



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO EN FITOSANIDAD

ENTOMOLOGÍA Y ACAROLOGÍA

TOXICIDAD DE CUATRO INSECTICIDAS SOBRE *Dactylopius opuntiae* (HEMIPTERA: DACTYLOPIIDAE)

EDSON HERNÁNDEZ ESPÍNDOLA

T E S I S
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO

2021

La presente tesis titulada: **Toxicidad de cuatro insecticidas sobre *Dactylopius opuntiae* (Hemiptera: Dactylopiidae)** realizada por el alumno **Edson Hernández Espíndola** bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS
FITOSANIDAD
ENTOMOLOGÍA Y ACAROLOGÍA

Consejo Particular

CONSEJERO

Dr. Esteban Rodríguez Leyva

ASESORA

Dra. Laura Della Ortega Arenas

ASESOR

Dr. J. Refugio Lomeji Flores

ASESOR

Dr. Alfredo López Jiménez

TOXICIDAD DE CUATRO INSECTICIDAS SOBRE *Dactylopius opuntiae* (HEMIPTERA: DACTYLOPIIDAE)

Edson Hernández Espíndola, M.C.
Colegio de Postgraduados, 2021

RESUMEN

Dactylopius opuntiae (Cockerell) (Hemiptera: Dactylopiidae) es la plaga clave en el cultivo de *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller (Caryophyllales: Cactaceae) en varias regiones de América, África y Asia. A pesar de que en México la principal herramienta de control es el uso de insecticidas sintéticos y detergentes no existen ensayos formales de su efectividad. El objetivo de este trabajo fue evaluar la toxicidad de malatión, lambda cyhalotrina, spirotetramat y sales potásicas de ácidos grasos sobre *D. opuntiae* en laboratorio e invernadero. En laboratorio, usando una torre de Potter, se determinaron las concentraciones letales 50 y 90 (CL₅₀ y CL₉₀) sobre hembras adultas. En una segunda fase, la efectividad de las CL₉₀ de los tres insecticidas, así como la CL₅₀ de sales potásicas se determinó en condiciones de invernadero. La mortalidad de estas pruebas se evaluó 48 y 144 h después de la aplicación, respectivamente. *Dactylopius opuntiae* resultó susceptible a los cuatro insecticidas. De estos, el malatión fue el producto de mayor toxicidad con una CL₅₀ de 120.4 mg L⁻¹; le siguió lambda cyhalotrina (159.8 mg L⁻¹) y el spirotetramat (756.3 mg L⁻¹). Las sales potásicas fueron las menos tóxicas con una CL₅₀ estimada de 8,970.1 mg L⁻¹. La mayor efectividad, en condiciones de invernadero, se logró con la aplicación de la CL₅₀ (8,970.1 mg L⁻¹) de sales potásicas y la CL₉₀ de spirotetramat (11,567 mg L⁻¹), con 88.3 y 77.3% de mortalidad respectivamente. La mortalidad de la CL₉₀ de spirotetramat (77.3% de mortalidad) y malatión (66.8 % de mortalidad) no difirieron estadísticamente entre sí; mientras la CL₉₀ de lambda cyhalotrina (11,427 mg L⁻¹) ocasionó 45.4% de mortalidad, y fue el insecticida menos tóxico en el ensayo en invernadero. En este trabajo se discute la importancia de la determinación de toxicidad de insecticidas para mejorar su uso contra *D. opuntiae*.

Palabras clave: *Opuntia* spp., nopal, plaga, cochinilla, control químico.

TOXICITY OF FOUR INSECTICIDES ON *Dactylopius opuntiae* (HEMIPTERA: DACTYLOPIIDAE)

Edson Hernández Espíndola, M.C.
Colegio de Postgraduados, 2021

ABSTRACT

Dactylopius opuntiae (Cockerell) (Hemiptera: Dactylopiidae) is a key pest of *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller (Caryophyllales: Cactaceae) in many regions of America, Africa and Asia. Although the main control tool in Mexico are synthetic insecticides and detergents, there are not formal insecticide toxicity assays. The objective of this work was to evaluate the lethal toxicity of malathion, lambda cyhalothrin, spirotetramat and potassium salts on *D. opuntiae* in laboratory and greenhouse assays. In laboratory, using a Potter tower, lethal concentrations (LC₅₀ and LC₉₀) were determined on adult females. At second phase, the effectiveness LC₉₀ of those three conventional insecticides, as well as the LC₅₀ of potassium salts were determined in greenhouse. Mortality was evaluated 48 and 144 h after the application. *Dactylopius opuntiae* was susceptible to the four insecticides. Of these, malathion was the most toxic product, LC₅₀ of 120.4 mg L⁻¹, lambda cyhalothrin (159.8 mg L⁻¹) and spirotetramat (756.3 mg L⁻¹) followed. Potassium salts was the least toxic 8,970.1 mg L⁻¹, the greatest effectiveness in greenhouse was obtained with the LC₅₀ (8,970.1 mg L⁻¹) of potassium salts and the LC₉₀ of spirotetramat (11,567 mg L⁻¹), 88.3 y 77.3% mortality, respectively. Mortality caused by the LC₉₀ of spirotetramat (77.3%) and malathion (66.8%) did not differ statistically; while the LC₉₀ of lambda cyhalothrin (11,427 mg L⁻¹) caused 45.4% mortality, and it was the least toxic insecticide in the greenhouse assay. In this work the toxicity of insecticides to improve their use against *D. opuntiae* is discussed.

Keywords: *Opuntia* spp., prickly pear, pest, cochineal, chemical control.

DEDICATORIA

*A mis hermanas
Ximena e Isabella*

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por brindarme el apoyo económico para la realización de mis estudios de maestría.

Al Colegio de Postgraduados por darme la oportunidad de continuar con mi formación profesional en sus instalaciones.

Al campus Montecillo y al posgrado en fitosanidad, entomología y acarología por poner a mi disposición lo necesario para la investigación.

A mi consejero, el Dr. Esteban Rodríguez Leyva, por su confianza, por el conocimiento transmitido y su por su dedicación en mi mejora como persona y profesionalista.

A la Dra. Laura Delia Ortega Arenas, por sus importantes aportes para el desarrollo del trabajo y su apoyo como amiga.

Al Dr. Lomeli por las atinadas observaciones y la ayuda otorgada desde un principio.

Al Dr. Alfredo López Jiménez por su atención, disposición e interés.

Al Dr. Lauro Soto Rojas por su apoyo en el análisis de datos.

CONTENIDO

RESUMEN	iii
ABSTRACT	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTOS	vi
LISTA DE CUADROS	ix
1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVO	4
3. REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
3.1. Las cactáceas y la importancia de <i>O. ficus indica</i>	5
3.2. Dactylopiidae, <i>Dactylopius</i>	5
3.3. Biología	6
3.4. Importancia	8
3.4.1. Aprovechamiento del carmín	9
3.4.2. Agente de control biológico.....	9
3.4.3. Plaga primaria.....	10
3.5. Manejo integrado	11
3.5.1. Combate mecánico.....	12
3.5.2. Combate genético.....	12
3.5.3. Combate biológico	12
3.5.4 Combate químico.....	13
4. MATERIALES Y MÉTODOS	16
4.1. Cría de insectos	16
4.2. Insecticidas	16
4.3. Bioensayos en laboratorio.....	17
4.4. Evaluación de insecticidas en invernadero	18
4.5. Análisis estadístico.....	19
5. RESULTADOS	20
5.1. Toxicidad de insecticidas en laboratorio	20
5.2. Toxicidad de insecticidas en invernadero	21
6. DISCUSIÓN	23

7. CONCLUSIONES.....	27
8. LITERATURA CITADA.....	28

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Tiempo de desarrollo de <i>Dactylopius opuntiae</i> sobre diversas especies de <i>Opuntia</i>	7
Cuadro 2. Principales insecticidas utilizados contra <i>Dactylopius opuntiae</i> en diferentes países	14
Cuadro 3. Insecticidas utilizados en pruebas de toxicidad sobre <i>Dactylopius opuntiae</i> en laboratorio.....	17
Cuadro 4. Porcentaje de mortalidad de hembras adultas de <i>Dactylopius opuntiae</i> 48 h después de la exposición de insecticidas.....	20
Cuadro 5. Toxicidad de insecticidas sobre <i>Dactylopius opuntiae</i> 48 h después de la exposición.	21
Cuadro 6. Mortalidad de hembras adultas de <i>Dactylopius opuntiae</i> 144 h después de su exposición a insecticidas en condiciones de invernadero.	22

1. INTRODUCCIÓN

La “cochinilla silvestre”, *Dactylopius opuntiae* (Cockerell) (Hemiptera: Dactylopiidae), es la plaga clave en el cultivo del nopal, *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller (Caryophyllales: Cactaceae) y otras especies de *Opuntia* en México y el mundo (Mann 1969; Vanegas-Rico *et al.* 2010; Mazzeo *et al.* 2019). Esta planta se emplea como forraje, para producción de fruto para consumo humano, hortaliza, planta de ornato, y como sustrato de la grana cochinilla para producir colorantes naturales (Hoffmann 1995; Viguera y Portillo 1997). Además, es la cactácea de mayor valor económico, ecológico y funcional en agroecosistemas con escasa precipitación en varias regiones de América, África y Asia (Le Houérou 1996; Flores y Olvera 1995; Kiesling 1999; Nobel 2011).

Dactylopius opuntiae produce cera en forma de fibras y ácido carmínico que se ha relacionado como mecanismo antidepredación (Eisner *et al.* 1980; Barreto-García *et al.* 2020). Además, forma colonias sobre casi cualquier parte de la planta; se alimenta directamente sobre los cladodios y frutos donde causa clorosis, y en infestaciones donde cubre >75% de la superficie de los cladodios causa la caída de frutos y muerte de la planta (Mann 1969; Vanegas-Rico *et al.* 2010). Esta especie tiene atención mundial por dos situaciones contrastantes, la primera como un agente de control biológico de especies de *Opuntia* invasivas en Australia, Sudáfrica, y algunas áreas en otros países (Zimmermann & Moran 1991), y segundo como plaga invasora en miles de hectáreas en al menos 15 países en tres continentes (Lopes *et al.* 2009; Mazzeo *et al.* 2019; Mendel *et al.* 2020). En Brasil, como plaga exótica, provocó daño en nopal forrajero y pérdidas en alrededor de 100,000 ha (Lopes *et al.* 2009; Torres & Giorgi 2018). En Marruecos, entre 2015 y 2020, invadió miles de hectáreas y se estimaron daños y destrucción —para prevenir la dispersión de la plaga— en alrededor de 70,000 ha de nopal forrajero (Bouharroud *et al.* 2018; R. Bouharroud, INRA, comunicación personal). Recientemente en la cuenca del Mediterráneo, en particular en el norte de África y Medio Oriente, se registró la invasión de la plaga y se prevén daños inconmensurables (Mazzeo *et al.* 2019; Mendel *et al.* 2020). En México, donde *O. ficus-indica* y *D. opuntiae* son nativos (Griffith 2004; Chávez-Moreno *et al.* 2009),

el insecto sólo es un problema limitante en agroecosistemas comerciales (Vanegas-Rico *et al.* 2010; Viguera *et al.* 2009), pero no en las áreas naturales (Vanegas-Rico *et al.* 2017; Barreto-García *et al.* 2020).

El control de *D. opuntiae* es difícil debido a que se recubre con secreciones cerosas, semejantes a fibras de algodón, que la protegen de las condiciones climáticas adversas y la acción de productos químicos de contacto (Longo & Rapisarda 1995; Brito *et al.* 2008; Torres & Giorgi 2018). Las propuestas de Manejo Integrado para el combate de *D. opuntiae* incluyen el control cultural y mecánico; uso de aceites vegetales, hongos entomopatógenos y detergentes (Palacios-Mendoza *et al.* 2004; Viguera *et al.* 2009; de Santos *et al.* 2011; Borges *et al.* 2013; El Aalaoui *et al.* 2019). También, hay propuestas para aprovechar el control natural de los enemigos naturales nativos de México, o mediante un programa de control biológico clásico en Israel (Vanegas-Rico *et al.* 2010, 2016, 2017; Mendel *et al.* 2020). Además, hay programas de selección de variedades forrajeras de *O. ficus-indica* resistentes a *D. opuntiae* en Brasil (Torres & Giorgi 2018) y Marruecos (Akroud *et al.* 2021). A pesar de todas las tácticas disponibles, el control químico tiene un papel relevante en el combate de esta plaga. Particularmente por la biología reproductiva de la especie, y como una forma rápida para contrarrestar el súbito incremento poblacional en regiones con temperaturas elevadas y baja precipitación (Vanegas-Rico *et al.* 2010; Palafox-Luna *et al.* 2018; Torres & Giorgi 2018).

El historial de aplicación química contra *D. opuntiae* incluye el uso organofosforados y piretroides en Sudáfrica (Pretorius & Van Ark 1992); neonicotinoides (tiаметoxan, imidacloprid) y piretroides (lambda cyhalotrina y bifentrina) en Brasil (Cavalcanti *et al.* 2001; Torres & Giorgi 2018); organofosforados (malatión y clorpirifós), piretroides (alpha cipermetrina) y piriproxifen en Marruecos (El Aalaoui *et al.* 2019); así como carbamatos (sevin) en EE.UU. (Aldama-Aguilera 2008). En México es común el uso de organofosforados y algunos detergentes (Badii & Flores 2001; Luna-Vázquez *et al.* 2012; SENASICA 2014); sin embargo, no existen insecticidas autorizados para su combate (CICOPLAFEST 2020; COFEPRIS 2020).

Los artículos de insecticidas en *D. opuntiae* abordaron pruebas de efectividad biológica con ligeras variaciones, pero no establecieron las concentraciones letales de los productos (Palacios-Mendoza *et al.* 2004; Viguera *et al.* 2009; de Santos *et al.* 2011; Borges *et al.* 2013). Por tanto, para proporcionar información que sirva de base para mejorar la táctica de control químico contra *D. opuntiae*, se propuso el objetivo siguiente.

2. OBJETIVO

Evaluar la toxicidad de cuatro insecticidas, sobre hembras de *D. opuntiae*, en condiciones de laboratorio e invernadero.

3. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1. Las cactáceas y la importancia de *O. ficus indica*

La familia Cactaceae incluye alrededor de 1,600 especies nativas de América. En general son plantas con sistemas morfológicos y fisiológicos que las habilitan para soportar temperaturas elevadas y baja precipitación (Nobel 1988; Chessa *et al.* 2002). *Opuntia* es el género más conocido y diverso de cactáceas, con aproximadamente 350 especies (Britton & Rose 1963; Nefzaoui *et al.* 2014); México es centro de origen y diversificación de cactáceas en el continente (Griffith 2004), y cuenta con al menos un centenar de estas especies, que cubren cerca de 1.5% del área nacional (tres millones de hectáreas) (Soberon *et al.* 2001).

Opuntia ficus-indica se cultivada en más de 20 países en América, África, Europa y Asia (Asciuto *et al.* 1997; Casas & Barbera 2002; Haile *et al.* 2002; Nobel 2011), y se considera la cactácea de mayor valor económico (Flores y Olvera 1995; Kiesling 1999). Tiene diversos usos y aplicaciones por agricultores, ganaderos y científicos del mundo (Ochoa & Barbera 2018). Esta planta se utiliza como forraje, fruto, verdura, planta de ornato, y como sustrato de la grana cochinilla (*Dactylopius coccus* Costa) para obtener colorantes naturales (Hoffmann 1995), también en la industria cosmética y farmacéutica (Sáenz *et al.* 2004; Reyes-Agüero *et al.* 2006; Ayadi *et al.* 2009).

Opuntia ficus-indica es sustrato de alimentación de alrededor de 160 especies de insectos (Dodd 1940; Mann 1969; Zimmermann & Granata 2002). De todas ellas, *Dactylopius* spp. es la plaga más importante de esta cactácea en el mundo (Portillo & Viguera 2006; Mazzeo *et al.* 2019).

3.2. Dactylopiidae, *Dactylopius*

Dactylopiidae pertenece a la superfamilia Coccoidea, misma que se divide en dos grupos informales: Archaeococcoidea y Neococcoidea (Gullan & Cook 2007). Dactylopiidae forma parte del segundo grupo y constituye una familia monogenérica, nativa de los desiertos de Estados Unidos de América, México y, en menor grado, de América del sur (Miller 1996; Ben-Dov & Marotta 2001; Portillo & Viguera 2006; García-Morales *et al.* 2016).

El género *Dactylopius* se considera un grupo de insectos difíciles de identificar; se conocen comúnmente como cochinillas del carmín, por la producción de ácido carmínico, y tienen una historia coevolutiva estrecha con las cactáceas, ya que son sus únicas hospederas (De Lotto 1974; Chávez-Moreno *et al.* 2009). Hay once especies del género *Dactylopius* reconocidas: *D. austrinus* De Lotto, *D. ceylonicus* Green, *D. coccus* Costa, *D. confertus* De Lotto, *D. confusus* Cockerell, *D. gracilipus* Van Dam & May, *D. opuntiae* Cockerell, *D. salmianus* De Lotto, *D. tomentosus* Lamarck, *D. zimmermanni* De Lotto y *D. bassi*, esta última en proceso de la corroboración específica (De Lotto 1974; Pérez-Guerra & Kosztarab 1992; Ben-Dov & Marotta 2001; Portillo & Viguera 2006).

3.3. Biología

Todas las especies de *Dactylopius* tienen un ciclo de vida similar. Las hembras tienen cuatro estados de desarrollo: huevo, ninfa I, ninfa II y adulta; mientras que, los machos tienen cinco: huevo, ninfa I, ninfa II, pupa y adulto (Moran & Cobby 1979; Pérez-Guerra & Kosztarab 1992; Palafox-Luna *et al.* 2018).

El tiempo de desarrollo *D. opuntiae* se ha determinado a diferentes temperaturas en trabajos previos (Cuadro 1). Los huevos presentan forma oval y tonalidad rojo brillante característica de la familia; es común que los huevos se alternen en distinto estado de incubación, inclusive con ninfas I completamente desarrolladas (Mathenge *et al.* 2009; Palafox-Luna *et al.* 2018). Después de emerger, las ninfas I (caminantes) buscan un lugar para alimentarse, regularmente cerca de la madre o en lugares con escasa incidencia de los rayos solares; después de fijarse al cladodio, las ninfas I inmediatamente comienzan a producir cera (Mann 1969; Pérez-Guerra & Kosztarab 1992; Palafox-Luna *et al.* 2018).

Cuadro 1. Tiempo de desarrollo de *Dactylopius opuntiae* sobre diversas especies de *Opuntia*.

Hospedera	Condiciones	Sexo	Huevo	Ninfa I	Ninfa II	Pupa	Adulto	Total	Referencia
<i>D. opuntiae</i> sobre <i>O. ficus-indica</i>	25±1 °C, 40±10% H. R.	Hembra	61.78±24 min	7.68±1.49	9.07±1.98			16.78±2.69	Palafox-Luna et al. 2018
		Macho	61.78±24 min	8.59±1.54	7.74±0.79	8.81±1.05		24.48±2.23	
<i>D. opuntiae</i> sobre <i>O. megacantha</i>	19.5-23.6°C	Hembra		18.1 d			38.4 d	77 d	Flores-Hernández et al. 2004
		Macho		19.8 d			4.2 d	43 d	
<i>D. coccus</i> sobre <i>O. ficus-indica</i>	16.5-21°C, 80-86% H. R.	Hembra	15-20 min	21-25 d	13-18 d			103-138 d	Marín y Cisneros 1977
		Macho	15-20 min	21-25 d	8-12 d	18-22 d	3 d	51-63 d	

El segundo ínstar presenta una duración mayor en hembras que en machos, las ninfas toman un aspecto brillante, con la característica típica de rápida producción de cera; a partir del segundo ínstar, las hembras permanecen inmóviles toda su vida, con el aparato bucal insertado en el cladodio; los machos pueden retraer el aparato bucal, tener movilidad y buscar un sitio para pupar (Pérez-Guerra & Kosztarab 1992; Flores-Hernández *et al.* 2006; Palafox-Luna *et al.* 2018).

La duración de los estados está en función de la temperatura, pero con frecuencia existe sincronización entre la emergencia del macho y la segunda muda de hembras (Cruz 1990; Méndez 1992; Flores-Hernández *et al.* 2006). En estado adulto los machos tienen menor tamaño que las hembras; usualmente caminan o vuelan en busca de hembras maduras. Las hembras producen cera, de aspecto algodonoso, que aumenta en volumen hasta cubrirlas por completo; excretan gotas de un líquido viscoso en la parte dorsal, que se sospecha es indicación de madurez sexual; aunque no se ha determinado el papel de esa sustancia (Marín y Cisneros 1977; Rodríguez *et al.* 2005; Palafox-Luna *et al.* 2018). La cópula comienza pocos días después de llegar al estado adulto y las hembras aumentan el volumen de su cuerpo, probablemente por la acumulación de huevos en las ovarias (Marín y Cisneros 1977; Pérez-Guerra & Kosztarab 1992; Palafox-Luna *et al.* 2018).

3.4. Importancia

El comercio de *Dactylopius* como insecto útil, según el Códice Mendocino, tenía importancia económica desde la época prehispánica en Mesoamérica (Villaseñor-Ulloa 2010). De acuerdo con Ferris (1955), se distinguían dos tipos de cochinillas, la fina o grana cochinilla (*D. coccus*) y la silvestre (*D. opuntiae*). Este género es importante por ser productor de ácido carmínico, que se explota de manera comercial; también por usarse como agente de control biológico de especies de *Opuntia* invasivas en algunos países, como Sudáfrica y Australia; además de considerarse plaga primaria o clave de *O. ficus-indica* en áreas de cultivo en México, Brasil, Marruecos, Medio Oriente y norte de África (Vanegas-Rico *et al.* 2010; Bouharroud *et al.* 2016; Mazzeo *et al.* 2019; Mendel *et al.* 2020).

3.4.1. Aprovechamiento del carmín

Aunque todas las especies de *Dactylopius* producen ácido carmínico, una sustancia que se considera como mecanismo contra la depredación (Eisner *et al.* 1980; Barreto-García *et al.* 2020; Ruiz-Trejo *et al.* 2021), las hembras grávidas de *D. coccus* son la principal fuente de carmín en el sector agroindustrial (Piña 1977). Las aplicaciones del carmín incluyen a la industria cosmética, alimenticia, farmacéutica y textil (Vigueras y Portillo 1997, Vigueras *et al.* 2009). Debido a la baja concentración de ácido carmínico en las otras especies de *Dactylopius* (menor al 5%), así como la menor calidad del colorante, y la presencia de mayor cantidad de cera en forma de fibras cerosas, no se utilizan para la extracción de ácido carmínico (Flores-Hernández *et al.* 2006).

3.4.2. Agente de control biológico

Algunas especies de *Dactylopius* se utilizaron desde 1913 como agentes de control biológico contra especies invasivas de *Opuntia*, sobre todo de especies espinosas (Zimmermann & Moran 1991). En la década de 1930, en Sudáfrica, se reportó la invasión de especies de *Opuntia* en una extensa superficie de pastoreo, donde *D. opuntiae* fue el agente de control biológico más eficiente y se le atribuyó la eliminación de cactus en 75% de las áreas infestadas (Pettey 1947; Annecke & Moran 1978). Algunos reportes adicionales como en 1997, en el mismo país, indicaron que algunas colonias de *D. opuntiae* provenientes de Australia, fueron exitosas para combatir a especies de *Opuntia* en el Kruger National Park (Lotter & Hofmann 1998; Foxcroft & Hoffmann 2000). En Australia en 1920, se introdujo *Dactylopius opuntiae* y desde entonces, se considera como una de las especies más eficientes al contribuir en la reducción de *O. stricta* en algunas áreas australianas. Otros sitios donde se introdujo *D. opuntiae* contra especies de *Opuntia* fueron Hawaii (E.E.U.U.), India, Indonesia, Mauritania y Sri Lanka (Dodd 1940; Annecke & Moran 1978; Hosking *et al.* 1994; Mazzeo *et al.* 2019).

3.4.3. Plaga primaria

Dactylopius opuntiae ocasiona daño por alimentación, produce clorosis en cladodios y frutos, disminución del rendimiento y favorece la infección por agentes fitopatógenos (Mann 1969; Vanegas-Rico *et al.* 2010). *Dactylopius opuntiae* se considera la especie del género más agresiva para *O. ficus-indica*, debido a que en densidades altas, que pueden cubrir el 50 o 75% del área de los cladodios, pueden ocasionar caídas prematuras de cladodios y hasta la muerte (Vanegas-Rico *et al.* 2010; Klein 2011; Paterson *et al.* 2011).

Las especies de *Opuntia* y su fitófago *D. opuntiae* son elementos representativos del sur de Estados Unidos, pero sobre todo del norte y centro de México, donde son nativas (Nobel 1988; Nobel 2011). Además, las especies de *Opuntia*, particularmente *O. ficus-indica*, son de valor ecológico, económico y cultural en México y otras partes del mundo (Le Houérou 1996; Nobel 1988; Griffith 2004).

En México, aunque la superficie estimada de áreas naturales donde se presentan especies de *Opuntia* supera los tres millones de hectáreas (Soberon *et al.* 2001), sólo se cultivan alrededor de 57,000 ha. En el 2020, se sembraron más de 12,000 ha de nopal verdura y 45,000 ha de nopal tunero (SIAP 2021). Aunque se sabe de su uso y explotación, la superficie de nopal que se usa como forraje es más difícil de estimar y en las estadísticas nacionales este registro no siempre aparece.

Dactylopius opuntiae como plaga en las áreas de producción comercial de *O. ficus-indica*, pudiera atribuirse a varios factores; por ejemplo, al incremento de la superficie comercial y a las prácticas de producción intensiva, reducido número de prácticas preventivas o de combate cultural y mecánico (por la demanda excesiva de mano de obra), entrenamiento limitado en el seguimiento de dinámica de poblaciones y por supuesto, al uso de plaguicidas que no están autorizados en nopal; los cuales afectan directamente a los enemigos naturales (Delgadillo *et al.* 2008; Vanegas-Rico *et al.* 2010).

En Brasil, desde su introducción como plaga exótica e invasiva en 2001, representó un riesgo serio para *O. ficus-indica* que se usaba como forraje en las

áreas de baja precipitación (al menos 500,000 ha). En poco más de ocho años, *D. opuntiae* ocasionó pérdidas en al menos 100,000 ha, y fue la responsable para que se iniciara un programa de mejoramiento genético para resistencia a esta plaga, y sustituir más de 100,000 ha en ese país, aun así, ocasionalmente se recurre al uso de insecticidas para su combate (Lopes *et al.* 2009; Torres & Giorgi 2018).

Dactylopius opuntiae ha infestado nopales en varios países alrededor del Mediterráneo, en al menos 120,000 ha, y eso ha tenido un impacto social, económico y ecológico inconmensurable (Mazzeo *et al.* 2019; Mendel *et al.* 2020). En 2013 en Israel, *D. opuntiae* se detectó en distintas localidades del norte del país. *Opuntia* es una planta simbólica en Israel, tiene una relevancia ecológica; además, produce fruta en muchas áreas de traspatio, y en superficies comerciales reducidas (Spodek *et al.* 2014; Mendel *et al.* 2020). En Marruecos, se reportó en 2014 y desde entonces se ha dispersado rápidamente. Entre 2015 y 2020, los daños por esta plaga fueron tan severos que se destruyeron alrededor de 70,000 ha de *O. ficus-indica* por daños directos y para disminuir los riesgos de dispersión de la plaga a otras áreas de producción en ese país (Bouharroud *et al.* 2016, 2018; R. Bouharroud, INRA, Marruecos, comunicación personal). Además, *D. opuntiae* representa un riesgo para países que usan a *O. ficus-indica* como planta forrajera, aportación de agua y alimentación en las temporadas de sequía, particularmente del norte de África y Medio Oriente (Mazzeo *et al.* 2019; Mendel *et al.* 2020).

3.5. Manejo integrado

Por el daño que provoca *D. opuntiae* en *O. ficus-indica*, y por su importancia mundial es necesario insistir en el desarrollo del manejo integrado de plagas, donde a partir del conocimiento del control natural y la dinámica de poblaciones, se usan diversas tácticas de combate preventivas, en vez de depender del combate químico, para mantener la plaga por debajo del umbral económico (Toledo e Infante 2008; Romero-Rosales 2010).

3.5.1. Combate mecánico

El combate mecánico es crucial si se dirige a las primeras colonias de *D. opuntiae*. Este método consiste en usar un cepillo o escoba de cerdas plásticas para remover al insecto de los cladodios infestados (Palacios-Mendoza *et al.* 2004; Mazzeo *et al.* 2019; Torres & Giorgi 2018). Es una táctica efectiva, que demanda mucha mano de obra, pero que es efectiva si se aplica cuando hay pocas plantas infestadas, y antes de que las condiciones ambientales favorezcan el crecimiento explosivo de la población, como ocurre en México, de marzo a mayo (Vanegas-Rico *et al.* 2010; CESAVEDF 2020).

3.5.2. Combate genético

La resistencia del huésped contra *D. opuntiae* es una característica deseable y la que pudiera ser la base del manejo integrado. En México existen variedades de nopal para verdura o para fruta con características organolépticas seleccionadas por siglos, y jamás recibieron atención por sus características de resistencia a *D. opuntiae*. En el caso de Brasil, y recientemente Marruecos, la alternativa más importante para enfrentar la invasión reciente de *D. opuntiae* se dirigió al mejoramiento genético. Brasil comenzó el uso de cultivares resistentes de *O. ficus-indica* en 2002; los clones “Miuda” y “Orelha de Elefante”, han mostrado resistencia a *D. opuntiae* (Da Silva *et al.* 2009; Vasconcelos *et al.*, 2009). En los últimos años, en Brasil se ha iniciado a replantar una región con las variedades resistentes, pero faltan miles de hectáreas para alcanzar su objetivo. Por otro lado, Marruecos inició su propio programa y aún no tienen idea de cuantos años podría llevar replantar las más de 200,000 ha del país (Akround *et al.* 2021).

3.5.3. Combate biológico

Hay al menos 13 especies depredadoras de *D. opuntiae* y *D. coccus* nativas de México y el sur de Estados Unidos (Gilreath & Smith 1987; Portillo & Viguera 1998; Vanegas-Rico *et al.* 2010; Cruz-Rodríguez *et al.* 2016). En México, se considera que tres especies de depredadores de *D. opuntiae* son los más

importantes. Estos son *Hyperaspis trifurcata* (Coleoptera: Coccinellidae), *Laetillia coccidivora* (Lepidoptera: Pyralidae) y *Leucopina bellula* (Diptera: Chamaemyiidae) podrían figurar como los mejores elementos de control (Gilreath & Smith 1987; Vanegas-Rico *et al.* 2010, 2016, 2017; Cruz-Rodríguez *et al.* 2016).

Los coccinélidos *H. trifurcata* y *Chilocorus cacti* (Coleoptera: Coccinellidae), son los más abundantes en Norteamérica (Mann 1969; Zimmermann *et al.* 1979; Vanegas-Rico *et al.* 2010), pero *H. trifurcata* parece tener uno de los papeles más relevantes en la regulación de *D. opuntiae* en ecosistemas y agroecosistemas donde se presenta *Opuntia* spp., en México y el sur de Estados Unidos (Gilreath & Smith 1987; Vanegas-Rico *et al.* 2010, 2016; Cruz-Rodríguez *et al.* 2016).

Existen algunos trabajos que consideraron otros coccinélidos para combatir a *D. opuntiae*; por ejemplo, *Cryptolaemus montrouzieri* (Coleoptera: Coccinellidae) contra *Dactylopius tomentosus* (Hemiptera: Dactylopiidae) en India y contra *D. opuntiae* en Marruecos e Israel (Singh 1978; Baskaran *et al.* 1999; Mendel *et al.* 2020). En Israel se inició un programa de control biológico clásico de *D. opuntiae* con dos enemigos naturales originarios de México: *Leucopina bellula* e *Hyperaspis trifurcata*, aunque aún es temprano para hablar del establecimiento de éstos, la información actual indica que el coccinélido está ejerciendo un papel regulador de la plaga (Mendel *et al.* 2020).

3.5.4 Combate químico

El número de insecticidas que se han empleado para combatir *D. opuntiae* varía en cada país (Cuadro 2). En Sudáfrica se usaron organofosforados y piretroides (Pretorius & Van Ark 1992). En Brasil, debido al uso de distintos insecticidas contra *D. opuntiae*, fue necesario un permiso especial por parte del Ministerio de Agricultura para recomendar su uso adecuado (Cavalcanti *et al.* 2001; Torres & Giorgi 2018).

En México no existen insecticidas autorizados para esta plaga (CICLOFAPES 2020; COFEPRIS 2020); aun así, el control químico es una de las tácticas de combate más frecuentes contra esta plaga en nopal; no obstante que se usan principalmente organofosforados, no hay trabajos formales de evaluación

de la toxicidad (Sánchez & Alaniz 1997; Badii & Flores 2001). En Marruecos se propusieron algunos organofosforados como herramienta para la respuesta inmediata, pero ahora tratan de recomendar productos de bajo impacto sobre los enemigos naturales (Bouharround *et al.* 2018).

Cuadro 2. Principales insecticidas utilizados contra *Dactylopius opuntiae* en diferentes países

País	Ingrediente activo (i.a.)	Grupo toxicológico (IRAC)	Referencias
Brasil	Tiametoxan, imidacloprid, lambda cyhalotrina y bifentrina	Piretroides (3A), Neonicotenoideos (4A)	Cavalcanti <i>et al.</i> 2001; Torres & Giorgi 2018
México	Malatión y clorpirifos	Organofosforados (1B)	Sánchez y Alaniz 1997; Aguilar 2000; Badii & Flores 2001
Marruecos	Malatión, clorpirifós, alpha cipermetrina, y piriproxifen	Organofosforados (1B), piretroides (3A), piriproxifen (7C)	El Alaoui <i>et al.</i> 2019
Sudáfrica	Clorpirifós y cipermetrina	Organofosforados (1B), piretroides (3A)	Petorius & Van Ark 1992

El mal uso de insecticidas tiene consecuencias desfavorables en productores, consumidores y ambiente (Carson 1962). Por lo que se ha propuesto el uso de productos como aceites naturales, hongos entomopatógenos, extractos vegetales y detergentes, que han resultado poco eficientes cuando se usan en campo (Palacios-Mendoza *et al.* 2004; Brito *et al.* 2008; Viguera *et al.* 2009; de Santos *et al.* 2011; Borges *et al.* 2013; El Alaoui *et al.* 2019; Ramdani *et al.* 2020).

Los dactilópodos son insectos difíciles de eliminar con insecticidas de contacto, debido a que la cera que producen los protege durante la mayor parte de su vida, esa cera en forma de fibras (lo que favorece el adjetivo de algodonosa) forma una barrera mecánica resistente a las condiciones climáticas adversas y productos químicos (Longo & Rapisarda 1995; Brito *et al.* 2008; Torres & Giorgi 2018), y conduce a muchos productores a aumentar el número de aplicaciones. El mal manejo de insecticidas puede contribuir a acelerar la selección de resistencia e incrementar costos de producción (Viguera *et al.* 2009), aunque no existe una estimación económica de su daño, del costo de su

combate ni del daño a especies no objetivo (Vanegas-Rico *et al.* 2010). Los plaguicidas tienen un papel importante en el ámbito agrícola, y el control químico por ser una táctica de combate frecuente contra *D. opuntiae* debe mejorarse (Sánchez & Alaniz 1997; Aguilar 2000; Badii & Flores 2001). Además, es necesario incrementar el número de trabajos formales que establezcan la toxicidad de los productos y la eficiencia en campo, de esta manera se documentará la situación real, y se tendrán bases para mejorar el uso de esas herramientas de combate en los momentos oportunos.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Cría de insectos

La cría de *D. opuntiae* se estableció con individuos recolectados en parcelas comerciales de *O. ficus indica* de Tlalnepantla, Morelos (19°00'28" N; 98°59'51" O). Los cladodios que se emplearon para la cría fueron de alrededor de 10 meses de edad (30-40 cm de largo y 4-6 cm de espesor), obtenidos de una parcela sin aplicación de insecticida. Para prevenir incidencia de hongos o bacterias, particularmente en la base de los cladodios, éstos se sumergieron en sales cuaternarias ANIBAC® al 0.2%, se dejaron secar y después se emplearon para la infestación con *D. opuntiae*. La cría de *D. opuntiae* se realizó siguiendo la metodología de Palacios-Mendoza *et al.* (2004) y se mantuvo a $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$, $64 \pm 3\%$ H.R., 14:10 L: O; además, ésta se enriquecía cada dos semanas con material de campo de la misma región. Los insectos provinieron de campos de nopal que han usado el combate químico como herramienta principal en los últimos 30 años (GIIN 2007).

4.2. Insecticidas

Las cuatro formulaciones comerciales de insecticidas que se evaluaron fueron de diferente grupo toxicológico y de uso común en zonas de producción de *O. ficus indica* (Luna-Vázquez *et al.* 2012; SENASICA 2014; El Aalaoui *et al.* 2021). También, se consideró la accesibilidad de los productos y la inclusión de un producto de uso general que se considera de menor impacto en insectos benéficos (Cuadro 3).

Las diluciones de los insecticidas se realizaron con agua corriente para obtener una concentración madre a partir de la cual se hicieron diluciones subsecuentes, a las que se añadió Inex® al 0.1% como adherente. Para evaluar la toxicidad de los insecticidas se realizaron dos experimentos independientes, uno en laboratorio y otro en invernadero.

4.3. Bioensayos en laboratorio

Para realizar las pruebas de toxicidad en laboratorio se seleccionaron hembras adultas de 40-50 días de edad de *D. opuntiae*, éstas se recolectaron de cladodios infestados de la cría. Las hembras se separaron en grupos de 10 dentro de cajas Petri (Ø 5.5 cm), que contenían una base de papel filtro previamente humedecido

Cuadro 3. Insecticidas utilizados en pruebas de toxicidad sobre *Dactylopius opuntiae* en laboratorio.

Ingrediente activo (i.a.)	Nombre comercial y marca	Grupo toxicológico (IRAC)	[i.a.] %	Modo de acción
Malatión	Malathion 1000 (Dragón)	Organofosforados (1B)	83.6	Afecta la transmisión sináptica por inhibición de la acetilcolinesterasa
Lambda cihalotrina	Karate Zeon 5 (Syngenta)	Piretroide (3A)	5.15	Moduladores de los canales de sodio
Spirotetramat	Movento 150 (Bayer)	Ácido tetrónico (23)	15.3	Inhibidores de la acetil CoA carboxilasa
Sales potásicas de ácidos grasos	Impide (Gowan)	Desconocido (UN)	49	Desconocido

La aplicación de los insecticidas se realizó mediante una torre de aspersion de Potter (60 x 60 x 120 cm), con una boquilla neumática de aspersion de cono sólido (Cat. 1/4J-SS+SU1A-SS, Spraying Systems, Wheaton, IL, USA), conectada a una fuente de aire con presión constante. El sistema se calibró para aplicar 2 mg cm⁻² de insecticida al usar 10 mL de solución a una presión de 20 PSI. Las unidades experimentales se colocaron a 1 m de distancia de la fuente de aspersion.

Después de la aplicación de los tratamientos, las cajas se cerraron y mantuvieron dentro de una cámara bioclimática en condiciones controladas (20 ± 2°C, 64 ± 3% H.R., 14:10 h L: O). La mortalidad se registró 48 h después de la aplicación. Los individuos se consideraron muertos cuando no reaccionaron al ser

estimulados con las cerdas de un pincel 000 o presentaban evidentes signos de endurecimiento, reducción de tamaño, y/o escasa producción de cera.

Para cada insecticida, primero se estimó la ventana de respuesta biológica con la aplicación de seis concentraciones seriadas ($1.0 - 1 \times 10^{-5} \%$) de insecticida, con un testigo en cada caso y dos repeticiones, para identificar aquellas que causaron entre el 10 y el 100 % de mortalidad a las 48 h. Posteriormente se realizó el bioensayo con al menos siete dosis. El diseño del bioensayo fue completamente al azar. Para cada prueba de insecticida/concentración se emplearon 10 individuos y se realizaron cuatro repeticiones. Los insectos del control fueron tratados con 10 mL de agua con Inex® al 0.1%. El nivel máximo de mortalidad aceptable en el testigo fue 12%, en caso de registrarse un valor igual o superior entonces la mortalidad observada se ajustó mediante la ecuación de Abbott (1925).

4.4. Evaluación de insecticidas en invernadero

Para el ensayo en invernadero se establecieron plantas de *O. ficus indica* en macetas de 15 L, con composta como sustrato, y riegos cada 3 días. Para mantener dos cladodios por planta madre se realizaron podas continuas. Después de 10 meses los cladodios alcanzaron 30-40 cm de largo y 3-5 cm de espesor, y se infestaron con *D. opuntiae*. La infestación se realizó de manera individual usando la metodología de Vanegas-Rico *et al.* (2016). De manera general, se fijó una bolsa de papel glassine de 9 cm² con 30 hembras adultas por cada cladodio; las ninfas de primer ínstar colonizaron los cladodios por 72 h, después de esto se retiraron las hembras y bolsas de los cladodios, y las plantas se mantuvieron en invernadero a $24 \pm 10^\circ\text{C}$, y $54 \pm 11\%$ H.R., con el fotoperiodo natural en primavera para la región de Texcoco, Estado de México ($19^\circ 30' 20''$ N; $98^\circ 52' 55''$ O). Después de 6 semanas las plantas tenían de 20 a 30 colonias de *D. opuntiae* por cladodio y hembras adultas de alrededor de 40 días. Este experimento consistió en determinar, bajo condiciones de invernadero, la efectividad de las CL₉₀'s de líneas base de cada insecticida, estimadas en los ensayos de toxicidad. Las CL₉₀'s se evaluaron para el spirotetramat (11,567 mg L⁻¹), malatión (3,209.4 mg L⁻¹) y

lambda cyhalotrina (11,427 mg L⁻¹). De sales potásicas sólo fue posible evaluar las CL₅₀ (8,970.1 mg L⁻¹), debido a que la CL₉₀ resultaba en una solución viscosa que dificultaba la aplicación con el equipo de aspersion.

Los dos cladodios infestados de cada planta madre se consideraron como la unidad experimental. Cada unidad experimental se asperjó hasta punto de escurrimiento con una boquilla de acero inoxidable de cono lleno 1/4, conectada a una fuente de aire con presión constante de 30 PSI, con la concentración del insecticida correspondiente. Para cada tratamiento se realizaron ocho repeticiones y para cada uno se incluyó un testigo al que solo se le aplicó agua con Inex® al 0.1%. Las plantas tratadas se dispusieron al azar dentro del invernadero. La mortalidad se registró a las 144 h después de la aplicación. Al igual que los ensayos de laboratorio, se consideraron muertos a los insectos que no reaccionaron al ser estimulados con las cerdas de un pincel 000, o que presentaban signos de endurecimiento, reducción de tamaño, y/o escasa producción de cera.

4.5. Análisis estadístico

Para el bioensayo de laboratorio las concentraciones expresadas en mg L⁻¹, y la mortalidad de *D. opuntiae* causada por los insecticidas, se procesaron para estimar las CL₅₀ y CL₉₀ de cada insecticida, y realizar una prueba de rangos de medias ajustadas por Kruskal-Wallis ($\alpha=0.05$). También se estimaron los límites fiduciales (LF) al 95% de confiabilidad, así como la pendiente de línea de regresión con su error estándar asociado ($b \pm EE$) y el valor de la chi cuadrada (χ^2) para la prueba de ajuste al modelo Probit (Yu, 2015; Robertson *et al.* 2017). Los datos de mortalidad de *D. opuntiae* en el invernadero se sometieron a un análisis de varianza y cuando fue necesario se realizó una prueba de separación de medias Tukey ($\alpha= 0.05$). Los análisis de datos fueron hechos con el software estadístico RStudio versión 4.0.5.

5. RESULTADOS

5.1. Toxicidad de insecticidas en laboratorio

En los bioensayos de laboratorio, *D. opuntiae* resultó susceptible a los cuatro insecticidas evaluados, estos causaron una mortalidad diferencial en laboratorio (CL_{50} , $\kappa=12.72$, $gl= 3$, $p < 0.005$; CL_{90} , $\kappa=8.66$, $gl= 3$, $p < 0.03$). El grado de toxicidad dependió del insecticida y la concentración aplicada. La mortalidad total (100%) se obtuvo con spirotetramat a 6,000 mg L⁻¹, mientras que con malatión y lambda cyhalotrina la mortalidad fue de 90 y 92.5 % a 10,000 mg L⁻¹, respectivamente. Con sales potásicas la mortalidad máxima lograda fue del 75% a 100,000 mg L⁻¹, situación que afectó la estimación precisa de las concentraciones letales (Cuadro 4).

Cuadro 4. Porcentaje de mortalidad de hembras adultas de *Dactylopius opuntiae* 48 h después de la exposición de insecticidas.

Concentración (mg L ⁻¹)	Mortalidad (%)			
	Malation ¹	Lambda cyhalotrina ¹	Spirotetramat ¹	Sales Potásicas ¹
100,000	-	-	-	75 a
35,000	-	-	-	70 a
10,000	90 a	92.5 a	100 a	57.5 b
6,000	-	-	100 a	40 c
3,500	-	85 ab	-	-
2,000	-	-	55 b	27.5 d
1,000	82.5 ab	80 b	47.5 bc	22.5 d
600	72.5 bc	57.5 c	42.5 cd	-
200	62.5 c	50 cd	35 d	-
100	45 d	42.5 d	20 e	17.5 d
35	30 e	-	-	-
10	15 f	25 e	7.5 f	-
Testigo	7.5 f	10 f	2.5 f	5 e

Letras distintas entre concentraciones indican diferencias significativas.

¹Por Kruskal-Wallis y comparación de rangos de medias ajustadas ($\alpha=0.05$).

(-) Concentración no evaluada

El malatión fue el producto más tóxico para *D. opuntiae* ($CL_{50} = 120.4$ mg L⁻¹ ¹), seguido de lambda cyhalotrina (159.8 mg L⁻¹) y spirotetramat (756.3 mg L⁻¹).

Las sales potásicas fueron el tratamiento con menor toxicidad, se necesitaron 8,970.1 mg L⁻¹ del producto para ocasionar el 50% de mortalidad. Esa toxicidad de los insecticidas tuvo la misma tendencia en la determinación de la CL₉₀. Malatión fue el tratamiento con mayor toxicidad (3,209.4 mg L⁻¹), seguido por lambda cyhalotrina (11,427 mg L⁻¹) y spirotetramat (11,567 mg L⁻¹). La CL₉₀ de sales potásicas fue 688,576 mg L⁻¹, la baja toxicidad del producto sobre *D. opuntiae* no permitió establecer la estimación con precisión. El valor de la pendiente osciló entre 0.61 y 1.72, lo que indicó heterogeneidad de la población en su respuesta a sales potásicas y mayor homogeneidad para spirotetramat, respectivamente. Los valores de χ^2 fueron un indicador de que no existió diferencia entre los valores observados y esperados (Cuadro 5).

Cuadro 5. Toxicidad de insecticidas sobre *Dactylopius opuntiae* 48 h después de la exposición.

Variable	Malatión	Lambda cyhalotrina	Spirotetramat	Sales potásicas
n	40	40	40	40
b ± EE	0.8 ± 0.07	0.72 ± 0.07	1.72 ± 0.43	0.61 ± 0.08
CL ₅₀	120.4	159.8	756.3	8970.1
LF95%	94.5-146.2	99.8-219.8	530.2-982.3	6106-11834
CL ₉₀	3,209.4	11,427	11,567	68,8576
LF95%	1,382.5-5,036.4	1,819.1-21,035	42,92.2-18,842	-38,019-141,5172
χ^2	0.011	0.017	0.33	0.024

n= número de insectos tratados. b ± EE = pendiente ± error estándar. CL₅₀ = concentración letal que causa mortalidad en el 50% de la población (mg L⁻¹). CL₉₀ = concentración letal que causa mortalidad en el 90% de la población (mg L⁻¹). LF = límites fiduciales al 95%. χ^2 = chi cuadrada.

5.2. Toxicidad de insecticidas en invernadero

Al igual que en las pruebas en laboratorio, los cuatro insecticidas resultaron tóxicos a *D. opuntiae* en pruebas de invernadero, y la toxicidad dependió del insecticida y concentración evaluada. Sin embargo, a diferencia de lo que se registró en ensayos de laboratorio, la mortalidad en invernadero fue diferente y ligeramente menor. En esta prueba los mayores porcentajes de mortalidad (88.3% y 77.3%) se obtuvieron con 8,970.1 mg L⁻¹ de sales potásicas y 11,567 mg L⁻¹ de spirotetramat, respectivamente; mientras que con malatión a 3,209.4 mg L⁻¹ se

provocó 66.8% de mortalidad. Lambda cyhalotrina fue el insecticida menos tóxico en condiciones de invernadero, puesto que a la concentración evaluada (11,427 mg L⁻¹) solo ocasionó 45.4% de mortalidad (Cuadro 6).

Cuadro 6. Mortalidad de hembras adultas de *Dactylopius opuntiae* 144 h después de su exposición a insecticidas en condiciones de invernadero.

Tratamiento	Dosis (mg L ⁻¹)	Mortalidad (%)
Sales potásicas	8,970.1	88.34 a
Spirotetramat	11,567	77.34 ab
Malatión	3,209.4	66.79 b
Lambda cyhalotrina	11,427	45.42 c

¹Medias con la misma letra en una columna no difieren estadísticamente entre sí (Tukey, $\alpha= 0.05$)

6. DISCUSIÓN

La abundancia y consistencia de la cera en forma de fibras de *D. opuntiae*, su abundancia y consistencia en el estado adulto, proporcionan una barrera que la protege de condiciones ambientales adversas, incluso de productos químicos (Brito *et al.* 2008; Vanegas-Rico *et al.* 2010; Torres & Giorgi 2018). Aun así, los insecticidas evaluados en este trabajo ocasionaron mortalidades hasta del 100% en laboratorio, y de 45 al 88% en invernadero. Las CL₅₀ y CL₉₀ de malatión, lambda cyhalotrina y spirotetramat, y la CL₅₀ de sales potásicas, se documentaron en hembras adultas de *D. opuntiae*. No se encontraron trabajos que hayan determinado previamente las CL₅₀ o CL₉₀ sobre ninguna especie de la familia Dactylopiidae, así que este trabajo será base para el desarrollo de trabajos futuros en la evaluación de insecticidas sobre esta plaga.

El malatión y lambda cyhalotrina actúan por contacto; es decir, deben cubrir o hacer contacto con el cuerpo del insecto para tener efecto. Del malatión no se conoce si tiene acción translaminar, por la barrera que representa la cutícula gruesa de los cladodios de nopal (Nobel 2011). Estos insecticidas registraron la mayor toxicidad sobre *D. opuntiae* en laboratorio, CL₅₀ de 120.4 mg L⁻¹ y 159.8 mg L⁻¹ para malatión y lambda cyhalotrina, respectivamente. Aunque ya se indicó que no hay trabajos que establecieran las CL₅₀ en la plaga, si hay registro de pruebas de efectividad biológica en campo en varios países. Por ejemplo, en Brasil el paratión metílico y dimetoato ocasionaron 90% de mortalidad y clorpirifós 82% (Brito *et al.* 2008; Lopes *et al.* 2018). El Aalaoui *et al.* (2019) registraron más del 75% de mortalidad después de 96 h de la aplicación de malatión (2 mL L⁻¹).

En el presente trabajo lambda cyhalotrina resultó tóxico en laboratorio (CL₅₀ 159.8 mgL⁻¹), pero su efectividad disminuyó en invernadero. Esto difirió con los resultados de campo que reportaron Lopes *et al.* (2018) en Brasil, quienes señalaron 62 a 99% de mortalidad de hembras adultas a 0.75 y 0.5 mL L⁻¹ de lambda cyhalotrina respectivamente. No es posible comparar los resultados porque en ese trabajo no se estableció la concentración letal, y las colonias de *D. opuntiae* de Brasil y México han estado sometidas a diferente presión de plaguicidas. Sin embargo, en México existen manuales técnicos que no

recomiendan el uso de piretroides contra *D. opuntiae* porque lo consideran inefectivo (Luna-Vázquez *et al.* 2012; SENASICA 2014). Esta situación, y el 45% de mortalidad obtenido en condiciones de invernadero, hacen suponer que los piretroides no son candidatos idóneos para el manejo de poblaciones de *D. opuntiae* en la región de estudio, aunado a que existen reportes de baja selectividad y compatibilidad con enemigos naturales (El Aalaoui *et al.* 2019, 2021; Juárez-Maya *et al.* 2021).

El spirotetramat (CL_{50} 756.3 mg L⁻¹), con los resultados de laboratorio, podría recibir una categoría de intermedio en toxicidad sobre *D. opuntiae*. Este producto actúa principalmente por ingestión sobre algunas especies de insectos hemípteros, y tiene como blanco los lípidos y ácidos grasos, que son constituyentes importantes de la cutícula de los insectos (Elizondo y Murguido 2010; Abdel-Fatah *et al.* 2019). La marcada diferencia en las CL_{50} de *D. opuntiae* y otras especies de piojos harinosos a este producto pueden deberse a diferencias en la composición y cantidad de ceras que recubren el cuerpo de cada especie, y su rol en la protección contra los insecticidas. Por ejemplo, este insecticida tuvo CL_{50} de 159.8 mg L⁻¹ sobre *Maconellicoccus hirsutus* (Juárez-Maya *et al.* 2021); mientras que en *Planococcus citri* se necesitaron 1.2 mL L⁻¹ y tres semanas para ocasionar mortalidades del 95% (Mansour *et al.* 2010). Este tiempo extra para manifestar efectividad en la última especie hace recordar que en este trabajo sólo se evaluó el efecto del contacto a 48 h en laboratorio, y 144 h en invernadero, por lo que se sugiere evaluar el efecto a mayor tiempo de exposición para permitir que el producto actúe primero sobre las secreciones cerosas, que después pueden derivar en una ruptura cuticular y deformación en el cuerpo (Abdel-Fatah *et al.* 2019).

La CL_{50} de sales potásicas estimada en laboratorio fue de 8,970.1 mg L⁻¹, lo que permite inferir que es un insecticida de baja toxicidad. El modo de acción más aceptado, es que sales potásicas y detergentes destruyen la capa cerosa (en ocasiones laceran el integumento) que protege a varios insectos escama (Hemiptera: Coccoomorpha), lo que favorece la desecación por acción de los rayos solares (Vavrina *et al.* 1995; Toorani *et al.* 2017). Frecuentemente esta

es la explicación que se proporcionó para explicar su efecto insecticida sobre *D. opuntiae* (Palacios-Mendoza *et al.* 2004; Brito *et al.* 2008; El Aalaoui *et al.* 2019).

El ensayo en invernadero proporcionó información adicional de la respuesta de *D. opuntiae* a los insecticidas. La CL₅₀ de sales potásicas ocasionó una mortalidad (83.3%) numéricamente diferente, pero estadísticamente similar a la CL₉₀ de spirotretrat (77.3%); además, causó mayor mortalidad que la CL₉₀ de malatión y lambda cyhalotrina (66.7 y 45.4%, respectivamente). Es probable que el efecto de las sales potásicas sobre la cera de *D. opuntiae*, o sobre su integumento, se haya manifestado en invernadero, donde había diferente temperatura, radiación natural y más probabilidades de desecación. Si se consideran los límites de mortalidad para pruebas de efectividad biológica de la Norma Mexicana (NOM-032-SAG-/FITO-2014) (Anónimo 2015), las sales potásicas fueron efectivas para combatir *D. opuntiae* (produjeron 88% de mortalidad); mientras que, ninguno de los insecticidas convencionales ocasionó más del 85% de mortalidad, por lo tanto, éstos se consideran inefectivos para el combate de la plaga.

También debe decirse que los individuos de *D. opuntiae*, sobre todo las hembras adultas, estuvieron agrupados de manera natural en colonias compactas con presencia de cera abundante, estuvieron alimentándose y fijas en los cladodios. Esa condición probablemente permitió obtener mortalidades cercanas a lo que sucederá en campo, y podría contribuir a explicar las diferencias en mortalidad de la condición artificial (ensayos de laboratorio).

En trabajos previos se realizaron evaluaciones de insecticidas donde se incluyó a ninfas (de primero y segundo ínstar), y hembras adultas de *D. opuntiae* sin control preciso de la edad (Palacios-Mendoza *et al.* 2004; El Aalaoui *et al.* 2019; Rambdani *et al.* 2020). Las ninfas tienen menor cantidad de cera, y son más susceptibles a los productos químicos (Franco *et al.* 2004), pero también pueden permanecer bajo el cuerpo de las hembras adultas, o muy cerca de ellas en las colonias compactas (Brito *et al.* 2008; Torres & Giorgi 2018). De esta manera, la influencia de la cera de las hembras adultas y la protección a las ninfas en condiciones naturales, pueden interferir en la determinación precisa de mortalidad.

Esta situación, en adición a la mortalidad elevada de ninfas de segundo ínstar (12-16%) en menos de 72 h, cuando se desprendieron de los cladodios, hace recomendar a las hembras adultas de *D. opuntiae* como el estado más conveniente para las evaluaciones de insecticidas.

Dactylopius opuntiae es la principal plaga en los agroecosistemas de nopal en varias partes del mundo, y los insecticidas seguirán siendo una táctica de combate dentro de la estrategia MIP. No obstante, su uso irracional conducirá a problemas de contaminación del ambiente y efectos negativos en insectos y animales no blanco (Pretorius & Van Ark 1992; Pourseyed *et al.* 2010; Vanegas-Rico *et al.* 2010). El establecimiento de la toxicidad de los insecticidas (CL₅₀ y CL₉₀) es la base para demostrar la efectividad de los productos, y para iniciar propuestas de su mejor uso. Esta táctica de combate aplicada sólo en los momentos oportunos, junto con el establecimiento previo de las otras tácticas de control, el conocimiento del control natural, y el seguimiento de la dinámica de poblaciones en la estrategia denominada Manejo Integrado de Plagas puede proporcionar mejores resultados en el combate de *D. opuntiae*.

7. CONCLUSIONES

En laboratorio los cuatro insecticidas evaluados ocasionaron mortalidad sobre *D. opuntiae*. Malatión fue el producto más tóxico ($CL_{50} = 120.4 \text{ mg L}^{-1}$) seguido de lambda cyhalothrina (159.8 mg L^{-1}) y spirotetramat (756.3 mg L^{-1}). Para lograr CL_{50} con sales potásicas se necesitaron $8,970.1 \text{ mg L}^{-1}$.

En invernadero, los más altos porcentajes de mortalidad sobre *D. opuntiae* (88.3% y 77.3%) se obtuvieron usando la CL_{50} de sales potásicas y CL_{90} de spirotetramat, respectivamente. La mortalidad de malatión (66.8%) no difirió de spirotetramat, mientras lambda cyhalothrina fue el insecticida menos tóxico (45% de mortalidad).

8. LITERATURA CITADA

- Abdel-Fatah R. M., S. M., Mohamed, A. A. Aly, A-K. H. Sabry. 2019. Biochemical characterization of spiromesifen and spirotetramat as lipid synthesis inhibitors on cotton leaf worm, *Spodoptera littoralis*. Bulletin of the National Research Centre 43: 65.
- Abbott W. S. 1925. A method of computing the effectiveness of an insecticide. Journal of Economic Entomology 18: 265-267.
- Aguilar Z. A. A. 2000. Control de la grana cochinilla en el nopal verdura en el Distrito Federal. Folleto Técnico 1. INIFAP, Chapingo, México.
- Akroud H., M. Sbaghi, R. Bouharroud, T. Koussa, M. Boujghagh, M. El Bouhssini. 2021. Antibiosis and antixenosis resistance to *Dactylopius opuntiae* (Hemiptera: Dactylopiidae) in Moroccan cactus germplasm. Phytoparasitica 49: 623-631.
- Aldama-Aguilera C. 2008. Límites máximos de residuos e intervalos de seguridad de plaguicidas en tuna, *Opuntia ficus-indica*. Tesis de Doctorado en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Estado de México, México.
- Annacke D. P. & V. C. Moran. 1978. Critical review of biological pest control in South Africa. 2. The prickly pear, *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller. Journal of the Entomological Society of Southern Africa 41: 161-188.
- Anónimo. 2015. Modificación a la Norma Oficial Mexicana. NOM-032-FITO-1995. Por la que se establecen los requisitos y especificaciones fitosanitarios para la realización de estudios de efectividad biológica de plaguicidas agrícolas y su dictamen Técnico. Diario Oficial de la Federación 11 de agosto de 2015 Consulta septiembre 2020. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5403310&fecha=11/08/2015#:~:text=MODIFICACION%20a%20la%20Norma%20Oficial,agr%C3%ADcolas%20y%20su%20Dictamen%20T%C3%A9cnico.
- Asciuto A., T. Cirivello, M. Crecimanno. 1997. Production and market aspects of cactus pear industry in Italy. In: Inglese P. and M. O. Brutsch (Editors). Proceedings of the III International Congress of the Cactus pear and Cochinille. Acta Horticulturae 438: 159-170.
- Ayadi M. A., W. Abdelmaksoud, M. Ennouri, H. Attia. 2009. Cladodes from *Opuntia ficus-indica* as a source of dietary fiber: Effect on dough characteristics and cake making. Industrial Crops and Products 30: 40-47.
- Badii M. H., & A. E. Flores. 2001. Prickly pear cacti pests and their control in Mexico. Florida Entomologist 84: 503-505.
- Barreto-García O. A., E. Rodríguez-Leyva, J. R. Lomeli-Flores, J. M. Vanegas-Rico, A. L. Viguera, L. Portillo. 2020. *Laetilia coccidivora* feeding on two cochineal insect species, Does the prey affect the fitness of the predator? Biocontrol 65: 1-10.
- Baskaran R. K. M., L. G. Lakshmi, S. Uthamasamy. 1999. Comparative biology and predatory potential of Australian ladybird beetle (*Cryptolaemus montrouzieri*) on

Planococcus citri and *Dactylopius tomentosus*. Indian Journal of Agricultural Sciences 69: 605–606.

- Ben-Dov Y. & S. Marotta. 2001. Taxonomy and family placement of *Coccus bassi* Targioni Tozzetti, 1867 (Hemiptera: Coccoidea). *Phytoparasitica* 29: 169-170.
- Borges L. R., D. C. Santos, H. M. Falcão, D. M. da Silva. 2013. Use of biodegradable products for the control of *Dactylopius opuntiae* (Hemiptera: Dactylopiidae) in cactus pear. *Acta Horticulturae* 995: 379–386.
- Bouharroud R., A. Amarraque, R. Qessaoui. 2016. First report of the *Opuntia* cochineal scale *Dactylopius opuntiae* (Hemiptera: Dactylopiidae) in Morocco. *EPPO Bull.* 46: 308-310.
- Bouharroud R., M. Sbaghi, M. Boujghagh and M. El Bouhssini. 2018. Biological control of the prickly pear cochineal *Dactylopius opuntiae* Cockerell (Hemiptera: Dactylopiidae). *EPPO Bull.* 48: 300–306.
- Brito C. H., E. Batista, I. C. de Albuquerque, J. de Luna-Batista. 2008. Avaliação da produtos alternativos e pesticidas no controle da cochonilha-docarmim na Paraíba. *Revista de Biologia e Ciências da Terra* 8:1–5.
- Britton N. L. & J. N. Rose 1963. *The Cactaceae: Descriptions and illustrations of plants of the cactus family*. Dover Publications, New York, USA. Vol. I y II: 236.
- Casas A. & G. Barbera. 2002. Mesoamerican domestication and diffusion. *In*: P. S. Nobel (Editors). *Cacti: Biology and uses*, pp. 143-162. Berkeley, CA, USA, University of California Press.
- Carson R. 1962. Primavera silenciosa. *Editorial Crítica*. 416 p.
- Cavalcanti V. A. L. B., Sena R. C., Coutinho J. L. B., G. P. Arruda, F. B. Rodrigues. 2001. Controle das cochonilhas da palma forrageira. *Buletim IPA Responde* 39: 1-2.
- CESAVEDF. 2020. Manejo fitosanitario del nopal. Principales plagas y enfermedades que atacan al cultivo del nopal. SENASICA.
- Chávez-Moreno C. K., A. Tecante, and A. Casas. 2009. The *Opuntiae* (Cactaceae) and *Dactylopius* (Hemiptera: Dactylopiidae) in Mexico: a historical perspective of use, interaction and distribution. *Biodiversity and Conservation* 18: 3337-3355.
- Chessa I., G. Nieddu, L. De Pau, D. Satta. 2002. Changes in the morphology and structure of *Opuntiae ficus-indica* (Mill.) Cladodes surface. *In*: Nefzaoui A. y Inglese (Editors). *Proceedings of the IV Congress on Cactus Pear and Cochineal*. *Acta Horticulturae* 581: 185-189.
- CICOPLAFEST. 2020. Comisión Intersecretarial para el Control del Proceso y Uso de Plaguicidas y Sustancias Tóxicas Disponible en: <http://www.siicex.gob.mx/portalSiicex/SICETECA/Acuerdos/Regulaciones/SSA/cicoplafest.htm>
- COFEPRIS. 2020. Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios. Disponible en:

- Cruz-Rodríguez J. A., E. González-Machorro, A. A. Villegas-González., M. L. Rodríguez-Ramírez, F. Mejía-Lara. 2016. Autonomous biological control of *Dactylopius opuntiae* (Hemiptera: Dactylopiidae) in a prickly pear plantation with ecological management. *Environmental Entomology* 1-7.
- Cruz D. M. 1990. Determinación de algunos aspectos biológicos de la grana o cochinilla del nopal (*Dactylopius coccus* Costa: Coccoidea: Dactylopiidae) en Chapingo, México. Tesis, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Estado de México, 71 p.
- Da Silva D. M., L. M. Houllou-Klido, D. C. Dos Santos, R. G. Ferreira, V. F. Dos Santos. 2009. Resistance of in vitro grown forage cactus clones to *Dactylopius opuntiae* (Hemiptera: Dactylopiidae). *Acta Horticulturae* 811: 299-302.
- Delgadillo V. I., M. A. González, R. Rivera. 2008. Manejo fitosanitario de nopal verdura en Milpa Alta, Distrito Federal. Comité Estatal de Sanidad vegetal del Distrito Federal (CESAVEDF). 63 p.
- De Lotto G. 1974. On two genera of mealybugs (Homoptera: Coccoidea: Pseudococcidae). *Journal of the Entomological Society of South Africa* 37: 109-115.
- de Santos P. S., M. A. Q. da Silva, A. C. Monteiro, C. A. T. Gava. 2011. Improving photoprotection of *Beauveria bassiana* conidia for biological control of the cactus pest *Dactylopius opuntiae* in the semiarid region northeast of Brazil. *Biocontrol Science and Technology* 21: 893–902.
- Dodd A. P. 1940. The biological campaign against prickly pear. Commonwealth Prickly Pear Board Bulletin. Brisbane, Australia, Government Printer 177 p.
- Eisner T. S., S., Nowicky, M. Gotees, J. Meinwald. 1980. Red cochineal dye (carmine acid), *In Role Natu* 208: 1039-1042.
- Elizondo S. A. I. y M. C. A. Murguido. 2010. Spirotetramat, nuevo insecticida para el control de insectos chupadores en el cultivo de la papa. *Fitosanidad* 14: 229-234.
- El Aalaoui M., R. Bouharroud, M. Sbaghi, M. El Bouhssini, L. Hilali, D. Khadija. 2019. Comparative toxicity of different chemical and biological insects against the scale insect *Dactylopius opuntiae* and their side effects on the predator *Cryptolaemus montrouzieri*. *Archives of Phytopathology and Plant Protection* 52: 155-169.
- El Aalaoui M., M. El Bouhssini, R. Bouharroud, M. Sbaghi. 2021. Lethal and sublethal effects of the insecticides d-limonene, mineral oil, and potassium salts of fatty acid on *Dactylopius opuntiae* potential predator *Cryptolaemus montrouzieri*. *International Journal of Tropical Insect Science*
- Ferris G. F. 1955. Atlas of the scale insects of North America: the families Acleridae, Asterolecaniidae, Conchaspidae Dactylopiidae and Lacciferidae. III. Stanford University Press, Palo Alto, California.

- Flores-Hernández A., B. Murillo-Amador, E. O. Rueda-Puente, J. C. Salazar-Torres, J. L. García-Hernández y E. Troyo-Diéguez. 2006. Reproducción de cochinilla silvestre *Dactylopius opuntiae* (Homóptera: Dactylopiidae). Revista Mexicana de Biodiversidad 77: 97-102.
- Flores V. C. A. y J. Olvera. 1995. La producción de nopal verdura en México, pp. 282-289. *In*: Pimienta B. E., Neri C. L., Muñoz A. y Huerta F. N. (Editores). Memorias del VI Congreso Nacional y IV Congreso Internacional sobre el conocimiento y Aprovechamiento del Nopal. Universidad de Guadalajara, Guadalajara, Jalisco, México.
- Franco J., P. Suma, E. da Silva, D. Blumberg, Z. Mendel. 2004. Management strategies of mealybug pests of citrus in Mediterranean countries. *Phytoparasitica* 32: 507-522.
- Foxcroft L. C. & J. H. Hoffmann. 2000. Dispersal of *Dactylopius opuntiae* Cockerell (Homoptera: Dactylopiidae), a biological control agent of *Opuntia stricta* (Haworth.) Haworth. (Cactaceae), in the Kruger National Park. *Koedoe* 43: 1-5.
- García-Morales M., B. D. Denno, D. R. Miller, G. L. Miller, Y. Ben-Dov, N. B. Harby. 2016. ScaleNet: a literatura-based model of scale insect biology and systematics. Database URL: <http://scalenet.info>
- GIIN. 2007. Grupo Interdisciplinario de Investigación del Nopal. *In*: E. Rodríguez-Leyva, J. R. Lomeli-Flores, A. López-Jiménez (Editores). Memorias del II taller de avances de investigación del Grupo Interdisciplinario de Investigación del Nopal, Texcoco, Estado de México, México.
- Gilreath M. E. & J. W. Smith. 1987. Bionomics of *Dactylopius confuses* (Homoptera: Dactylopiidae). *Ann. Entomol. Soc. Am.* 80: 768-774.
- Gullan P. J. & L. G. Cook. 2007. Phylogeny and higher clasification of the scale insects (Hemiptera: Sternorrhyncha: Coccoidea). *In*: Zhang Z. Q. y Shear W. A. (Editors). Linnaeus Tercentenary: Progress in Invertebrate Taxonomy, *Zootaxa* 1668: 1-766.
- Griffith M. P. 2004. The origin of an important cactus crop, *Opuntia ficus-indica* (Cactaceae): new molecular evidence. *American Journal of Botany* 91: 1915-1921.
- Heile M., T. Belay, H. G. Zimmermann. 2002. Current and potential use on cactus in Tigray, Northern Ethiopia. *In*: A. Nefzaoui y P. Inglese (Editors). Proceedings of the 4th International Congress on Cactus Pear and Cochineal. *Acta Horticulturae* 581: 75-86.
- Hoffmann W. 1995. Ethnobotany. *In*: G. Barbera, P. Inglese, E. Pimienta-Barrios (Editors). FAO Plant Production and Protection Paper 132: 12-19.
- Hosking J. R., P. R. Sullivan, S. M. Welsby. 1994. Biological control of *Opuntia stricta* (Haw.) Haw. var. *stricta* using *Dactylopius opuntiae* (Cockerell) in an area of New South Wales, Australia, where *Cactoblastis cactorum* (Berg) is not a successful biological control agent. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 48: 241-255.
- Juárez-Maya M. A., L. D. Ortega-Arenas, H. González-Hernández, A. Lagunes-Tejeda, J. F. Solís-Aguilar, V. H. García-Méndez. 2021. Toxicidad y selectividad de

- insecticidas sobre cochinilla rosada del hibisco y sus enemigos naturales
Southwestern Entomologist 46: 479-496.
- Kiesling R. 1999. Domesticación y distribución de *Opuntia ficus-indica*. Journal of Professional Association for Cactus Development 3: 50-59.
- Klein H. 2011. A catalogue of the insect, mites and pathogens that have been used or rejected, or are under consideration, for the biological control of invasive alien plants in South Africa. African Entomology 19: 515-549.
- Le Houérou H. N. 1996. The role of cacti (*Opuntia* spp.) in erosion control, land reclamation, rehabilitation and agricultural development in the Mediterranean Basin. Journal of Arid Environments 33: 135-159.
- Longo S. & C. Rapisarda. 1995. Pests of cactus pear. Agro-ecology, cultivation and uses of cactus pear. FAO. Rome, Italy, 219 p.
- Lopes E. B., C. H. Brito, I. C. Albuquerque, J. L. Batista. 2009. Desempenho do óleo de naranja no controle da cochonilhado-carmim em palma gigante. Engenharia Ambiental 6: 252–258.
- Lopes R. S., L. G. Oliveira, A. F. Costa, S. T. M. Correira, L. E. A. Luna-Alvez, V. L. M. Lima. 2018. Efficacy of *Libidibia férrea* var *férrea* and *Agave sisalana* extracts against *Dactylopius opuntiae* (Hemiptera: Coccoidea). Journal of Agricultural Science 10: 255-267.
- Lotter W. D. & J. H. Hofmann. 1998. An integrated management plan for the control of *Opuntia stricta* (Cactaceae) in the Kruger National Park, South Africa. Koedoe 41: 63-68.
- Luna-Vázquez J., J. A. Zegbe-Domínguez, J. Mena-Covarrubias, M. T. Rivera-Lozano. 2012. Manejo de plantaciones de nopal tunero en el altiplano potosino. Folleto para productores INIFAP. 23 p.
- Mann J. 1969. Cactus-feeding insect and mites. Bulletin 256. Washington, DC, United States National Museum, 158 p.
- Mansour R., L. K. Grissa, S. Rezgui. 2010. Assessment of the performance of some new insecticides for the control of the vine mealybug *Planococcus ficus* in a Tunisian vineyard. Entomologia Hellenica 19: 21-33.
- Marin R. L. y F. V. Cisneros. 1977. Biología y morfología de la cochinilla del carmín, *Dactylopius coccus* Costa (Homopt.: Dactylopiidae). Revista Peruana de Entomología Homenaje a la Universidad Nacional Agraria 20: 116-120.
- Mathenge C. W., Holford P., Hoffmann J. H., Spooner-Hart R., Battie G. A. C., Zimmermann H. G. 2009. The biology of *Dactylopius tomentosus* (Hemiptera: Dactylopiidae). Bulletin of Entomological Research 1-9.
- Mazzeo G., S. Nucifora, A. Russo, P. Suma. 2019. *Dactylopius opuntiae*, a new prickly pear cactus pest in the Mediterranean: an overview. Entomologia Experimentalis et Applicata 167: 59-72.

- Mendel Z., A. Protasov, J. M. Vanegas-Rico, J. R. Lomeli-Flores, P. Suma, E. Rodríguez-Leyva. 2020. Classical and fortuitous biological control of the prickly pear cochineal *Dactylopius opuntiae* in Israel. *Biological Control* 142: 104157.
- Méndez G. J. S. 1992. Tasas de supervivencia y reproducción de la grana-cochinilla *Dactylopius coccus* Costa (Homoptera: Dactylopiidae) en diferentes temperaturas. Tesis de maestría. Colegio de Postgraduados, Chapingo, Estado de México, 113 p.
- Miller D. R. 1996. Checklist of the scale insects (Coccoidea: Homoptera) of Mexico. *Proceedings of the Entomological Society of Washington* 98: 68-86.
- Moran V. & B. Cobby. 1979. On the life-history and fecundity of the cochineal insect, *Dactylopius austrinus* De Lotto (Homoptera: Dactylopiidae), a biological control agent for the cactus *Opuntia aurantiaca*. *Bulletin of Entomological Research* 69: 629-636.
- Nefzaoui A., M. Louhaichi, H. Ben Salem. 2014. Cactus as a tool to mitigate drought and combat desertification. *Journal of Arid Land Studies*. 24: 121-124.
- Nobel P. S. 1988. *Environmental Biology of Agaves and Cacti*. Cambridge University Press. New York. 270 p.
- Nobel P. S. 2011. *Sabiduría del desierto, agaves y cactus: CO2, agua, cambio climático*. Biblioteca básica de agricultura. Texcoco, México, 160 pp.
- Ochoa M. J. & G. Barbera. 2018. History and economy and agroecological importance. *In*: P. Inglese, C. Mondragon, A. Nefzaoui y C. Saenz (Editors). *Crop Ecology, Cultivation and Uses of Cactus Pear* FAO, Roma, Italia 1-11.
- Palacios-Mendoza C., R. Nieto-Hernández, C. Llanderal-Cázares, H. González-Hernández. 2004. Efectividad biológica de productos biodegradables para el control de la cochinilla silvestre *Dactylopius opuntiae* (Cockerell) (Homoptera: Dactylopiidae). *Acta Zoológica Mexicana (n.s.)* 20: 99-106.
- Palafox-Luna J. A., E. Rodríguez-Leyva, J. R. Lomeli-Flores, A. L. Viguera-Guzmán, J. M. Vanegas-Rico. 2018. Life cycle and fecundity of *Dactylopius opuntiae* (Hemiptera: Dactylopiidae) in *Opuntia ficus-indica* (Caryophyllales: Cactaceae). *Agrociencia* 52: 103-114.
- Paterson I. D., J. H Hoffmann, H. Klein, C. W. Mathenge, S. Naser, H. G. Zimmermann. 2011. Biological control of Cactaceae in South Africa. *African Entomology* 19: 230-246.
- Pérez-Guerra G. & M. Kosztarab. 1992. Biosystematics of the family Dactylopiidae (Homoptera: Coccinea) with emphasis on the life cycle of *Dactylopius coccus* Costa. *Bulletin of the Virginia Agricultural Experiment Station* 92:1-90.
- Pettey F. W. 1947. The biological control of prickly pears in South Africa. *Union of South Africa, Department of Agriculture, Entomology Series* 271: 1-163.
- Piña I. 1977. La grana o cochinilla del nopal. *Monografías LANFI*. No 1, México, 54 p.

- Portillo M. L. & A. L. Viguera 2006. A review on the cochineal species in Mexico, host and natural enemies. *In*: C. Mondragon Jacobo *et al.* (Editors). V International Congress on Cactus Pear and Cochineal. *Acta Horticulturae*, 728: 249-256.
- Pourseyed S. H., M. Tvassoli, I. Bermousi, K. Mardani. 2010. *Metarhizium anisoplae* (Ascomycota: Hypocreales): An effective alternative to chemical acaricides against different developmental stages of fowl tick *Argas persicus* (Acari: Argasidae). *Veterinary Parasitology* 172: 305-310.
- Pretorius M. W. & H. Van Ark. 1992. Further insecticide trials for the control of *Cactoblastis cactorum* (Lepidoptera: Pyralidae) as well as *Dactylopius opuntiae* (Hemiptera: Dactylopiidae) on spineless cactus. *Phytophylactica* 24: 229-233.
- Ramdani C., R. Bouharroud, M. Sbaghi, A. Mesfioui, M. El Bouhssini. 2020. Field and laboratory evaluation of different botanical insecticides for the control of *Dactylopius opuntiae* (Cockerell) on cactus pear in Morocco. *International Journal of Tropical Insect Science* 41: 1623-1632.
- Reyes-Agüero J. A., J. R. Aguirre, A. Valiente-Banuet. 2006. Reproductive biology of *Opuntia*: A review. *Journal of Arid Environments* 64: 549-585.
- Robertson J. L., M. M. Jones, E. Olguin, B. Alberts. 2017. *Bioassays with arthropods*. Third edition. CRC Press. USA. 212 p.
- Rodríguez L. C., E. H. Faúndez, H. M. Niemeyer. 2005. Mate searching in the scale insect, *Dactylopius coccus* (Hemiptera: Coccoidea: Dactylopiidae). *European Journal Entomology* 102: 305-306.
- Romero-Rosales F. 2010. *Manejo Ecológico de Patosistemas: las bases, los conceptos y los fraudes*. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México. 46 p.
- RStudio Team. 2020. *RStudio: Integrated Development for R*. RStudio, PBC, Boston, MA URL <http://rstudio.com/>
- Ruiz-Trejo C. A., E. Rodríguez-Leyva, J. Méndez-Gallegos, F. J. Morales-Flores, F. Villegas-Rodríguez. 2021. ¿Influye la concentración de ácido carmínico en la preferencia alimentaria de *Hyperaspis trifurcata* (Coleoptera: Coccinellidae) entre dos especies de presas? *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas* 20: 1-7.
- Sáenz C., E. Sepúlveda, B. Matsushiro. 2004. *Opuntia* spp. mucilage's: a functional component with industrial perspectives. *Journal of Arid Environments* 57: 257-290.
- Sánchez G. y C. M. Alaniz. 1997. Análisis de crecimiento de cladodio de *Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck pp. 129-130, *In*: R. Vázquez, C. Gallegos, N. Treviño y Y. Díaz (Editors). *Proc. V International Congress on Nopal*. Universidad Autónoma de Nuevo León, San Nicolás, N.L.
- SENASICA. 2014. *Servicio Nacional de Sanidad Inocuidad y Calidad Alimentaria. Plan de acción preventivo nopal. Acciones para reducir los riesgos de contaminación por plaguicidas durante el proceso productivo, empaquetado, transporte y distribución del nopal dentro y fuera del país*. México 12 p.

- SIAP. 2021. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Disponible en: <https://nube.siap.gob.mx/cierreaagricola/>
- Singh S. P. 1978. Propagation of a coccinellid beetle for the biological control of citrus and coffee mealybugs. Scientific Conference. CPA. Berkeley, CA, USA, University of California Press.
- Soberon J., J. Golubov, J. Sarukhan. 2001. The importance of *Opuntia* in Mexico and routes of invasión and impact of *Cactoblastis cactorum* (Lepidoptera: Pyralidae). Florida Entomologist 84: 486-492.
- Spodek M., Y. Ben-Dov, A. Protasov, C. J. Carvalho, Mendel Zvi. 2014. First record of *Dactylopius opuntiae* (Cockerell) (Hemiptera: Dactylopiidae) from Israel. Phytoparasitica 42: 377-379.
- Toledo J. y, F. Infante. 2008. Manejo integrado de plagas. Trillas. México, 327 pp.
- Toorani A. H., H. Abbasipour, L. D. Kalkenari. 2017. Toxicity of selected biorational insecticides to *Pulvinaria aurantii* Cockerell and its predator, *Cryptolaemus montrouzieri* Mulsant in citrus field. Acta Agriculturae Scandinavica, Section B. Soil and Plant Science 67: 723-729.
- Torres J. B. & J. A. Giorgi. 2018. Management of the false carmine cochineal *Dactylopius opuntiae* (Cockerell): perspective from Pernambuco state, Brazil. Phytoparasitica 46: 331-340.
- Vanegas-Rico J. M., J. R. Lomeli-Flores, E. Rodríguez-Leyva, G. Mora-Aguilera, J. M. Valdez. 2010. Enemigos naturales de *Dactylopius opuntiae* (Cockerell) en *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller en el centro de México. Acta Zool. Mex. (n.s.) 26: 415-433.
- Vanegas-Rico J. M., E. Rodríguez-Leyva, J. R. Lomeli-Flores, H. González-Hernández, A. Pérez-Panduro, G. Mora-Aguilera. 2016. Biology and life history of *Hyperaspis trifurcata* feeding on *Dactylopius opuntiae*. BioControl 61: 691-701.
- Vanegas-Rico J. M., A. Pérez-Panduro, J. R. Lomeli-Flores, E. Rodríguez-Leyva, J. Valdez-Carrasco, G. Mora-Aguilera. 2017. *Dactylopius opuntiae* (Cockerell) (Hemiptera: Dactylopiidae) population fluctuations and predators in Tlalnepantla, Morelos, Mexico. Folia Entomológica Mexicana 3: 23-31.
- Vasconcelos A. G. V., M. A. Lira, V. A. L. B Cavalcanti., M. V. F. Santos, L. Willadino. 2009. Selecao de clones de palma forrageira resistentes a cochinha do carmín (*Dactylopius* sp.). Revista Brasileira de Zootecnia 28: 827-831.
- Vavrina C. S., P. A. Stansly, T. X. Liu 1995. Household detergent on tomato: phytotoxicity and toxicity to silverleaf whitefly. Hort Science 30: 1406-1409.
- Villaseñor-Ulloa F. R. 2010. La grana cochinilla: tesoro de Nueva España. In: L. portillo y A. L. Viguera (Editores). Conocimiento y aprovechamiento de la grana cochinilla. 3-10.
- Viguera A. L., J. Cibrián-Tovar, C. Pelayo-Ortiz. 2009. Use of botanical extracts to control wild cochineal (*Dactylopius opuntiae* Cockerell) on Cactus Pear. In: Proceedings of

- the VI International Congress on cactus and cochineal. *Acta Horticulturae* 811: 229-234.
- Vigueras G. A. L. y L. Portillo. 1997. Cultivo de la grana o cochinilla del nopal. *In: Suculentas mexicanas, Cactaceas*. CONABIO-SEMARNAP-UNAM. CVS, México, D.F., 39-45.
- Yu S. J. 2015. The toxicology and biochemistry of insecticides. Second Edition. CRC Press. USA. 380 p.
- Zimmermann H. G., H. E. Erb, R. E. McFayden. 1979. Annotated list of some cactus-feeding insects of South America. *Acta Zoologica Lilloana* 33: 101-112.
- Zimmermann H. G. & G. Granata. 2002. Insect pests and diseases, pp. 235-254. *In: P. S. Nobel, (Editors). Cacti Biology and Uses*, University of California Press Berkeley, CA, USA.
- Zimmermann H. G. & V. C. Moran. 1991. Biological control of prickly pear, *Opuntia ficus-indica* (Cactaceae), in South Africa. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 37: 29-35.