

Toxicidad de insecticidas contra (*Optatus palmaris* Pascoe) en guanábana

Luis Martín Hernández-Fuentes^{1§}

Yolanda Nolasco-González¹

Mario Orozco-Santos²

Efigenia Montalvo-Gonzalez³

¹Campo Experimental Santiago Ixcuintla-INIFAP. Carretera Internacional México-Nogales km 6, entronque a Santiago Ixcuintla, Santiago Ixcuintla, Nayarit, México. CP. 63300. (nolasco.yolanda@inifap.gob.mx). ²Campo Experimental Tecomán-INIFAP. Carretera Colima-Manzanillo km 35, Tecomán, Colima. CP. 28100. (orozco.mario@inifap.gob.mx). ³Instituto Tecnológico de Tepic. Av. Tecnológico #2595, Lagos del Country, Tepic, Nayarit. CP. 63175. (efimontalvo@gmail.com).

§Autor para correspondencia: hernandez.luismartin@inifap.gob.mx.

Resumen

Originario de América tropical, el guanábano (*Annona muricata*) tiene gran potencial y expectativa de producción en México. No obstante, presenta problemas de plagas que limitan su cultivo. Uno de estos es el picudo del fruto (*Optatus palmaris*), cuyo daño demerita la calidad y rendimiento. Se evaluaron los insecticidas y repelentes: spinosad, spinoteram, azadiractina, lambda-cialotrina, clorpirifos, imidacloprid y etofenprox. Se evaluó el porcentaje de mortalidad, consumo de fruta y se determinaron la CL₅₀ y TL₅₀. Una hora después de la aplicación se observó 89.2% y 85.7% ($\alpha < 0.05$) de mortalidad con lambda-cialotrina y clorpirifos en concentración de 0.025 g ia L⁻¹ y 2.4 g ia L⁻¹, respectivamente. Spinosad y azadiractina no tuvieron efecto de mortalidad en concentraciones de 0.6 g ia L⁻¹ y 32 g ia L⁻¹, respectivamente ($\alpha < 0.05$). A las 12 h después de la aplicación spinosad (0.6 g ia L⁻¹), lambda-cialotrina (0.0012 g ia L⁻¹) y clorpirifos (0.24 g ia L⁻¹) ejercieron más de 95% de mortalidad ($\alpha < 0.05$). El consumo de fruta fue menor con aplicación de lambda-cialotrina, 24.9% de fruta consumida ($\alpha < 0.05$). El insecticida con mayor toxicidad fue imidacloprid con una CL₅₀ de 0.06 g ia L⁻¹ y TL₅₀ de 0.3 h, le siguió el spinoteram con una CL₅₀ de 0.96 g ia L⁻¹ y un TL₅₀ de 0.36 h. Azadiractina no ejerció mortalidad ni disminuyó el consumo de fruta comparado con el testigo absoluto en concentraciones de 0.32, 3.2 y 32 g ia L⁻¹ ($\alpha < 0.05$) por lo que no se recomienda el uso de este producto para el control de *O. palmaris*.

Palabras clave: anonáceas, barrenador, control.

Recibido: noviembre de 2020

Aceptado: febrero de 2021

Introducción

El guanábano (*Annona muricata* L.) es un frutal originario de América Tropical (Geurts, 1981), distribuido en diversos países de Asia, África, América y Oceanía (CABI, 2018) y con gran expectativa en el mercado de exportación hacia países de América, Caribe, Asia y Australia. La superficie cultivada en México es de 3 700 ha, una producción de 29 220 t cuyo valor asciende a más de 300 millones de pesos.

La superficie y el valor de la producción aumentaron 200% y 365%, respectivamente, en los últimos 10 años. La producción de este frutal se enfrenta a retos importantes, principalmente en el manejo de plagas. Destacan como principales plagas el barrenador de la semilla (*Bephratelloides cubensis* Ashmead), palomilla barrenadora de frutos (*Cerconota anonella* Sepp.), barrenador de frutos (*Oenomaus ortygnus* Cramer), cochinilla rosada del hibiscus (*Maconellicoccus hirsutus* Green), piojo harinoso (*Planococcus citri* Risso), gusano rayado (*Gonodonta pyrgo* Cramer) y picudo del fruto (*Optatus palmaris* Pascoe), entre otras (Hernández *et al.*, 2012; 2013; Maldonado *et al.*, 2014; Pinzón *et al.*, 2016; Cham *et al.*, 2019).

O. palmaris se distribuye en las principales zonas productoras de anonas frutícolas en México (Salas *et al.*, 2001; Vildozola *et al.*, 2009; Maldonado *et al.*, 2014). Como adulto se alimenta de frutos en desarrollo, daña la cáscara y la pulpa de manera superficial, el insecto deposita los huevos bajo la epidermis y la larva al emerger se introduce en el fruto dañando la pulpa y las semillas, con ello demerita su calidad y afecta seriamente el rendimiento, elige los frutos próximos a cosecha para alimentarse, aparearse y ovipositar, aunque también dañan flores y brotes tiernos muy esporádicamente y en forma solitaria.

El ciclo de vida se completa en 215 días, de los cuales cinco son de incubación, 73 en estado larval, 25 pupa en el suelo bajo la hojarasca y 112 en estado adulto (Castañeda, 2009; Maldonado *et al.*, 2014). *O. palmaris* fue reportado por primera vez en Nayarit por Castañeda *et al.* (2009) y su importancia como plaga de guanábana la estableció Castañeda (2011).

Por su parte Maldonado *et al.* (2014) al realizar estudios detallados de biología y hábitos alimentarios del picudo en guanábana en Nayarit, observaron hasta 30 adultos por fruto, con incidencia de 7 a 13.3% y severidad media de 19 a 49% con 4.7 a 6.6 larvas por fruto, el adulto es activo en la mayor parte del día y los mayores daños ocurren en los meses de agosto a noviembre.

Por su reciente detección en guanábana de Nayarit y con base en estudios de fluctuación poblacional y distribución, estos autores concluyeron que el picudo está en proceso de adaptación y dispersión hacia las zonas productoras de este cultivo. A pesar de la importancia regional de la guanábana actualmente en México, no hay plaguicidas con registro para su uso en este cultivo por la comisión federal para la protección contra riesgos sanitarios (COFEPRIS, 2020).

Por su parte la BC Global Pesticides (<https://bcglobal.bryantchristie.com/db#pesticides/query>), indica que para el mercado de exportación de guanábana a Estados Unidos de América, se tienen límites máximos de residuos establecidos para 21 ingredientes activos (ia), entre los cuales se encuentran: etofenprox, imidacloprid, spinoteram y spinosad. Aunado a ello, el principal método de combate es el uso de insecticidas, con escasos estudios de toxicidad y efectividad biológica.

Los bioensayos con plaguicidas son experimentos realizados para estimar la probabilidad de que una población plaga responderá de una manera deseada en términos de efecto biológico (Robertson *et al.*, 2017), además del resultado, sea muerte o repelencia del insecto plaga, se busca inocuidad y el menor impacto ambiental.

Ante los problemas de plagas presentes en el cultivo de guanábana, es necesario que el productor tenga opciones de insecticidas y otros compuestos, evaluados con el objeto de determinar la concentración óptima que puede causar el mayor efecto para el control de las principales plagas del cultivo y lograr disminuir los daños y pérdidas en la producción. Por lo anterior, se evaluaron diferentes insecticidas y repelentes alimenticios contra los adultos de *O. palmaris*.

Materiales y métodos

Recolecta de insectos. Se recolectaron adultos de *O. palmaris* durante agosto a noviembre, en la época de mayor emergencia de julio-septiembre (Maldonado *et al.*, 2014), en un huerto de guanábana con las siguientes coordenadas geográficas: 21° 06' 15'' latitud norte y -105° 09' 50'' longitud oeste ubicado en la zona productora de AltaVista, Compostela, Nayarit. Se eligió un huerto en condiciones de bajo manejo agronómico donde solo se realiza control de maleza y cosecha, con nula aplicación de insecticidas.

Para disminuir el error experimental en ensayos con insecticidas atribuido a la edad, nutrición y genotipo de los insectos provenientes de campo de acuerdo con lo señalado por Matsumura (1985); Robertson *et al.* (2017) se hicieron recolectas de insectos diariamente durante ocho días y se trasladaron al laboratorio de Entomología Agrícola del Campo Agrícola Experimental Santiago Ixcuintla del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP).

Una vez en el laboratorio los insectos se mezclaron e introdujeron en jaulas de 900 cm³. Se alimentaron con frutos de guanábana, los cuales se cambiaron diariamente siguiendo la metodología de Maldonado *et al.* (2014). Para evaluar la efectividad biológica de insecticidas y repelentes se utilizaron los métodos de ingestión, contacto y exposición residual (Matsumura, 1985; Robertson *et al.*, 2017). Las evaluaciones se realizaron en condiciones de laboratorio de 25 ±2 °C y humedad relativa de 65 ±5%. Se utilizó como unidad experimental grupos de 10 insectos elegidos al azar de las recolectas realizadas en campo.

Efecto insecticida y repelencia por ingestión. Los tratamientos se establecieron con cinco repeticiones y en cada repetición se introdujeron 10 adultos (cinco machos y cinco hembras) con ayuno de 24 h. Como repetición se utilizó una caja Petri de vidrio Pirex de 100 mm x 15 mm. Se introdujo en cada repetición un fragmento de fruto con peso conocido (Balanza electrónica Shimadzu UX4200H Cap. 42 000 g, precisión 0.01 g) y sumergido previamente en la solución insecticida. Antes de introducirlo, se dejó secar durante dos horas.

En todos los tratamientos se utilizó agua destilada como solvente. Para determinar las dosis a evaluar se consideraron las recomendaciones técnicas, se tomó como referencia la dosis media recomendada y en dilución de 1:10 se evaluó una concentración superior y una inferior. Los tratamientos fueron los siguientes: spinosad en concentración de 0.006, 0.06 y 0.6 g ia L⁻¹; azadiractina en concentración de 0.32, 3.2 y 32 g ia L⁻¹; lambda-cialotrina en concentración de

0.0013, 0.0025 y 0.025 g ia L⁻¹ y clorpirifos en concentración de 0.024, 0.24 y 2.4 g ia L⁻¹, además de un testigo absoluto sólo con agua destilada de acuerdo con los señalado por Robertson *et al.* (2017).

Las variables evaluadas fueron: porcentaje de mortalidad de acuerdo con la fórmula de Abbott (1925) a 1, 2, 4, 12 y 24 h después del tratamiento, además del % del peso de fruto consumido a las 24 h, obtenido mediante la ecuación: % de consumo = $\left(\frac{a-b}{a}\right) * 100$. Donde: a= peso inicial; b= peso final. Se realizó análisis de varianza y la comparación de medias de tratamientos de las variables evaluadas con la prueba de Tukey ($\alpha \leq 0.05$), se utilizó para ello el programa estadístico SAS versión 9.3.

Determinación de la concentración y tiempo letal medio. Se evaluó este método en laboratorio de acuerdo con Matsumura (1985); Lagunes *et al.* (2009); Robertson *et al.* (2017); Paramasivam y Selvi (2017). Para determinar las concentraciones se tomó como referencia la dosis media recomendada y a partir de ésta, se evaluaron dos concentraciones superiores y dos inferiores, duplicando las concentraciones respecto a la dosis más baja.

Se evaluaron los siguientes tratamientos y dosis: imidacloprid 30.2% en dosis de 0, 0.2, 0.4, 0.8, 1.6 y 3.2 ml L⁻¹; clorpirifos 48% en dosis de 0, 0.5, 1, 2, 4 y 8 ml L⁻¹; etofenprox 10% en dosis de 0, 0.1, 0.2, 0.4, 0.8 y 1.6 ml L⁻¹ y spinoteram 8.8% en dosis de 0, 0.4, 0.8, 1.6, 3.2 y 6.4 ml L⁻¹. Se utilizó agua destilada para las diluciones.

Cada tratamiento se estableció con seis repeticiones, la cual consistió en una caja Petri de 50 mm y a 16 mm de altura. Se introdujeron 10 insectos (cinco machos y cinco hembras) por repetición. La aplicación se realizó con microaspersor como lo sugieren Paramasivam y Selvi (2017) con un gasto de 0.25 ml de la mezcla en cada repetición. Se aplicó directamente sobre el cuerpo de los insectos y la superficie de contacto dentro de la caja Petri, simulando las condiciones de campo en las que estaría expuesto el insecto después de la aplicación, donde el insecticida se deposita sobre el cuerpo y entra en contacto al desplazarse por la superficie del follaje, ramas o frutos aplicados.

La variable evaluada fue porcentaje de mortalidad de acuerdo con la fórmula de Abbott (1925) a 1, 2, 3, 4, 5 y 24 h después de la aplicación. Las concentraciones evaluadas fueron transformadas con la función logaritmo y mediante análisis Probit se estimó la Concentración Letal 50 (CL₅₀) y el Tiempo Letal 50 (TL₅₀). (Matsumura, 1985; Lagunes *et al.*, 2009; Robertson *et al.*, 2017), se hizo una prueba de bondad de ajuste del modelo con los valores observados y esperados utilizando la prueba de Ji-cuadrada ($p= 0.05$) (Robertson *et al.*, 2017). Para calcular el TL₅₀ se utilizó un diseño de muestreo serial, el cual consistió en aplicación de tratamientos en varias dosis y observación de la respuesta en series de tiempo después de la aplicación (Robertson *et al.*, 2017).

Resultados y discusión

Efecto insecticida y repelencia por ingestión

Se observaron diferencias significativas entre tratamientos y el testigo absoluto en la mortalidad de adultos de *O. palmaris*. Con excepción de azadiractina (Az), en el resto de los tratamientos se observó mortalidad del picudo en los diferentes momentos de evaluación después de la aplicación.

En la primera hora después de la aplicación, en los tratamientos con spinosad (Sp), Az y la concentración más baja de clorpirifos (Cl) (0.024 g ia L⁻¹) no ocurrió mortalidad del picudo y en cambio sí se alimentó durante este tiempo (Cuadro 1).

Cuadro 1. Consumo de fruta tratada con repelentes e insecticidas.

Ingrediente activo (ia)	(g ia L ⁻¹)	(%) de consumo*	Fruta consumida (g)*
Spinosad	0.006	54.8 a	0.3 ab
	0.06	45.1 abc	0.27 abc
	0.6	49.6 abc	0.26 abc
Azadiractina	0.32	58.3 a	0.29 ab
	3.2	60.3 a	0.32 a
	32	51.9 ab	0.28 ab
Lambda-cialotrina	0.0013	26.6 bc	0.15 cd
	0.0025	24.9 c	0.14 d
	0.025	41 abc	0.21 abcd
Clorpirifos	0.024	39.5 abc	0.23 abcd
	0.24	40.6 abc	0.22 abcd
	2.4	38.8 abc	0.2 bcd
Testigo	Agua destilada	50.6 ab	0.29 ab

*= medias con distinta letra difieren estadísticamente (Tukey, $\alpha \leq 0.05$).

Clorpirifos ejerció mortalidad de 32.1% y 85.7% en esta primera observación con las concentraciones de 0.24 y 2.4 g ia L⁻¹, respectivamente. Según Ujváry (2010), spinosad actúa por contacto e ingestión con una rapidez similar a la mayoría de los insecticidas neurotóxicos. No obstante, no es hasta las 4 h después de la aplicación donde ocurre mortalidad de *O. palmaris* con la concentración más alta de spinosad (0.6 g ia L⁻¹).

Los tratamientos con lambda-cialotrina (LC) (0.025 y 0.25 g ia L⁻¹) ejercieron el mayor control con 74.9% y 89.2%, respectivamente. En la evaluación de las 2 h después de la aplicación, solo ocurrió mortalidad en los tratamientos con LC y Cl en todas sus dosis evaluadas; no obstante, las concentraciones de LC (0.0025 y 0.025 g ia L⁻¹) y Cl (2.4 g ia L⁻¹), provocaron la mayor mortalidad con igualdad estadística entre estas y una mortalidad de 92.8%, 96.4% y 100%, respectivamente (Cuadro 2).

Cuadro 2. Mortalidad corregida de *Optatus palmaris* con diferentes tratamientos de insecticida.

Ingrediente activo (ia)	(g ia L ⁻¹)	*(%) de mortalidad corregida (Abbott, 1925)				
		1 h	2 h	4 h	12 h	24 h
Spinosad	0.006	0 c	0 c	0 d	0 c	1 d
	0.06	0 c	0 c	0 d	10.6 bc	53.5 b
	0.6	0 c	0 c	78.5 ab	100 a	100 a
Azadiractina	0.32	0 c	0 c	0 d	0 c	0 d
	3.2	0 c	0 c	0 d	0 c	0 d
	32	0 c	0 c	0 d	0 c	0 d

Ingrediente activo (ia)	(g ia L ⁻¹)	*(%) de mortalidad corregida (Abbott, 1925)				
		1 h	2 h	4 h	12 h	24 h
Lambda-cialotrina	0.0013	3.5 bc	7.1 c	17.8 cd	25 b	24.9 c
	0.0025	74.9 a	92.8 a	96.4 a	100 a	100 a
	0.025	89.2 a	96.4 a	100 a	100 a	100 a
Clorpirifos	0.024	0 c	3.5 c	49.9 bc	82.1 a	92.8 a
	0.24	32.1 b	46.4 b	85.7 a	96.4 a	100 a
	2.4	85.7 a	100 a	100 a	100 a	100 a
Testigo	Agua destilada	0 c	0 c	0 d	0 c	0 d

*= hora después de la aplicación. Medias con distinta letra, difieren estadísticamente (Tukey, $\alpha \leq 0.05$).

En la evaluación de las 4 h después de la aplicación, se observa que el Sp en concentración de 0.6 g ia L⁻¹ ejerció una mortalidad de *O. palmaris* de 78.5%, al igual que en la evaluación anterior, LC en sus concentraciones de 0.0025 y 0.025 g ia L⁻¹ y CI con 2.4 g ia L⁻¹, ejercieron el mayor control con igualdad estadística. En esta evaluación, la concentración media de CI (0.24 g ia L⁻¹) obtuvo una eficacia de 85.7%, siendo estadísticamente igual que las concentraciones más altas.

En la penúltima evaluación, 12 h después de la aplicación, ocurrieron diferencias significativas entre tratamientos (Tukey, $\alpha \leq 0.05$) (Cuadro 2). Para esta evaluación, el Sp y CI en su concentración más alta y LC en su concentración media y alta con igualdad estadística, causaron 100% de mortalidad de *O. palmaris*.

Finalmente, a las 24 h después de la aplicación, los resultados son muy similares que los observados en la evaluación de 12 h en las concentraciones ya mencionadas, con excepción de la concentración baja de CI (0.024 g ia L⁻¹) que pasó de 82.1% a 92.8% de eficacia de control. El spinosad es un producto natural obtenido de la bacteria *Saccharopolyspora spinosa* Mertz y Yao, con efecto biológico principalmente contra lepidópteros, ortópteros, hemípteros (chinchas), dípteros, coleópteros y tisanópteros (Pedigo y Rice, 2009). Éste muestra toxicidad variable dependiendo de la concentración y tiempo de exposición (Ujváry, 2010). Al extracto de *Azadirachta indica* A. Juss, principalmente azadiractina, se le atribuyen propiedades insecticidas, repelentes y reguladores de crecimiento (Koul, 1990), con efectos de mortalidad, especialmente en insectos de cuerpo blando y estados inmaduros como larvas y ninfas (Rana *et al.*, 2008). Al respecto, Esparza *et al.* (2010) en aplicación de contacto de azadiractina 0.2 mg 5 cm² observaron mortalidad de 100% de *Aphis gossypii* Glover después de 48 h de la aplicación.

No obstante, en el presente estudio con *O. palmaris*, no se observó mortalidad ni efecto repelente (Cuadros 1 y 2) durante el periodo de observación en las concentraciones evaluadas. Por otro lado, el insecticida LC, perteneciente al grupo químico piretroide, se caracteriza por ser tóxico contra insectos a dosis extremadamente bajas (Pedigo y Rice, 2009), y por su alta eficacia contra una amplia variedad de especies de Hemiptera, Diptera, Coleoptera y Lepidoptera (Anadón *et al.*, 2006). Si bien no se encuentra con límites máximos de residuos permitidos para la guanábana en Estados Unidos de América (EPA, 2012), en otros frutales como manzana, aguacate o vegetales frescos su límite máximo permitido va de 0.2 a 2.5 ppm. Lambda-cialotrina no presenta resistencia cruzada con el CI en insectos (Chaverra *et al.*, 2012), por lo que podría ser una opción para diseñar un programa de rotación para el control de *O. palmaris* y utilizar las dosis más bajas evaluadas.

CI es un insecticida organofosforado, de amplio espectro y rápida degradación en el ambiente, comúnmente utilizado en la agricultura Pedigo y Rice (2009). Es probable que dicha frecuencia de uso en el futuro próximo disminuya, debido a una legislación más estricta y a la búsqueda de sustancias con menor impacto en el ambiente, en el caso de manejo de *O. palmaris*, estas moléculas químicas deberán permanecer como una opción con el uso adecuado y en concentración efectivas. Al observar la alta eficacia en concentraciones bajas ($0.024 \text{ g ia L}^{-1}$) contra *O. palmatis*, se considera que su uso puede ser factible bajo un esquema de rotación de insecticidas al seguir las recomendaciones de manejo seguro de plaguicidas.

Respecto al efecto en el consumo de fruta, se observaron diferencias significativas entre tratamientos (Cuadro 1). En el testigo absoluto, los insectos consumieron 0.29 g en 24 h, 50.6% del peso de fruta proporcionado. En este lapso, en los tratamientos con Sp se observó un ligero efecto inhibitorio de la alimentación. El insecto consumió más de 0.25 g, lo que representa más del 45%, poco menos de un 5% respecto del testigo absoluto.

En los tratamientos con Az, el insecto consumió 28 g, lo cual equivale a poco más de 50%. Cabe mencionar que aunque las dosis evaluadas de Az son equivalentes a una aplicación de campo con producto formulado de 0.15 a 16 L ha⁻¹, no afectaron la alimentación durante el tiempo de observación. Los tratamientos con LC en sus concentraciones de 0.0013 y 0.0025 g ia L⁻¹, ejercieron mayor inhibición de consumo, ya que sólo se ingirieron 0.15 y 0.14 g, lo que representa el 26.6% y 24.9%, respectivamente (Cuadro 1).

Esto coincide con una mayor mortalidad (Cuadro 2) en la concentración media ($0.0025 \text{ g ia L}^{-1}$), lo que contrasta con la mortalidad menor a 25% obtenida en la concentración de 0.0013 g L^{-1} . Es decir, ocurrió un efecto repelente y el insecto consumió menor cantidad de fruta. Por último, CI, presentó un bajo efecto inhibitorio sobre la alimentación, ya que la concentración de mayor efecto produjo una ingesta de 0.2 g de fruta, lo cual equivale a 38.8% del fruto, sólo 11.8% menor al testigo absoluto. Si bien, las diferencias estadísticas respecto al testigo absoluto fueron significativas, el insecto causa un daño al alimentarse del fruto durante las primeras horas posteriores a la aplicación de los insecticidas.

Con estos resultados es recomendable integrar los insecticidas a las dosis que mejor control ejercieron, dentro de un esquema de manejo rotatorio; no obstante, debe tenerse en cuenta que las aplicaciones deben realizarse en las primeras detecciones del picudo. La emergencia de los adultos de este insecto guarda una relación con el inicio de lluvias, de acuerdo con lo señalado por Maldonado *et al.* (2014), por lo que en los lugares donde se cultive guanábana y se tenga registrada la presencia del insecto, se deben realizar muestreos para detectar los primeros adultos y tomar la decisión de implementar una medida de control antes de que estos dañen los frutos.

Determinación de la concentración y tiempo letal medio

Al comparar la CL₅₀ de cada insecticida por contacto y exposición residual, se observa una mayor toxicidad con el insecticida imidacloprid y spinoteram contra el picudo rojinegro *O. palmaris* (Cuadro 3), cabe mencionar, que ambos insecticidas están en el listado permitido para el mercado de EE. UU., con límite máximo de residuos de 0.3 ppm para la guanábana (EPA, 2012; DataBase LMR, 2020). La prueba de bondad de ajuste (Ji-cuadrada, $p= 0.05$) indica que no hay diferencias entre la mortalidad observada (MO) y la mortalidad estimada (ME) (Ji-tablas= 0.71) (Cuadro 3) (Figura 1).

Cuadro 3. Estimaciones de CL₅₀ y TL₅₀ de insecticidas contra adultos de *Optatus palmaris*.

Ingrediente activo (ia)	CL ₅₀ (g ia L ⁻¹)	TL ₅₀ (h)	Ji-calculada	Ji-Tablas
Etofenprox	1.83 ±0.6	3.8 ±0.18	0.045	
Spinoteram	0.96 ±0.8	1.76 ±0.58	0.524	0.71
Clorpirifos	3.6 ±1.4	0.36 ±0.05	0.61	
Imidacloprid	0.06 ±0.01	0.3 ±0.09	0.011	

±= error estándar.

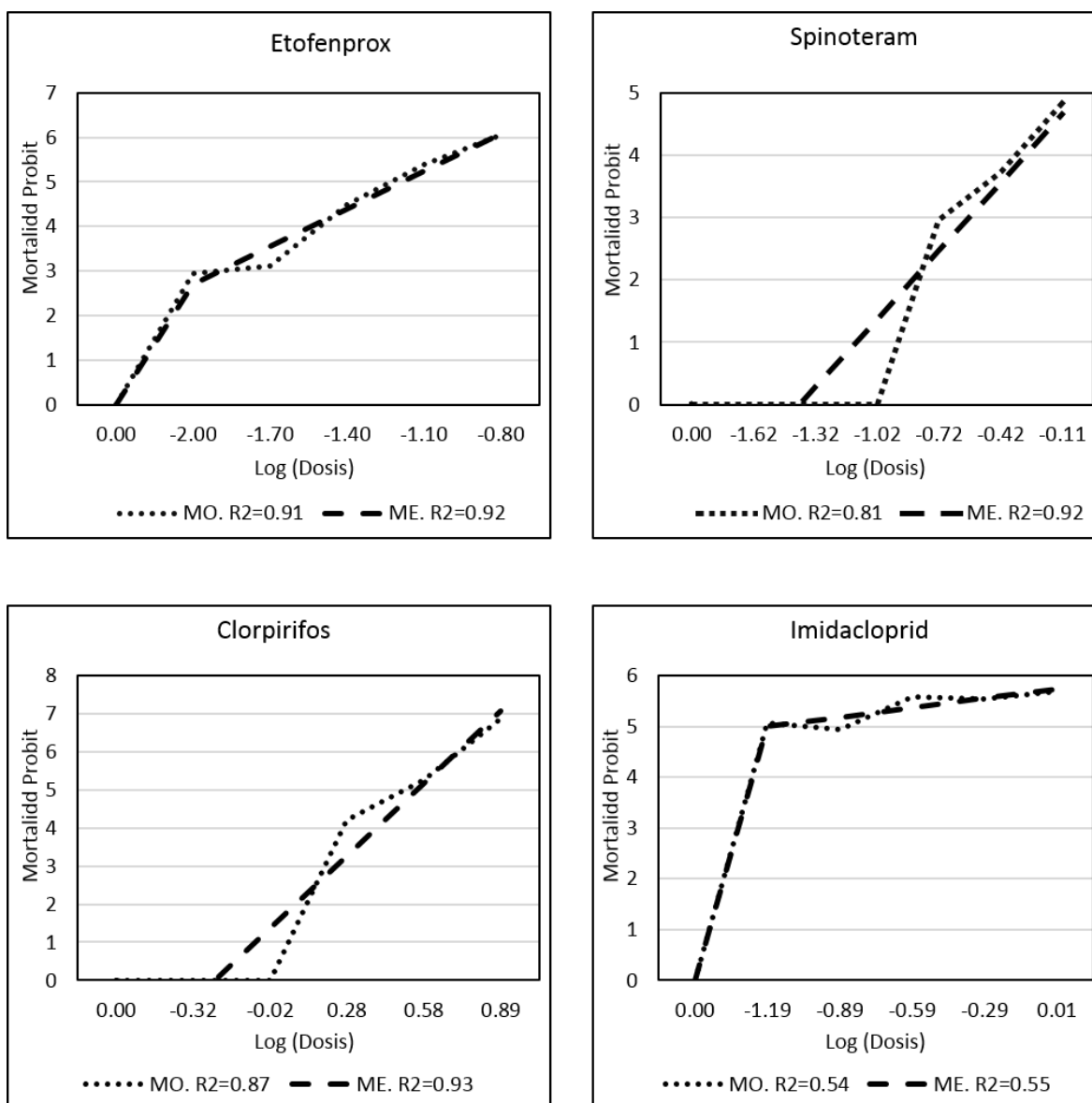


Figura 1. Toxicidad de insecticidas contra el picudo rojinegro *Optatus palmaris*. MO= mortalidad observada; ME= mortalidad esperada; R²= coeficiente de regresión log (dosis)/mortalidad Probit.

La CL_{50} de imidacloprid fue la más baja al igual el TL_{50} , 0.06 g ia L^{-1} y 0.3 h , respectivamente; es decir, presentó la mayor toxicidad contra *O. palmaris*, con actividad sistémica y por contacto, este insecticida ha mostrado toxicidad alta para diferentes grupos de insectos plaga (Pedigo y Rice, 2009); no obstante, presenta menor selectividad para algunas especies depredadoras como *Chrysoperla carnea* Stephens (Huerta *et al.*, 2004; Estay *et al.*, 2005; Cerna *et al.*, 2012) por lo que su aplicación en guanábana podría ser en un esquema de rotación, solo como última opción, en condiciones y épocas en que presente el menor impacto hacía insectos benéficos.

A imidacloprid, en segundo lugar y con mayor toxicidad le siguió spinoteram con una CL_{50} y TL_{50} de 0.6 g ia L^{-1} y 1.76 h , respectivamente. El producto spinoteram es de reciente formulación y pertenece al grupo de spynosinas (IRAC, 2020), el mismo grupo al que pertenece spinosad y con límite máximo de residuos en guanábana de 0.3 ppm para el mercado de Estados Unidos de América.

Con actividad por contacto ha mostrado toxicidad hacia diferentes grupos de insectos, principalmente para coleópteros y lepidópteros (Pedigo y Rice, 2009) y trips (Hernández *et al.*, 2018; Walter *et al.*, 2018) y baja toxicidad hacia insectos benéficos (Morales *et al.*, 2020); por lo anterior, puede ser una alternativa importante para el control de *O. palmaris* en el cultivo de guanábana.

En tercer lugar, con menor toxicidad se ubicó el insecticida etofenprox con una CL_{50} de 1.83 g ia L^{-1} y un TL_{50} de 3.8 h , insecticida de reciente síntesis y perteneciente al grupo de los piretroides, con límite máximo de residuos en Estados Unidos de América, para guanábana de 5 ppm (EPA, 2013; DataBase LMR, 2020) y considerado de bajo riesgo para aves y mamíferos por las autoridades europeas en seguridad alimentaria (EFSA, 2008).

Presenta toxicidad para varios insectos plaga (Trisyono *et al.*, 2017) y podría ser una opción importante para el manejo de *O. palmaris* en un esquema de rotación de insecticidas y repelentes. Por último, clorpirifos presentó menor toxicidad contra *O. palmaris*, si bien, presentó menor TL_{50} que etofenprox y spinoteram, su CL_{50} fue de 3.6 g ia L^{-1} , en concentración de campo con producto comercial ya formulado, esa cantidad representa 7.5 ml L^{-1} , con un gasto estimado de 200 L ha^{-1} ese volumen equivaldría a 1.5 L ha^{-1} aproximadamente.

Al ser insecticidas que actúan por contacto, el efecto de mortalidad es alto en las primeras 12 h después de la aplicación; la CL_{50} (0.06 g ia L^{-1}) fue más alta en el insecticida imidacloprid y un TL_{50} menor (0.3 h), por ser este también de acción sistémica, es conveniente su evaluación contra larvas de *O. palmaris*. De acuerdo con Maldonado *et al.* (2014) el picudo daña frutos en desarrollo y en madurez fisiológica, momento en que la presencia de insectos polinizadores es menor y se espera que con el uso adecuado el efecto colateral sea menor; no obstante, por los posibles efectos contra otros insectos es necesario evaluar su impacto sobre los mismos, principalmente sobre coleópteros, ya que estos tienen actividad importante como polinizadores en anonas (Peña *et al.*, 2002).

Conclusiones

Se observaron diferencias significativas en la mortalidad de *O. palmaris* entre tratamientos en aplicación por contacto, exposición residual y por ingestión. Es posible lograr un manejo del picudo con la rotación de los insecticidas y dosis que mostraron mayor toxicidad spinosad, lambda-cialotrina, etofenprox, imidacloprid y spinoteram. Al ser compuestos que actúan por contacto, con excepción de imidacloprid, el efecto de mortalidad es alto en las primeras 12 h después de la aplicación.

La CL_{50} (0.06 g ia L^{-1}) por ser este también de acción sistémica es conveniente su evaluación contra el estado larval del picudo y que daña frutos en desarrollo y emerge en frutos próximos a cosecha que demerita la calidad y favorece el daño por patógenos, en esta etapa, la presencia de flores es menor, al igual que la densidad de insectos polinizadores, por lo que se esperaría que el uso adecuado de estos productos tuviese menor efectos colaterales; no obstante, por los posibles efectos de este y otros compuestos contra insectos es necesario observar su impacto, principalmente en insectos coleópteros que se asocian con flores de anonas.

El Clorpirifos tuvo efecto de mortalidad por contacto mayor a 85% después de la primera hora de observación con la concentración de 2.4 g ia L^{-1} y a las 4 h con la concentración de 0.24 g ia L^{-1} ; sin embargo, el consumo de fruta fue ligeramente menor (11.8%) al testigo absoluto; es decir, el insecto continuó con su alimentación lo cual representa daños importantes al fruto y demerita su calidad, además de dañar flores y hojas.

Por lo anterior, no es recomendable el uso de este insecticida para el control de *O. palmaris*. De igual manera no se recomienda la aplicación de azadiractina pues no mostró eficacia de mortalidad o repelencia durante el tiempo y las dosis evaluadas. Por la distribución de *O. palmaris* y reciente establecimiento en la principal zona productora de guanábana en México; es necesario, continuar con estudios de control evaluando otros productos y repelentes e integrando otros métodos para lograr un manejo sanitario más eficiente y con el menor impacto ambiental.

Agradecimientos

Se agradece a los productores de guanábana en Nayarit por las facilidades otorgadas para el acceso a sus huertos. Al INIFAP por el apoyo económico para realizar la presente investigación.

Literatura citada

- Abbott, W. S. 1925. A method of computing the effectiveness of an insecticide. J. Econ. Entomol. 18(2):265-267.
- Anadón, A.; Martínez, M.; Martínez, M. A.; Díaz, M. J. and Martínez-Larrañaga, M. R. 2006. Toxicokinetics of lambda-cyhalothrin in rats. Toxicol. Lett. 165(1):47-56.
- CABI. 2018. *Annona muricata* (soursop). Disponible en: <https://www.cabi.org/isc/datasheet/5812>.
- Castañeda, G. G. M. 2011. Ciclo de vida y hábitos del picudo de las Annonáceas *Optatus palmaris* Pascoe: observaciones en campo y laboratorio. Tesis Licenciatura. Universidad Tecnológica de la Costa. Santiago Ixcuintla, Nayarit, México. 16-22 pp.

- Castañeda, V. A.; Nava, D. C.; Hernández, F. L. M.; Valdez, C. J. and Colunga, T. B. 2009. New host record and geographical distribution of *Optatus palmaris* Pascoe 1889 (Coleoptera; Curculionidae) in Mexico. *Acta Zool. Mex.* 25(3):663-666.
- Cerna, E.; Ail, A. C.; Landeros, J.; Sánchez, S.; Badii, M.; Aguirre L. and Ochoa, Y. 2012. Comparación de la toxicidad y selectividad de insecticidas para la plaga *Bactericera cockerelli* y su depredador *Chrysoperla carnea*. *Agrociencia.* 46(8):783-793.
- Cham, A. K., Luna, E. G.; Robles, B. A.; Ríos, V. C.; Coronado, B. J. M. and Cambero, C. O. J. 2019. Insects associated with the soursop (*Annona muricata* L.) crop in Nayarit, México. *Fla. Entomol.* 102(2):359-365.
- Chaverra, R. D.; Jaramillo, O. N. and Fonseca, G. I. 2012. Selección artificial de resistencia a lamda cialotrina en *Aedes aegypti* y resistencia cruzada a otros insecticidas. *Rev. Colomb. Entomol.* 38(1):100-107.
- COFEPRIS. 2020. Comisión Federal para la Protección Contra Riesgos Sanitarios. <http://siipris03.cofepris.gob.mx/Resoluciones/Consultas/ConWebRegPlaguicida.asp>.
- DataBase LMR. 2020. BC Global. <https://bcglobal.bryantchristie.com/db#pesticides/query/279C003C39192919A8321DC3C21A854ACFD38C939B4D80281A33D1D3C4201814C7>.
- EFSA. 2008. European Food Safety Authority. Conclusion on the peer review of etofenprox. *Scientific Report.* 213:1-131. <https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.2903/j.efsa.2009.213r>.
- EPA. 2012. Environmental Protection Agency. Index to pesticide chemical names, part 180 tolerance information, and food and feed commodities (by commodity). <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-01/documents/tolerances-commodity.pdf>.
- EPA. 2013. Environmental Protection Agency. Etofenprox, Pesticides Tolerance. 78(229):70870-70877. <https://www.federalregister.gov/documents/2013/11/27/2013-28517/etofenprox-pesticide-tolerances>.
- Esparza, D. G.; López, C. J.; Villanueva, J. J. A.; Osorio, A. F.; Otero, C. G. and Camacho, D. E. 2010. Concentración de azadiractina, efectividad insecticida y fitotoxicidad de cuatro extractos de *Azadirachta indica* A. Juss. *Agrociencia.* 44(7):821-833.
- Estay, P.; Araya, J. E. and Araya, M. H. 2005. Toxicidad en laboratorio de imidacloprid, acetamiprid y abamectina sobre adultos de *Encarsia formosa* (Gahan) (Hymenoptera, Aphelinidae). *Boletín Sociedad Entomológica Aragonesa.* 37:369-371.
- Geurts, F. 1981. Annonaceous fruits. Royal Tropical Institute. Amsterdam, the Netherlands. 16 p.
- Hernández, F. L. M. 2018. Toxicidad de insecticidas en el trips *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae) en aguacate CV Hass. *Entomología Mexicana.* 5:390-395.
- Hernández, F. L. M., Gómez, J. R. y Andrés, A. J. 2013. Importancia, plagas insectiles y enfermedades fungosas del cultivo del guanábano. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). México. Libro Técnico Num.1. 87 p.
- Hernández, F. L. M.; Valdez, C. J.; Illescas, R. C. P.; Maldonado, J. E. and Orozco-Santos, M. 2012. Morphological description of the Aedeagus of *Optatus palmaris* champion (Coleoptera: Curculionidae). *Southwest. Entomol.* 37(2):225-229.
- Huerta, A.; Medina, P.; Budía, F. and Viñuela, E. 2004. Evaluación de la toxicidad por ingestión de cuatro insecticidas y el colorante Floxín-B en larvas y adultos de *Chrysoperla carnea* (Stephens) (Neuroptera: Chrysopidae). *Bol. San. Veg. Plagas.* 30:721-732.

- IRAC. 2020. Mode of Action Classification Scheme. file:///C:/Users/Administrador/Downloads/MoA-lassification-v9.4-3March20%20(1).pdf).
- Koul, O.; Isman, M. B. and Ketkar, C. M. 1990. Properties and uses of neem, *Azadirachta indica*. Can. J. Bot. 68:1-11.
- Lagunes, T. A.; Rodríguez, M. J. C. and De Loera, B. J. C. 2009. Susceptibilidad a insecticidas en poblaciones de artrópodos de México. Agrociencia. 43(2):173-196.
- Maldonado, J. E.; Hernández, F. L. M.; Luna, E. G.; Gómez, R. A. J.; Flores, J. C. R. and Orozco, S. M. 2014. Bioecology of *Optatus palmaris* Pascoe (Coleoptera: Curculionidae) in *Annona muricata* L. Southwest. Entomol. 39(4):773-782.
- Matsumura, F. 1985. Toxicology of insecticides. 2^{da}. Edition. Ed. Plenum Press. New York. 598 p.
- Morales, O. E.; González, H. H.; Nava, C. U.; Equihua, M. A.; Carrillo, S. J. L.; Arreola, Á. J. G. and Ávila, R. V. 2020. Densidades, daños y parasitismo del gusano barrenador del ruzno, *Cydia caryana* (Fitch), bajo diferente manejo de insecticidas. Southwest. Entomol. 45(1):197-208.
- Paramasivam, M. and Selvi, C. 2017. Laboratory bioassay methods to assess the insecticides toxicity against insect's pest: A Review. J. Entomol. Zool. Stud. 5(3):1441-1445.
- Pedigo, P. L. and Rice, M. E. 2009. Entomology and pest management. 6th. Edition. Ed. Pearson Prentice Hall. EEUU. 784 p.
- Peña, J. E.; Nadel, H.; Barbosa-Pereira, M. and Smith, D. 2002. Pollinators and pests of *Annona* species. In: Tropical fruit pests and pollinators: Biology, economic importance, natural enemies and control. Peña, J. E.; Sharp, J. L. and Wysoki, M. (Eds.). CABI Publishing. New York. 197-222 pp.
- Pinzón, G. J. M.; Hernández, F. L. M.; Luna, E. G.; Isiordia, A. N. y Ortíz, C. M. 2016. Biología y Hábitos de *Gonodonta pyrigo* Cramer en *Annona muricata*. Southwest. Entomol. 41(1):251-258.
- Rana, J. S.; Jaglan, R. S. and Dahiya, K. K. 2008. Neem as an insecticide against Aphid (Homoptera: Aphididae). In: Singh, K. K.; Phogat, S.; Dhillon, R. S. and Tomar, A. (Eds.): Neem: A Treatise. I. K. International Publishing House Pvt. Ltd. 347-353 pp.
- Robertson, J. R.; Jones, M. M.; Olguin, E. and Alberts, B. 2017. Bioassays with Arthropods. 3rd. Edition. Ed. CRC Press Taylor and Francis Group. Boca Raton, Fl. 194 p.
- Salas, A., M. D., O'Brien C. W. and Romero N. J. 2001. Curculionoidea (Coleoptera: Curculionidae) from the state of Guanajuato, Mexico. Insecta Mundi. 15(1):45-57.
- Trisyono, Y. A.; Aryuwandari, V. E. F.; Rahayu T. and Martono, E. 2017. Effects of etofenprox applied at the sublethal concentration on the fecundity of rice brown planthopper, *Nilaparvata lugens*. J. Asia Pac. Entomol. 20(2):547-551.
- Ujváry, I. 2010. Pest control agents from natural products. In: Hayes' handbook of pesticide toxicology. R. Krieger. Third edition. Academic Press. 119-229 pp. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780123743671000033>.
- Vildozola, C. A.; Nava, D. C.; Hernández, F. L. M.; Valdez, C. J. y Colunga, T. B. 2009. New host record and geographical distribution of *Optatus palmaris* Pascoe 1889 (Coleoptera: Curculionidae) in México. Acta Zoológica Mexicana. 25(3):663-666.
- Walter, N. T.; Adeleye, V. O.; Muthomi, P. K.; Ortiz, R. R. J.; Strzyzewski, I.; Funderburk, J. and Martini, X. 2018. Toxicity of different insecticides against two thrips (Thysanoptera: Thripidae) pests of concern in Central America. Florida Entomologist. 101(4):627-633.