

# INSECTICIDAS EN LA TRANSMISIÓN DEL VIRUS DE LA MANCHA ANULAR DE *Carica papaya* L., MEDIANTE *Aphis nerii* (Boyer de Fonscolombe)

## INSECTICIDES USED IN THE TRANSMISSION OF THE RINGSPOT VIRUS OF *Carica papaya* L., THROUGH *Aphis nerii* (Boyer de Fonscolombe)

Osorio-Acosta, F.<sup>1</sup>; Villanueva-Jiménez, J.A.<sup>1\*</sup>; Celis-León, B.<sup>2</sup>; Morales-Rodríguez, A.<sup>2</sup>; José-Pablo, R.<sup>1</sup>



<sup>1</sup>Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz. Km. 88.5 carretera federal Xalapa-Veracruz, Tepetates M. Fabio Altamirano, Veracruz, México. <sup>2</sup>Instituto Tecnológico Agropecuario de Úrsulo Galván, Veracruz, México.

\*Autor de correspondencia: javj@colpos.mx

### RESUMEN

El virus de la mancha anular del papayo (PRSV-p) es transmitido de forma no-persistente por hembras de *Aphis nerii* y otras especies de áfidos (Hemiptera: Aphididae). Se ha cuestionado la efectividad de la aplicación de insecticidas para reducir la transmisión viral. Se realizaron pruebas de transmisión viral con hembras adultas de *A. nerii* en laboratorio, sobre plantas de papayo (*Carica papaya*). Se utilizaron 1, 2, 5 y 10 hembras adultas aladas y ápteras de *A. nerii*. Se determinó la presencia del PRSV-p mediante la prueba de ELISA. Se evaluó el efecto de seis insecticidas/acaricidas con diferentes modos de acción (malatión, deltametrina, imidacloprid, óxido de fenbutatín, pymetrozine y rotenona), en la transmisión viral y mortalidad de áfidos. Los productos formulados se aplicaron a plantas de papayo a las dosis más bajas recomendadas; posteriormente se expusieron a los áfidos inoculativos por 24 h. La fitotoxicidad se registró visualmente en laboratorio. No presentaron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) en la transmisión viral entre áfidos alados o ápteros. La mayor transmisión (75% a 80%) se obtuvo con 10 adultos y la menor (15% a 20%) con un adulto. Las transmisiones significativamente más bajas se obtuvieron al usar pymetrozine (19%) y rotenona (29%), mientras que las mayores fueron con deltametrina (81%) y malatión (66%). El imidacloprid y malatión ocasionaron 100% de mortalidad a 24 h, mientras pymetrozine y óxido de fenbutatín produjeron la mortalidad más baja (46%). Rotenona ocasionó fitotoxicidad en hojas de papaya. Pymetrozine tiene potencial en la prevención de transmisión viral no-persistente.

**Palabras clave:** papayo, VMAP, fitotoxicidad, insecticida botánico, áfidos, potyvirus.

### ABSTRACT

The papaya ringspot virus (PRSV-p) is transmitted in a non-persistent way by females of *Aphis nerii* and other aphid species (Hemiptera: Aphididae). The effectiveness of the application of insecticides to reduce viral transmission has been questioned. Viral transmission tests have been performed with adult females of *A. nerii* in the laboratory, on papaya plants (*Carica papaya*). One, two, five and ten winged and wingless female adults of *A. nerii* were used. The presence of the PRSV-p was determined through the ELISA test. The effect of six insecticides/acaricides with different modes of action was evaluated (malathion, deltamethrin, imidacloprid, fenbutatin oxide, pymetrozine and rotenone), on the viral transmission and mortality of aphids. The products formulated were applied to papaya trees



**Agroproductividad:** Vol. 9, Núm. 10, octubre. 2016. pp: 68-74.

**Recibido:** mayo, 2016. **Aceptado:** octubre, 2016.



at the lowest recommended dose; later, they were exposed to the inoculating aphids for 24 h. The phytotoxicity was recorded visually in the laboratory. No significant differences were found ( $p < 0.05$ ) in the viral transmission between winged or wingless aphids. The greatest transmission (75 % to 80 %) was obtained with 10 adults and the lowest (15 % to 20 %) with one adult. The significantly lowest transmissions were obtained by using pymetrozine (19 %) and rotenone (29 %), while the highest were with deltamethrin (81 %) and malathion (66 %). Imidacloprid and malathion caused 100 % mortality at 24 h, while pymetrozine and fenbutatin oxide produced the lowest mortality (46 %). Rotenone caused phytotoxicity in papaya leaves. Pymetrozine has potential in the prevention of non-persistent viral transmission.

**Keywords:** papaya tree, PSRV-p, phytotoxicity, botanical insecticide, aphids, potyvirus.

## INTRODUCCIÓN

El virus de la mancha anular del papayo (PRSV-p) es transmitido en campo por las hembras aladas de varias especies de áfidos (Hemiptera: Aphididae). En la zona Central Costera del estado de Veracruz, México, la transmisión del PRSV-p la realiza *Myzus persicae* Sulzer, *Aphis gossypii* Glover, *A. nerii* Boyer de Foscolombe, y *A. spiraecola* Match (García et al., 1988). En condiciones de laboratorio se utilizan las hembras adultas ápteras para estudios de transmisión viral, ya que son más fáciles de manipular. Sin embargo pocos estudios comparan la eficiencia de transmisión viral entre ambas formas adultas de áfidos. Además, los índices de transmisión viral pueden ser utilizados en modelos epidemiológicos que incluyan la interacción del vector, el virus y la planta, así como la productividad del cultivo (Gilligan y Van Den Bosch, 2008).

El manejo integrado del PRSV-p se centra en diversas estrategias de reducción de la propagación del virus mediante el control del áfido. Se han evaluado diferentes tácticas como la protección del vivero con malla antiáfidos y mallas de polipropileno (Hernández-Castro et al., 2005a; Cabrera et al., 2011), el uso de barreras vegetales como plantas trampa (Hernández-Castro et al., 2010), la

eliminación de plantas con síntomas iniciales del PSRV-p (Hernández-Castro et al., 2004), la búsqueda de plantas resistentes o tolerantes (Yi-Jung et al., 2009), aumento en la densidad de plantación (Hernández et al., 2007), así como el uso de aceites minerales (Hernández et al., 2000) e insecticidas organosintéticos y de origen vegetal (Hernández-Castro et al., 2005b) para prevenir la transmisión viral. A pesar de que el manejo integrado del papayo se ha incorporado en la producción en diferentes regiones del cultivo, persiste el abundante uso de insecticidas que pretende el control del virus (Hernández et al., 2000). Para que un producto químico sea efectivo en reducir la transmisión viral no-persistente, se debe aplicar cuando el vector inicia el descubrimiento y evaluación de la planta, antes de iniciar el probado con sus estiletes (Perring et al., 1999). A nivel de campo, se ha observado que insecticidas neuroestimuladores como los organofosforados y carbamatos, no han sido efectivos para el control del PRSV-p. Perring et al. (1999) citan que de 48 casos que reportan fallas en el control de la dispersión de virus mediante insecticidas, 32 fueron con virus no-persistentes; las excepciones a esta alta tasa de fracasos han sido con el uso de piretroides, aceites y productos químicos modificadores del comportamiento del insecto. Se encuentran disponibles en el mercado grupos químicos con el potencial de paralizar o disminuir la actividad de artrópodos, incluidos los piretroides, nicotinoides y triazinas asimétricas (Lagunes-Tejeda y Villanueva-Jiménez, 1994), usados contra insectos y ácaros plaga en varios cultivos. No se ha confrontado el modo de acción de compuestos con un posible efecto de arresto, parálisis o disminución de la actividad de los vectores de virus. En este estudio se evaluaron seis insecticidas con diferentes modos de acción en la transmisión del PRSV-p bajo condiciones controladas, y se comparó la eficiencia de hembras adultas aladas y ápteras de *Aphis nerii* en la transmisión viral.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se recolectaron hembras ápteras de *A. nerii* sobre plantas de *Asclepias curassavica* L. en campo (Figura 1). Para obtener insectos libres de virus fitopatógenos, se colocaron 50 hembras adultas en una caja de Petri de vidrio y se mantuvieron en ayuno hasta que produjeron ninfas de primer instar. Las ninfas recién emergidas se colocaron sobre plantas sanas de *A. curassavica* obtenidas a partir de semilla y se mantuvieron en jaulas entomológicas para su multiplicación bajo condiciones de laboratorio. Para la obtención de adultos alados, se permitió que el número de insectos en plantas de *A. curassavica*

se incrementara hasta alcanzar niveles de sobrepoblación (Shaw, 1970), lo cual promovió cambios hormonales de los áfidos que indujeron la formación de alas.

Se recolectaron tres hojas de la parte apical de una planta de papayo que mostraba síntomas característicos del PRSV-p (Figura 2), proveniente de una plantación experimental establecida en campo (Téliz *et al.*, 1991). Se confirmó la presencia del PRSV-p mediante la prueba de ELISA (Téliz y Mora, 1986). En las hojas recolectadas se colocaron áfidos libres de virus por 45 segundos para el período de adquisición; posteriormente, 10 de éstos se pasaron a cada una de cinco plantas sanas de papayo con 12 hojas verdaderas, durante un período de inoculación de 24 h. Una vez transcurrido este tiempo los áfidos se eliminaron manualmente. A las plantas inoculadas que mostraron síntomas se les realizó la prueba de ELISA para confirmar la presencia del PRSV-p. Estas plantas se mantuvieron en jaulas y se utilizaron como fuente de inóculo en el experimento.

Para las pruebas de transmisión, se colocaron hembras adultas aladas y ápteras de *A. nerii* en una caja de Petri y mantuvieron en ayuno por un período de dos horas; posteriormente se pasaron a hojas de papayo con la fuente de inóculo para un periodo de adquisición de 45 segundos. El tiempo de adqui-



**Figura 1.** Colonia de *Aphis nerii* sobre planta de *Asclepias curassavica*.

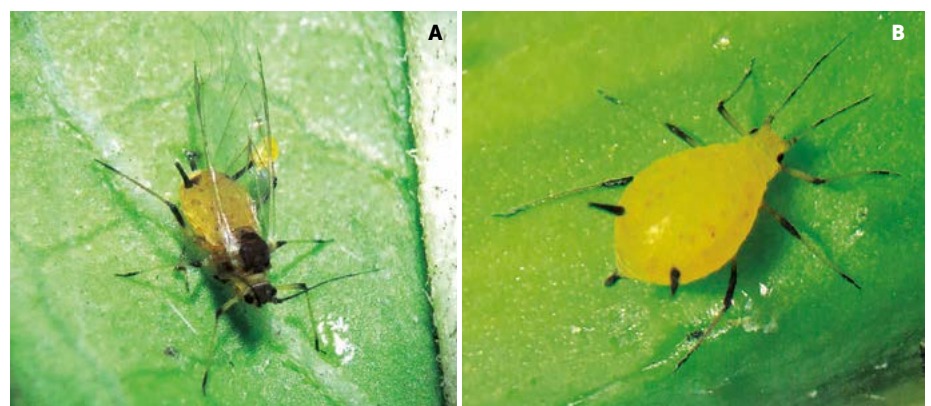


**Figura 2.** Planta afectada por el virus de la mancha anular del papayo (PRSV-p).

sición del PRSV-p contó a partir de que los áfidos iniciaron el probado de la hoja. En cada tratamiento se colocó un número determinado de áfidos a las plantas sanas de papayo (*Carica papaya* L.) var. Maradol Roja con 10 a 12 hojas verdaderas. Para el

período de inoculación, las plantas con los áfidos se confinaron en una jaula durante 24 h para asegurar que se alimentaran y transmitieran el virus. Posteriormente estos insectos vivos se retiraron manualmente. Las plantas inoculadas se mantuvieron a temperatura ambiente ( $25 \pm 2^\circ\text{C}$ ) por 30 días en jaulas entomológicas cubiertas con malla antiáfido para evitar la entrada de insectos.

Para detectar diferencias en la eficiencia de transmisión entre adultos alados y ápteros de *A. nerii* (Figura 3), en cada planta se colocaron uno, dos, cinco ó 10 hembras ápteras o hembras aladas portadoras del virus de la mancha anular del papayo. Cada tratamiento contó con seis repeticiones y 10 plantas por repetición. La transmisión se corroboró mediante la prueba de ELISA. El tratamiento testigo consistió en colocar 10 áfidos ápteros o alados libres de virus por planta, en 10 plantas para cada tipo de áfido.



**Figura 3.** Adulto alado (A) y áptero (B) de *Aphis nerii* Boyer de Fonscolombe.



## Efectividad de insecticidas sobre la transmisión del virus y la mortalidad de áfidos

Se evaluaron seis insecticidas comerciales a las dosis más bajas recomendadas comercialmente (mL o g ha<sup>-1</sup> en 200 L de agua): Lucation<sup>®</sup> 1000-E (malatión) (150 mL), Decis<sup>®</sup> 2.5 CE (deltametrina) (500 mL), Confidor<sup>®</sup> 350 SC (imidacloprid) (20 mL), Torque<sup>®</sup> 500 SC (óxido de fenbutatín) (500 mL), Plenum<sup>®</sup> 50 PH (pymetrozina) (200 g) y Gorkill<sup>®</sup> 2X (rotenona) (400 mL). Cada tratamiento consistió de seis repeticiones con 10 plantas por repetición. Las plantas se asperjaron con las soluciones insecticidas mediante un atomizador manual (1000 mL), una hora antes de la inoculación. El testigo se asperjó con agua destilada. La inoculación del PRSV-p se realizó con 10 hembras adultas ápteras por planta, a partir de los resultados de la primera prueba, y como se indica en las pruebas de transmisión. Las plantas asperjadas se confinaron en jaulas para prevenir la entrada de insectos y se revisaron cada cinco días, por un periodo de 20 días, periodo suficiente para que se manifestaran los síntomas de fitotoxicidad. La fitotoxicidad se estimó visualmente respecto a la proporción del área foliar dañada en 10 plantas de papayo por tratamiento. La mortalidad de áfidos se evaluó 24 h después de que fueron colocados sobre las plantas de papayo. Se consideró un áfido muerto cuando no presentó movilidad al ser tocado con un pincel en el dorso. Se utilizó la prueba de ELISA para determinar la presencia del PRSV-p.

Se calcularon los porcentajes de transmisión del PRSV-p con base en la prueba de ELISA. Los porcentajes de transmisión se transformaron en  $\text{Arcsen } \sqrt{\% / 100}$ . Los datos transformados se sometieron al análisis de varianza y prueba de medias (Duncan,  $p < 0.05$ ). Se realizó una regresión lineal simple para examinar la eficiencia de transmisión del virus por áfidos ápteros y alados. Se calculó el porcentaje de mortalidad corregida mediante la fórmula de Abbott (1925), y se contabilizaron las

plantas que mostraron fitotoxicidad ocasionada por los insecticidas.

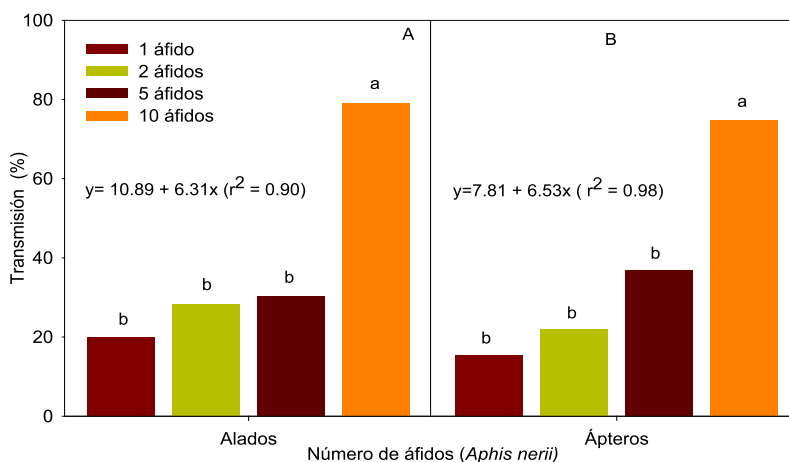
## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Pruebas de transmisión viral por áfidos

En las pruebas de transmisión, se confirmó que a partir de una hembra áptera o alada de *A. nerii* es posible la transmisión de PRSV-p entre plantas de papayo. Estos resultados coinciden con García *et al.* (1988) y Mora-Aguilera *et al.* (1993), los cuales indican que esta especie es un vector importante. La transmisión viral fue mayor cuando se utilizó mayor cantidad tanto de áfidos alados como ápteros, sin encontrar diferencias entre estas dos formas adultas (Figura 4). Singh (1971) indica que un solo adulto de *M. persicae* es suficiente para producir infección, y que éste no es diferente del inducido por cinco áfidos, sin embargo la transmisión aumenta al usar 10 insectos. Kalleshwaraswamy y Kumar (2007) indican que la mayor eficiencia de transmisión del PRSV-p se presentó con un grupo de mayor número de áfidos por planta en contraste con un solo áfido, tanto con *M. persicae* como con *A. gossypii*.

La ecuación de regresión para cada tipo de áfido (Figura 4), contó con un índice alto de correlación, ( $r^2 = 0.90$  y  $0.98$ ).

Aunque la forma alada o áptera de *A. nerii* no influye en el porcentaje de transmisión del PRSV-p, éste podría no ser un caso generalizado para todas las especies de áfidos transmisores del virus (Mora-Aguilera *et al.*, 1993), ya que García *et al.* (1988) reportaron que la forma alada de *A. spiraecola* es más eficiente en la transmisión del PRSV-p que la forma áptera. Esta investigación confirma el estándar de 10 áfidos ápteros establecido para las pruebas de transmisión en laboratorio (Hernández-Castro *et al.*, 2005b), donde el índice más alto de transmisión se obtiene con esta misma cantidad de áfidos. Debido a que para las pruebas de transmisión la cría de áfidos ápteros es más práctica que la cría de áfidos alados, es recomendable utilizar la primera.



**Figura 4.** Porcentaje de transmisión del PRSV-p, por hembras adultas aladas (A) y ápteras (B) de *Aphis nerii*. Datos no transformados. Tratamientos con letras diferentes, son significativamente diferentes (Duncan,  $p < 0.05$ ).

plantas que mostraron fitotoxicidad ocasionada por los insecticidas.

### Insecticidas en la transmisión viral y mortalidad de áfidos

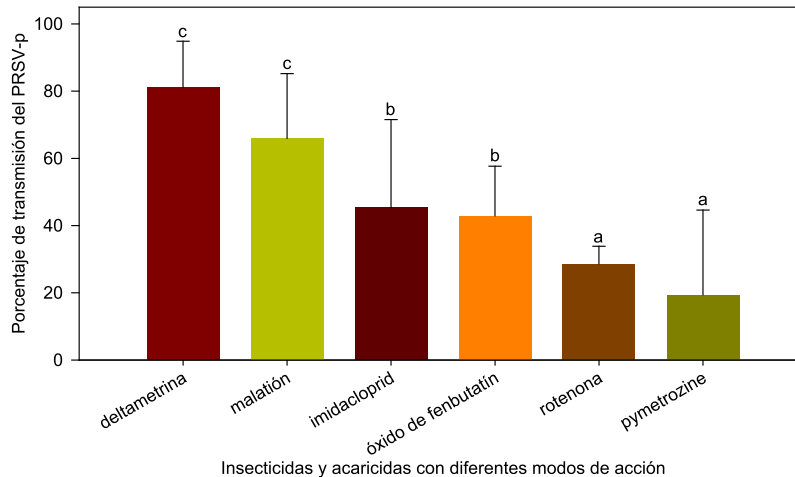
Ningún insecticida evitó el 100% de transmisión del PRSV-p por hembras ápteras de *A. nerii* (Figura 5). Los insecticidas pymetrozine y rotenona produjeron los porcentajes significativamente más bajos de transmisión viral (19% y 29%, respectivamente). El segundo grupo lo constituyó el óxido de fenbutatín y el imidacloprid con valores de 43% y 45%. La transmisión más alta se obtuvo al aplicar malatión y deltametrina (66% y 81% respectivamente), resultados similares a los observados en las pruebas de transmisión con 10 áfidos sin insecticidas (Figura 4).

Los porcentajes más altos de mortalidad de hembras adultas ápteras de *A. nerii* a 24 h de exposición en plantas de papayo (100%) se obtuvieron con los insecticidas malatión e imidacloprid, seguido de rotenona (77%) y deltametrina (71%), mientras que los porcentajes más bajos se presentaron con pymetrozine y óxido de fenbutatín (46%) (Figura 6). De acuerdo con Ausborn *et al.* (2005), pymetrozine afecta a las sésilas cordotonales, que en el caso de los áfidos se localizan en el interior del sexto segmento antenal; su función es asegurar que las antenas estén correctamente posicionadas para una acción eficiente de los quimiorreceptores (Bromley *et al.*, 1980), pero no tiene

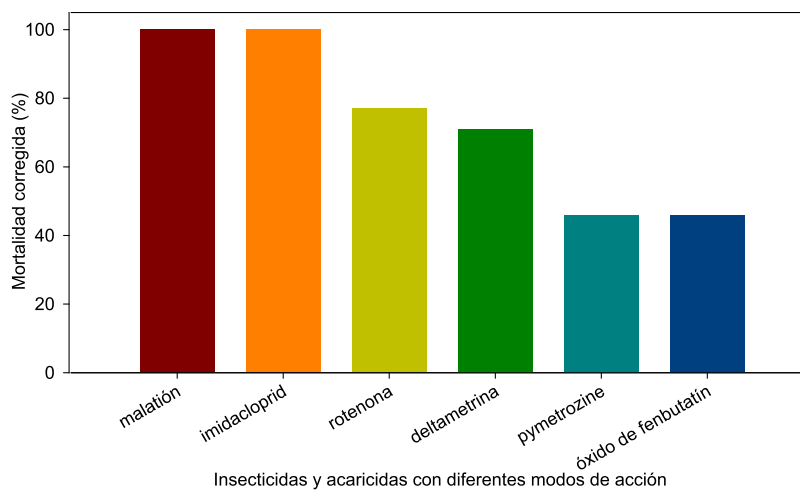
un efecto neuro-regulatorio ni interviene en la interacción neuromuscular. Fisiológicamente, pymetrozine impide la habilidad de un insecto para detectar a su planta hospedera y previenen la inserción de sus estiletes en el tejido de la planta. En caso de que los estiletes ya están insertados, ellos inhiben inmediatamente la alimentación, lo cual promueve una muerte retardada por inanición (Harrewijn y Kayser, 1997). Debido a este efecto, la mortalidad a las 24 h no es considerablemente alta (46%); sin embargo, el porcentaje de transmisión viral de 19% fue el

más bajo con respecto a los demás insecticidas. Polston y Sherwood (2003), anotan que pimetrozine redujo significativamente la transmisión del virus (Tomato Yellow Leaf Curl Virus) sobre plantas de tomate. Este resultado es promisorio en la prevención de las enfermedades virales transmitidas por dichos vectores, ya que afecta el comportamiento del áfido inclusive antes de que pueda probar la planta, lo que pudiera reducir efectivamente la transmisión viral. Es posible que sean necesarios estudios bioquímicos y fisiológicos con antenas de áfidos para corroborar la actividad del pymetrozine.

La rotenona es un inhibidor de la transportación de electrones a nivel del complejo mitocondrial I (Gupta, 2014). Este insecticida indujo una mortalidad de 77%, lo que sugiere que el proceso inhibitorio de la cadena respiratoria



**Figura 5.** Efecto de insecticidas y acaricidas en la transmisión del PRSV-p por hembras adultas ápteras de *Aphis nerii* en plantas de papayo.



**Figura 6.** Porcentaje de mortalidad corregida de *Aphis nerii* a 24 horas de exposición en plantas de papayo asperjada con insecticidas y acaricidas con diferentes modos de acción.

ocasionada al áfido le provocó la muerte. El porcentaje de transmisión viral fue considerado bajo (28.7%), lo cual permite suponer que este producto podría tener ciertas posibilidades como inhibidor de la transmisión viral. Mossler y Crane (2009) indican que en Florida (EUA) 17% de productores usan Pyrellin® (piretrina+rotenona) para manejar insectos homópteros y lepidópteros en papayo. Sin embargo no es posible atribuirle todo el crédito a la rotenona, ya que el piretro es un compuesto altamente efectivo.

Ware y Whitacre (2004) mencionan que el óxido de fenbutatín reduce la energía disponible del insecto, lo cual conduce a la disminución de su movimiento. Esto lo realiza al inhibir la enzima ATP-sintetasa, lo que impide la formación de ATP mitocondrial por interrupción de la fosforilación oxidativa. El óxido de fenbutatín causó un nivel intermedio (43%) de transmisión viral y mortalidad de 46% de áfidos, lo cual es justificable, ya que este producto es un acaricida, no un insecticida. Se sugiere estudiar este producto en el combate de ácaros en papayo como parte de un programa de manejo integrado de plagas, midiendo al mismo tiempo su efecto en la transmisión viral del PRSV-p. Imidacloprid y malatión ocasionaron 100% de mortalidad; lo cual demuestra que estos insecticidas neurotóxicos son efectivos para matar a los áfidos. Sin embargo no son tan eficaces para evitar la transmisión del PRSV-p, ya que permitieron un grado medio de transmisión viral (45% y 66%, respectivamente). Aunque imidacloprid y malatión presentaron una acción eficiente de mortalidad en áfidos, esto no fue lo suficientemente rá-

pido; al ser neuro-estimuladores, pudieron haber ayudado a promover la transmisión viral. Smith y Brierley (1956) mencionan varios experimentos que han demostrado la incapacidad de los organofosforados para aniquilar a los áfidos, lo suficientemente rápido como para prevenir la transmisión viral. Cuando se aplicó imidacloprid a cultivos de papa, no logró detener la dispersión del PVY, pero disminuyó significativamente su transmisión (Alyokhin *et al.*, 2002). **Estos resultados y el obtenido con pymetrozine, malatión e imidacloprid indican que no hay una relación directa entre la muerte del insecto y la reducción en la transmisión.**

La deltametrina, insecticida piretroide neurotóxico, mató 71% de los áfidos, sin embargo, dicho efecto no fue suficiente para evitar que el PRSV-p se transmitiera en un 90%, probablemente inducido por la excitación inicial en los canales de sodio de las neuronas. En algunos casos, la mortalidad rápida causada por piretroides puede matar a los insectos antes de que ocurra la inoculación del virus. (Rice *et al.*, 1983), al reducir el tiempo que necesita para el probado de su planta hospedante, e inclusive puede tener efecto repelente; sin embargo este mismo efecto puede ser responsable de una mayor actividad del áfido, y promover así la dispersión del virus (Perring *et al.*, 1999). Lo anterior corrobora que los insecticidas no impiden eficientemente la transmisión del PRSV-p. Es probable que bajo condiciones de campo los porcentajes de transmisión aquí presentados se incrementen, porque los insectos llegan continuamente al cultivo y conforme transcurre el tiempo desde la aplicación del producto, se reduce su efectividad por la degradación de su molécula.

En las plantas asperjadas con deltametrina, malatión, pymetrozine, imidacloprid y óxido de fenbutatín no se percibió daño físico en tallos u hojas (sin fitotoxicidad aparente) a la dosis mínima recomendada, mientras que la rotenona aplicada en la dosis mínima recomendada causó "quemaduras" en hojas de todas las plantas de papayo tratadas. A los 20 días las "quemaduras" prosperaron de la punta hacia el centro de la hoja, cubriendo 75% del área foliar. Los meristemas no sufrieron daños, lo que permitió la pronta recuperación de las plantas. Los tallos tampoco sufrieron daños perceptibles a la vista. McPartland *et al.* (2000) indican que la fitotoxicidad por rotenona es rara, sin embargo, una combinación de piretrinas y rotenona no causó fitotoxicidad en la planta de jardín *Tilia cordata* L. (Baumler y Potter, 2007), por lo que Mossler y Crane (2009) recomiendan esta mezcla en Florida para manejar insectos chupadores y masticadores en papayo. A pesar de inhibir en alto porcentaje la transmisión viral, la fitotoxicidad ocasionada por la formulación de rotenona aplicada aquí sobre hojas de papayo, pudiera limitar su uso comercial.

## CONCLUSIONES

**Los porcentajes** (75-80%) más altos de transmisión del PRSV-p se obtuvieron con 10 adultos de *A. nerii*. La transmisión viral más baja (15-20%) se obtuvo con un adulto. Pymetrozine tiene potencial para prevenir la transmisión del virus no-persistente. La transmisión más baja del PRSV-p en plantas de papayo, se registró con pymetrozine (19%) y rotenona (29%),

y la más alta con deltametrina (81%) y malatión (66%). La aplicación de imidacloprid y malatión sobre áfidos causó 100% de mortalidad; la mortalidad más baja se le atribuyó a pymetrozina (46%) y oxido de fenbutatin (46%). Sólo la rotenona causó fitotoxicidad en hojas de papayo.

## AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue financiada parcialmente por el proyecto CO-NACYT G33672-B, y el Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz.

## LITERATURA CITADA

- Abbott W.S. 1925. A method of computing the effectiveness of an insecticide. *Journal of Economic Entomology* 18: 256-267.
- Alyokhin A., Sewell G., Groden E. 2002. Aphid abundance and potato virus Y transmission in imidacloprid-treated potatoes. *American Journal of Potato Research* 79: 255-262.
- Ausborn J., Wolf H., Mader W., Kayser H. 2005. The insecticide pymetrozine selectively affects chordonatal mechanoreceptors. *Journal of Experimental Biology* 208: 4451-4466.
- Baumler R.E., Potter D.A. 2007. Knockdown, residual, and antifeedant activity of pyrethroids and home landscape bioinsecticides against Japanese beetles (Coleoptera: Scarabaeidae) on Linden foliage. *Journal of Economic Entomology* 100: 451-458.
- Bromley A.K., Dunn J.A., Anderson M. 1980. Ultrastructure of the antennal sensilla of aphids II. Trichod, chordonatal and campaniform sensilla. *Cell and Tissue Research* 205: 493-511.
- Cabrera M.D., García H.D., Caballero A.M.W., García M.P.L., Portal V.O. 2011. Manejo de la mancha anular de la papaya mediante el uso de malla antiáfidos en viveros de *Carica papaya* L. Var. Maradol roja. *Fitosanidad* 15: 241-244.
- García G.B., Villanueva B.J., Becerra L.N. 1988. Pruebas de transmisión por áfidos. In: 1a Reunión Científica Forestal y Agropecuaria. INIFAP. Veracruz, México. p. 89 p.
- Gilligan C.A., Van Den Bosch F. 2008. Epidemiological models for invasion and persistence of pathogens. *Annual Review of Phytopathology* 46: 385-418.
- Gupta R.C. 2014. Rotenone. In: *Biomedical Sciences. Encyclopedia of Toxicology*. 4: 186-187.
- Harrewijn P., Kayser H. 1997. Pymetrozine, a fast-acting and selective inhibitor of aphid feeding. *In-situ* studies with electronic monitoring of feeding behaviour. *Pesticide Science* 49: 130-140.
- Hernández C.E., Damián N.A., Brito G.T., García S.F., Moreno M.A. 2007. Validación del manejo integrado del virus de la mancha anular del papayo (*Carica papaya* L.) cv 'Maradol roja' en la costa de Guerrero, México. *Revista CitriFru* 24:57-62.
- Hernández C.E., Riestra D.D., García P.E., Ortega A.L.D., Mosqueda V.R. 2000. Respuesta del virus de la mancha anular del papayo (PRSV-p) en tres sistemas de manejo. *Revista Manejo Integrado de Plagas* 58: 20-27.
- Hernández-Castro E., Marín-Lara N.E.D., Villanueva-Jiménez J.A. 2005a. Malla de polipropileno para prevenir los daños del virus de la mancha anular en semilleros de papayo (*Carica papaya* L.) cv. Maradol roja. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología* 74: 59-64.
- Hernández-Castro E., Utrera L.V., Villanueva-Jiménez J.A., Rodríguez-Lagunes D.A., Ojeda-Ramírez M. M. 2005b. Extractos de neem en el comportamiento de *Aphis nerii* y la transmisión del virus de la mancha anular del papayo. *Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico* 89: 75-84.
- Hernández-Castro E., Villanueva-Jiménez J.A., Mora-Aguilera J.A., Nava-Díaz C. 2010. Barreras de maíz en una estrategia de manejo integral para controlar epidemias del virus mancha anular del papayo (PRSV-p). *Agrociencia* 44: 339-349.
- Hernández-Castro E., Villanueva-Jiménez J.A., Mosqueda-Vázquez R., Mora-Aguilera J.A. 2004. Efecto de la erradicación de plantas enfermas por el PRSV-p en un sistema de manejo integrado del papayo (*Carica papaya* L.) en Veracruz, México. *Revista Mexicana de Fitopatología* 22: 382-388.
- Kalleshwaraswamy C.M., Kumar N.K.K. 2007. Transmission efficiency of papaya ringspot virus by three aphid species. *Phytopathology* 98:541-546.
- Lagunes-Tejeda A., Villanueva-Jiménez J.A. 1994. Toxicología y Manejo de Insecticidas. Colegio de Postgraduados. 1a Ed. México. 264 p.
- McPartland J.M., Clarke R.C., Watson D.P. 2000. *Hemp Diseases and Pests: Management and Biological Control*. CABI Publishing. New York. USA. 251 p.
- Mora-Aguilera G., Nieto-Angel D., Téliz D., Campbell C.L. 1993. Development of a prediction model for papaya ringspot in Veracruz, México. *Plant Disease* 77: 1205-1211.
- Mossler M.A., Crane F. 2009. Florida crop/pest management profile: papaya. Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida. Published as CIR 1402. <http://edis.ifas.ufl.edu/pdf/files/PI/PI05300> (consultado: 07/05/2016).
- Perring T.M., Gruenhagen N.M., Farrar C.A. 1999. Management of plant viral diseases through chemical control of insect vectors. *Annual Review of Entomology* 44: 457-481.
- Polston J.E., Sherwood T. 2003. Pymetrozine interferes with transmission of Tomato Yellow Leaf Curl Virus by the whitefly *Bemisia tabaci*. *Phytoparasitica* 31: 490-498.
- Rice A.D., Gibson R.W., Stribley M.F. 1983. Effects of deltamethrin on walking flight and potato virus Y transmission by pyrethroid-resistant *Myzus persicae*. *Annals of Applied Biology* 102: 229-236.
- Shaw M.J.P. 1970. Effects of population density on alienicolae of *Aphis fabae* Scop. *Annals of Applied Biology* 65: 191-202.
- Singh A.B. 1971. Transmission of papaya leaf reduction virus by *Myzus persicae*. *Plant Disease* 55: 526-529.
- Smith F.F., Brierley P. 1956. Insect transmission of plant viruses. *Annual Review of Entomology* 1: 299-322.
- Téliz D., Mora A.G., Nieto A.D., Gonsalves D., García E., Matheis L., Avila C. 1991. La mancha anular del papayo en México. *Rev. Mexicana de Fitopatología* 9: 64-68.
- Téliz D., Mora G. 1986. Inmunosorbencia con enzimas conjugadas. *Revista Mexicana de Fitopatología* 4: 133-141.
- Ware G.W., Whitacre D.M. 2004. *Introducción a los insecticidas*. 4ª ed. Departamento de Entomología, Universidad de Arizona. Tucson, Arizona. 25 p.
- Yi-Jung K., Huey-Jiunn B., Yi-Ling W., Chiung-Huei H., Tsui-Miao C., Shy-Dong Y. 2009. Generation of transgenic papaya with double resistance to papaya ringspot virus and papaya leaf-distortion mosaic virus. *Phytopathology* 99: 1312-1320.