another acrylic plate of the same size was placed above the first one and both edges were sealed with tape, in order to confine the mites to this space. This experimental unit represented one repetition and was placed over a wet cotton layer in a Petri dish. Each treatment had three repetitions and a total of 30 mites in each acaricide concentration. The total number of live and dead mites was quantified 24 h after the compounds were applied. Mites were considered dead if they did not move

Cuadro 1. Características de los acaricidas evaluados contra adultos del ácaro rojo de la palmas *Raoiella indica*.
Table 1. Characteristics of the acaricides used against adult red palm mite *Raoiella indica*.

Ingrediente activo	Nombre comercial	Grupo químico [†]	Modo de acción [‡]
Clorhidrato de formetanato	Dicarzol® 50 PS	Grupo 1A. Carbamatos	Inhibidor de la acetil colinesterasa
Bifentrina	Talstar® 100 CE	Grupo 3A. Piretroides	Modulador de los canales de sodio
Abamectina	Abamectina® 1.8% CE	Grupo 6. Avermectinas, milbemectinas	Modulador alostérico de los canales de cloro glutamatizados
Milbemectina	Koromite® 1% CE	Grupo 6. Avermectinas, Milbemectinas	Modulador alostérico de los canales de cloro glutamatizados
Propargite	Comite® CE	Grupo 12C. Propargite	Inhibidor del ATP sintasa mitocondrial
Acequinocyl	Kanemite® 15 SC	Grupo 20B. Acequinocyl	Inhibidor del transporte de electrones en el complejo mitocondrial III
Bifenazate	Acramite® 50 WS	Grupo 20D. Bifenazate	Inhibidor del transporte de electrones en el complejo mitocondrial III
Amitraz	Mitac® 20 CE	Grupo 19. Amitraz	Agonista de los receptores de octopamina
Fenazaquin	Magister 200® SC	Grupo 21A. Inhibidores del transporte de electrones en las mitocondrias	Inhibidor del transporte de electrones en el complejo mitocondrial I
Fenpyroximate	Avolant®	Grupo 21A. Inhibidores del transporte de electrones en las mitocondrias	Inhibidor del transporte de electrones en el complejo mitocondrial I
Spirodiclofen	Envidor® 240 SC	Grupo 23. Derivados de los ácidos tetrónico y tetrámico	Inhibidor de la acetil CoA carboxilasa.
Spiromesifen	Oberon® SC	Grupo 23. Derivados de los ácidos tetrónico y tetrámico	Inhibidor de la acetil CoA carboxilasa
Azufre elemental	Sultron® 725 SA	Inorgánicos [§]	Desconocido o incierto [§]
Difocol [§]	AK-20® CE	Organoclorados [§]	Modulador de los canales de sodio [§]

[†] Comité de Acción de Resistencia a los Insecticidas (IRAC) (Sparks y Nauen, 2015) ♦ Insecticide Resistance Action Committee (IRAC) (Sparks and Nauen, 2015). [§] Whalon *et al.* (2016). [§] Uso restringido (COFEPRIS, 2015) ♦ Restricted use (COFEPRIS, 2015).

acaricida. El total de ácaros vivos y muertos se cuantificó después de 24 h de aplicar los compuestos. Los ácaros que no se movieron al perturbarse por 5 s, con un pincel No. 000 (Helle y Overmeer, 1985), se consideraron muertos. Para cada acaricida se determinó el intervalo de concentración que ocasiona de 0 a 100 % la mortalidad. Los acaricidas (Cuadro 1) que no produjeron el 100 % de mortalidad con 1000 mg de ingrediente activo por litro fueron descartados para los bioensayos finales.

Bioensayos finales

De acuerdo con los resultados de los bioensayos preliminares de toxicidad, en esta etapa solo se evaluaron 10 acaricidas: fenazaquin, milbemectina, abamectina, difocol, acequinocyl, fenpyroximate, propargite, clorhidrato de formetanato, azufre y bifentrina. Con base en la mortalidad por concentración de acaricida y el intervalo de concentraciones que produjeron entre cero y 100 % de mortalidad en los bioensayos preliminares, una o varias concentraciones (en escala logarítmica) por producto químico se intercalaron; así, las concentraciones por acaricida fueron

after being poked for 5 s with a No. 000 brush (Helle and Overmeer, 1985). For each acaricide, the range of concentration that produces 0 to 100 % mortality was determined. Acaricides (Table 1) that did not cause 100 % mortality with 1000 mg of active ingredient per liter were discarded for final bioassays.

Final bioassays

According to the results of the toxicity preliminary bioassays, in this stage only 10 acaricides were evaluated: fenazaquin, milbemectin, abamectin, difocol, acequinocyl, fenpyroximate, propargite, formetanate hydrochloride, sulfur, and bifenthrin. Based on the mortality by acaricide concentration and on the range of concentrations that produced 0-100 % mortality in preliminary bioassays, one or more chemical concentrations (in a logarithmic scale) were interspersed per chemical product; therefore, each acaricide had six or seven concentrations. Distilled water was used as control treatment, instead of acaricide. The acaricides application and evaluation were similar to the preliminary bioassay. Three repetitions and 30 adult

seis o siete. Como tratamiento testigo se utilizó agua destilada en lugar de acaricida. La aplicación y evaluación de acaricidas fue similar a la del bioensayo preliminar. Para cada concentración de acaricida se evaluaron tres repeticiones, y 30 hembras adultas en total, incluyendo el testigo. Todo el procedimiento se repitió dos veces e incluyó 60 ácaros en total por concentración de acaricida (Robertson *et al.*, 2007).

Análisis estadístico

Con los datos de mortalidad se realizó un análisis Probit (Finney, 1971) después de la corrección de los datos de mortalidad en el testigo (Abbott, 1925). El procedimiento de Proc Probit (SAS Institute Inc, 2009), se utilizó para estimar las concentraciones letales 50 % (CL_{50}) y 90 % (CL_{90}), y sus límites respectivos de confianza al 95 %. También se calculó la proporción de toxicidad al 90 % (PT), dividiendo el valor estimado al nivel de la CL_{90} de cada producto acaricida entre el valor del producto acaricida más tóxico (Robertson *et al.*, 2007). La toxicidad de cada acaricida se consideró significativamente diferente si sus límites de confianza al 95 % no se trasladaron.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El ajuste de los datos de mortalidad de *R. indica* al modelo Probit fue adecuado (c^2 , $p > 0.05$) (Cuadro 2). La mortalidad de ácaros en los testigos fue nula, excepto en el de abamectina, que tuvo 5 %. Las concentraciones estimadas que causaron 50 y 90 % de mortalidad (CL_{50} y CL_{90}) y los intervalos de confianza al 95 % para CL_{90} indicaron que los acaricidas más tóxicos fueron fenazaquin y milbemectina, seguidos por abamectina y difocol. Los menos tóxicos fueron acequinocyl, fenpyroximate, propargite, clorhidrato de formetanato, azufre y bifentrina (Cuadro 2). De acuerdo con los valores CL_{90} y sus límites de confianza, las toxicidades de fenazaquin y milbemectina fueron iguales. Ambos acaricidas fueron 20 y 27 veces más tóxicos que abamectina y dicofol, respectivamente (Cuadro 2). Estos resultados coincidieron con los obtenidos por De Assis *et al.* (2013) en Roraima, Brasil, con 10 acaricidas, en condiciones de laboratorio, e identificaron a abamectina y milbemectina como los más tóxicos para adultos de *R. indica*.

Debido a los resultados de bioensayos preliminares spirodiclofen, spiromesifen, bifezanate y amitraz se descartaron del ensayo final porque no produjeron 100 % de mortalidad de adultos de *R. indica* a la concentración máxima de 1000 ppm. Una causa

females (including the control) were evaluated for each acaricide concentration. The whole procedure was repeated twice, resulting in 60 mites per acaricide concentration in all (Robertson *et al.*, 2007).

Statistical analysis

After mortality data was corrected in control (Abbott, 1925), a Probit analysis (Finney, 1971). was carried out with mortality data. Proc Probit procedure (SAS Institute Inc., 2009) was used to estimate the 50% (LC_{50}) and 90 % (LC_{90}) lethal concentrations, and their respective 95% confidence limits. In addition, by dividing the LC_{90} estimated level value of each acaricide between the most toxic acaricide value (Robertson *et al.*, 2007), the toxicity proportion (TP) was calculated at 90 %. Toxicity of each acaricide was considered significantly different if its confidence limits at 95 % did not overlap.

RESULTS AND DISCUSSION

Mortality data of *Raoiella indica*'s were properly adjusted to the Probit model (c^2 , $p > 0.05$) (Table 2). Mite mortality in control was zero, except in abamectin (5 % mortality). The estimated concentrations that caused 50 and 90% mortality (LC_{50} and LC_{90} , respectively), and the 95 % trust interval for LC_{90} indicated that the most toxic acaricides were fenazaquin and milbemectin, followed by abamectin and dicofol. Acequinocyl, fenpyroximate, propargite, formetanate hydrochloride, sulfur, and bifenthrin were the less toxic (Table 2). According to LC_{90} values and their trust limits, the fenazaquin and milbemectin had the same toxicity level. Both acaricides were 20 and 27 times more toxic than abamectin and dicofol, respectively (Table 2). These results are similar to those obtained by De Assis *et al.* (2013) in Roraima, Brazil, with 10 acaricides, under laboratory conditions, and consequently abamectin and milbemectin were identified as the most toxic for the adult *R. indica*.

Due to results of the preliminary bioassays, spirodiclofen, spiromesifen, bifenazate, and amitraz were discarded from the final test because—even in a maximum concentration of 1000 ppm—, they did not produce 100 % mortality of *R. indica* adults. A probable reason is that spirodiclofen and spiromesifen are more toxic for eggs and immature stages than adults, and the reduction of female fecundity and fertility is slow (Marcic, 2012). According to De Assis

Cuadro 2. Toxicidad de 10 acaricidas comerciales para adultos del ácaro rojo de la palma *Raoiella indica* en Tabasco, México.
Table 2. Toxicity of 10 commercial acaricides for adult red palm mite *Raoiella indica* in Tabasco, Mexico.

Producto químico	n [†]	gl [‡]	c [§]	Pendiente (±EE) [¶]	CL ₅₀ [□]	CL ₉₀ ^{††}	PT ^{**}
Fenazaquin	420	5	7.24	0.74 (±0.06)	0.036 (0.023-0.056)	1.904 (0.976-4.620)	-
Milbemectina	360	4	4.09	0.48 (±0.05)	0.004 (0.002-0.009)	1.972 (0.691-8.530)	1.04
Abamectina	360	4	3.79	0.55 (±0.05)	0.184 (0.097-0.368)	38.126 (12.097-193.41)	20.02
Dicofol	420	5	6.01	0.76 (±0.07)	1.097 (0.710-1.661)	52.107 (26.834-128.113)	27.36
Acequinocyl	360	4	3.37	0.62 (±0.06)	19.50 (10.90-36.51)	2,150 (800-8355)	1129
Fenpyroximate	420	5	2.91	0.31 (±0.04)	0.89 (0.34-2.72)	10 127 (1180-265 148)	5220
Propargite	420	5	5.37	0.52 (±0.05)	358.89 (196.7-694.9)	96 165 (29 913-505 258)	50 506
Clorhidrato de formetanato	420	5	6.36	0.42 (±0.04)	122.04 (59.9-257.5)	127 471 (31 327-979 215)	66 949
Azufre	420	5	2.87	0.39 (±0.04)	69.72 (31.46-169.24)	129 121 (26 641-1 211 357)	67 815
Bifentrina	420	5	5.21	0.39 (±0.04)	109.43 (48.66-276.20)	211 413 (40 753-2 236 796)	111 036

†: Total de hembras en el bioensayo ♦ Bioassay's total females. ‡: Grados de libertad ♦ Degree of freedom. §: Valor de Chi-cuadrada (p > 0.05) ♦ Chi-square value (p>0.05). ¶: Error estándar de la media ♦ Mean standard error. □: Concentración letal 50 (CL₅₀) ♦ Lethal concentration 50 (CL₅₀). ††: Concentración letal 90 (CL₉₀), en mg de i. a. L⁻¹ con sus intervalos de confianza al 95 % ♦ Lethal concentration 90 (CL₉₀), in i. a. L⁻¹ mg with their 95 % trust interval. **: Proporción de toxicidad al nivel de CL₉₀ ♦ CL₉₀ toxicity rate level.

probable es que spiridiclofen y spiromesifen son más tóxicos para huevecillos y estados inmaduros que para adultos, y el efecto en la reducción de la fecundidad y fertilidad en las hembras es relativamente lento (Marcic, 2012). Según De Assis *et al.* (2012), entre 10 acaricidas evaluados contra adultos de *R. indica* el spiromesifen fue el menos tóxico. Pero Dekeyser (2005) indicó que spiridiclofen y spiromesifen afectan a todos los estados de desarrollo de una gama amplia de ácaros fitófagos. El acaricida bifenazate también es clasificado como inhibidor del desarrollo de ácaros y es un producto químico activo contra los estados móviles y huevecillos *Tetranychus urticae* y otras especies (Dekeyser, 2005). Amitraz es acaricida con toxicidad baja para *T. urticae* (Dennehy *et al.*, 1993) y los acaricidas que afectan los estados inmaduros de los ácaros podrían mejorar su efecto contra *R. indica* en condiciones *in situ*, donde están todos los estados de desarrollo.

La pendiente de las líneas de regresión concentración-mortalidad de los acaricidas contra los adultos

et al. (2013), spiromesifen was the least toxic against adult *R. indica* out of 10 acaricides evaluated. But Dekeyser (2005) indicated that spiridiclofen and spiromesifen affect all development stages in a wide range of phytophagous mites. In addition, bifenazate is classified as an inhibitor of mite development and is very active against the mobile stages and eggs of *Tetranychus urticae* and other species (Dekeyser, 2005). Amitraz is considered a low toxicity acaricide against *T. urticae* (Dennehy *et al.*, 1993). Acaricides that affect immature stages could improve their effect against *R. indica* under *in situ* conditions, where all development stages can be found.

The gradient of concentration-mortality regression lines of acaricides against *R. indica* adults varied from 0.31 to 0.76 (Table 2), similar to the 0.39-1.69 range observed by De Assis *et al.* (2013) in bioassays with acaricides and the same species. These values (1.62-2.38) are relatively low compared with those obtained with abamectin in nine *T. urticae* populations (Monteiro *et al.*, 2015),

de *R. indica* varió de 0.31 a 0.74 (Cuadro 2), similar al intervalo de 0.39 a 1.69 observado por De Assis *et al.* (2012) en bioensayos con acaricidas y la misma especie. Estos valores son relativamente bajos comparados con los obtenidos con abamectina en nueve poblaciones de *T. urticae* (variación de 1.62 a 2.38) (Monteiro *et al.*, 2015) y abamectina, bifentazate, dicofol, propargite y spiromesifen contra la misma especie (variación de 1.25 a 11.24) (Latheef y Hoffmann, 2014). De acuerdo con Lagunes-Tejeda y Vázquez-Navarro (1994), la pendiente es un estimador adecuado de la heterogeneidad de la población en estudio y, a menor pendiente, heterogeneidad mayor de los datos. Según, Robertson *et al.* (2007), hay evidencia de que los organismos en una población heterogénea presentan diferencias cuantitativas mayores en los niveles de desintoxicación enzimática. Es probable que ejemplares adultos de *R. indica* de campo, con edades de la población y las condiciones nutricionales variables, hayan afectado la pendiente en nuestro estudio.

Un problema para el control químico de ácaros fitófagos es su potencial alto para desarrollar resistencia a los acaricidas (Whalon *et al.*, 2008). Así, Sawicki y Denholm (1987) definieron al manejo de resistencia a plaguicidas como un conjunto de estrategias con la premisa básica de conservar la susceptibilidad a los plaguicidas mediante su uso racional y la restricción de tratamientos para prevenir la selección de individuos resistentes, y prolongar la vida útil de los productos. Aunque los resultados de un bioensayo no se pueden utilizar para determinar la dosis para aplicar en campo, ya que una determinación de laboratorio no considera las pérdidas por arrastre, fotodescomposición, termorregulación y escape del insecto (Lagunes-Tejeda *et al.*, 2009), sí se puede comparar la toxicidad de los acaricidas evaluados para los organismos bajo estudio (De Assis *et al.*, 2012). De acuerdo con nuestros resultados, fenazaquin, abamectina, milbemectina y dicofol podrían incluirse en un programa de manejo químico de *R. indica* en Tabasco.

En condiciones de campo, dicofol fue considerado acaricida efectivo para reducir la población de *R. indica* en palmas de coco en Río Piedras, Puerto Rico; y en Florida, EE.UU. las aspersiones de abamectina y milbemectina controlaron la presencia de *R. indica* en palmas de coco (Rodrigues y Peña, 2012). En el 2013, el acaricida abamectina fue autorizado temporalmente

and with abamectin, bifentazate, dicofol, propargite, and spiromesifen against the same species (1.25–11.24) (Latheef and Hoffmann, 2014). According to Lagunes-Tejeda and Vázquez-Navarro (1994), the gradient is an adequate estimator of the heterogeneity of the population under study: the lower the gradient, the higher the data heterogeneity. In this regard, Robertson *et al.* (2007) indicated that there is evidence that the enzymatic detoxification levels of organisms in heterogeneous populations have higher quantitative differences. The variance in age and nutritional conditions of *R. indica* adult field specimens probably affected this study's gradient.

A problem for the chemical control of phytophagous mites is their high potential to develop resistance to acaricides (Whalon *et al.*, 2008). Thus, Sawicki and Denholm (1987) defined the pesticide resistance management as a set of strategies in which the basic premise is to preserve susceptibility to pesticides through their rational use and to restrict treatments in order to prevent the selection of resistant individuals, and extend the useful life of the products. Although bioassay results cannot be used to determine which dose to apply in the field—because a laboratory determination does not take into consideration dragging, photodecomposition, thermoregulation, and insect escape (Lagunes-Tejeda *et al.*, 2009)—, it is indeed possible to compare the evaluated acaricides' toxicity for the organisms under study (De Assis *et al.*, 2013). According to our results, fenazaquin, abamectin, milbemectin, and dicofol could be included in a chemical handling program for *R. indica* in Tabasco, Mexico.

Under field conditions, dicofol was considered as an effective acaricide to reduce the *R. indica* population in coconut palms in Río Piedras, Puerto Rico; abamectin and milbemectin sprinkling controlled the *R. indica* presence in coconut palms in Florida, USA (Rodrigues and Peña, 2012). In 2013, abamectin was temporarily authorized by COFEPRIS in the campaign against red mite in Mexico (SENASICA, 2013). We consider that fenazaquin, milbemectin, abamectin, and dicofol could be authorized for the emerging chemical control of *R. indica*, because these acaricides are used against other phytophagous mite species with economic importance in Mexico (COFEPRIS, 2015). Biological effectiveness of these acaricides should be proven in the field, in order to identify

por COFEPRIS en la campaña contra el ácaro rojo en México (SENASICA, 2013). Consideramos que fenazaquín, milbemectina, abamectina y dicofol podrían autorizarse para el control químico emergente de *R. indica*, ya que estos acaricidas se usan contra otras especies de ácaros fitófagos con importancia económica en México (COFEPRIS, 2015). La efectividad biológica de estos acaricidas debe realizarse en campo, para reconocer el momento adecuado de aplicación y determinar cómo reducir el impacto sobre los antagonistas naturales de *R. indica*.

CONCLUSIONES

Los acaricidas fenazaquin y milbemectina fueron los más tóxicos para adultos de *R. indica*, seguidos por abamectina y difocol. Los acaricidas menos tóxicos, en orden decreciente fueron acequinocyl, fenpyroximate, propargite, clorhidrato de formetanato, azufre y bifenthrin.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco por el financiamiento del proyecto: "Potencial de daño del ácaro rojo *Raoiella indica* en cultivares de plátano y efectividad de acaricidas para su control". Clave: UJAT-2013-IB-26.

LITERATURA CITADA

- Abbott, W. S. 1925. A method of computing the effectiveness of an insecticide. *J. Econ. Entomol.* 18: 265-267.
- Amaro, G., and E. Gomes F. de M. 2012. Potential geographical distribution of the red palm mite in South America. *Exp. Appl. Acarol.* 60: 343-355.
- Carrillo, D., D. Amalin, F. Hosein, A. Roda, R. E. Duncan, and J. E. Peña. 2012. Host plant range of *Raoiella indica* (Acari: Tenuipalpidae) in areas of invasion of the New World. *Exp. Appl. Acarol.* 57: 271-289.
- Carrillo, D., D. Navia, F. Ferragut, and J. E. Peña. 2011. First report of *Raoiella indica* (Acari: Tenuipalpidae) in Colombia. *Fla. Entomol.* 94: 370-371.
- Cocco, A., and M. A. Hoy. 2009. Feeding, reproduction, and development of the red palm mite (Acari: Tenuipalpidae) on selected palms and banana cultivars in quarantine. *Fla. Entomol.* 92: 276-291.
- COFEPRIS (Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios). 2015. Búsqueda de registros de: plaguicidas y nutrientes vegetales. Secretaría de Salud. México, D.F. <http://189.254.115.250/Resoluciones/Consultas/ConWebRegPlaguicida.asp>. (Consulta: Agosto 2015).
- De Assis, C. P. O., E. G. F. De Moraes, and M. G. C. Gondim Jr. 2013. Toxicity of acaricides to *Raoiella indica* and their selectivity for its predator, *Amblyseius largoensis* (Acari: Tenuipalpidae: Phytoseiidae). *Exp. Appl. Acarol.* 60: 357-365.
- Dekeyser, M. A. 2005. Review acaricide mode of action. *Pest. Manag. Sci.* 61: 103-110.
- Dennehy, T. J., A. W. Farnham, and I. Denholm. 1993. The microimmersion bioassay: a novel method for the topical application of pesticides to spider mites. *Pestic. Sci.* 39: 47-54.
- Dowling, A. P. G., R. Ochoa, J. J. Beard, W. C. Welbourn, and E. A. Ueckermann. 2012. Phylogenetic investigation of the genus *Raoiella* (Prostigmata: Tenuipalpidae): diversity, distribution, and world invasions. *Exp. Appl. Acarol.* 57: 257-269.
- Finney, D. J. 1971. Probit Analysis, 3rd edition. Cambridge University Press, London. 333 p.
- Fountain, M. T., A. L. Harris, and J. V. Cross. 2010. The use of surfactants to enhance acaricide control of *Phytonemus pallidus* (Acari: Tarsonemidae) in strawberry. *Crop Prot.* 29: 1286-1292.
- Helle, W., and J. P. W. Overmeer. 1985. Toxicological test methods. In: Helle, W., and M. W. Sabelis (eds). *Spider Mites: their Biology, Natural Enemies and Control*. Elsevier Science Publishing Company. Inc. U.S.A. pp: 391-395.
- IRAC (Insecticide Resistance Action Committee). 2009. IRAC susceptibility test method 004. <http://www.irac-online.org/methods/panonychus-ulmi-tetranychus-species-adults/>. (Accessed: August 2015).
- Kane, E. C., R. Ochoa, G. Mathurin, E. F. Erbe, and J. J. Beard. 2012. *Raoiella indica* (Acari: Tenuipalpidae): an exploding mite pest in the Neotropics. *Exp. Appl. Acarol.* 57: 215-225.
- Lagunes-Tejeda, A., y M. Vázquez-Navarro. 1994. El bioensayo en el manejo de insecticidas y acaricidas. Metodología para la evaluación de plaguicidas en 154 especies de insectos y ácaros. Colegio de Posgraduados en Ciencias Agrícolas. Montecillo, Estado de México. México. p. 16.
- Lagunes-Tejeda, A., J. C. Rodríguez-Maciél, y Juan C. De Loera-Barocio. 2009. Susceptibilidad a insecticidas en poblaciones de artrópodos de México. *Agrociencia* 43: 173-196.
- Lathief, M. A., and W. C. Hoffmann. 2014. Toxicity of selected acaricides in a glass-vial bioassay to two spotted spider mite (Acari: Tetranychidae). *Southwest. Entomol.* 39: 29-36.

CONCLUSIONS

Fenazaquin and milbemectin were the most toxic acaricides against *R. indica* adults, followed by abamectin and dicofol. The least toxic acaricides, in descending order were acequinocyl, fenpyroximate, propargite, formetanate hydrochloride, sulfur, and bifenthrin.

—End of the English version—

---*---

- Marcic, D. 2012. Acaricides in modern management of plant-feeding mites. *J. Pest. Sci.* 85:395-408.
- Monteiro, V. B., M. G. C. Gondim Jr., J. E. M. Oliveira, H. A. A. Siqueira, and J. M. Sousa. 2015. Monitoring *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) resistance to abamectin in vineyards in the Lower Middle São Francisco Valley. *Crop Protect.* 69: 90-96.
- NAPPO (North American Plant Protection Organization's). 2009. Phytosanitary Alert System. Detection of the red palm mite (*Raoiella indica*) in Cancun and Isla Mujeres, Quintana Roo, Mexico. <http://www.pestalert.org/oprDetail.cfm?oprID=406>. (Accessed: August 2015).
- Navia, D., A. L. Marsaro, F. R. Da Silva, M. G. C. Gondim, and G. J. De Moraes. 2011. First report of the Red Palm Mite, *Raoiella indica* Hirst (Acari: Tenuipalpidae), in Brazil. *Neotrop. Entomol.* 40: 409-411.
- Navia, D., A. L. Marsaro, M. G. C. Gondim, R. Santos de Mendonca and F. R. Da Silva. 2013. Recent Mite Invasions in South America. *In*: Peña, J. (ed). Potential Invasive Pests of Agricultural Crops. CAB International. UK. pp: 251-287.
- Robertson, J. L., R. M. Russell, H. K. Preisler, and N. E. Savin. 2007. Bioassays with Arthropods. Second edition. CRC Press, Boca Raton, FL. 199 p.
- Roda, A., A. Dowling, C. Welbourn, J. Peña, J. C. Rodrigues, M. Hoy, R. Ochoa, R. Duncan, and W. De Chi. 2008. Red palm mite situation in the Caribbean and Florida. *Proc. Caribbean Food Crops Soc.* 44:80-87.
- Rodrigues, J. C. V., and J. E. Peña. 2012. Chemical control of the red palm mite, *Raoiella indica* (Acari: Tenuipalpidae) in banana and coconut. *Exp. Appl. Acarol.* 57:317-329.
- Rodrigues, J. C. V., R. Ochoa, and E. C. Kane. 2007. First report of *Raoiella indica* Hirst (Acari: Tenuipalpidae) and its damage to coconut palms in Puerto Rico and Culebra Island. *I. J. Acarol.* 33: 3-5.
- SAS Institute Inc. 2009. SAS/STAT 9.2 User's Guide. Second Edition Cary, NC, USA. 7869 p.
- Sawicki, R. M., and L. Denholm. 1987. Management of resistance to pesticides in cotton pests. *Trop. Pest Manage.* 33: 262-272.
- SENASICA (Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria). 2013. Ácaro Rojo de las Palmas *Raoiella indica* Hirst. Ficha Técnica No. 14. Centro Nacional de Referencia Fitosanitaria, Dirección General de Sanidad Vegetal del SENASICA. México, D.F. 16 p.
- SENASICA (Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria). 2015. Campaña contra Ácaro Rojo de las Palmas. Informe mensual número 6, junio de 2015. Dirección General de Sanidad Vegetal del SENASICA. México, D.F. 10 p. <http://www.senasica.gob.mx/?doc=28985>. (Consulta: Julio 2015).
- Sparks, T. C., and R. Nauen. IRAC: Mode of action classification and insecticide resistance management. *Pestic. Biochem. Phys.* 121: 122-128.
- Van Leeuwen, T, L. Tirry, A. Yamamoto, R. Nauen, and W. Dermauw. 2015. The economic importance of acaricides in the control of phytophagous mites and an update on recent acaricide mode of action research. *Pestic. Biochem. Phys.* 121: 12-21.
- Van Leeuwen, T., J. Vontas, A. Tsagkarakou, W. Dermauw, and L. Tirry. 2010. Acaricide resistance mechanisms in the two-spotted spider mite *Tetranychus urticae* and other important Acari: A review. *Insect Biochem. Molec.* 40: 563-572.
- Vásquez, C., and G. J. De Moraes. 2013. Geographic distribution and host plants of *Raoiella indica* and associated mite species in northern Venezuela. *Exp. Appl. Acarol.* 60:73-82.
- Whalon, M. E., D. Mota-Sánchez, and R. M. Hollingworth. 2008. Analysis of global pesticide resistance in arthropods. *In*: Whalon, M. E., D. Mota-Sánchez, and R. M. Hollingworth (eds). Global Pesticide Resistance in Arthropods. CAB International. UK. pp: 5-31.
- Whalon, M. E., D. Mota-Sánchez, and R. M. Hollingworth. 2016. Arthropod Pesticide Resistance Database. <http://www.pesticideresistance.org/index.php>. (Accessed: January, 2016).