

**Comparación de la eficacia del insecticida
Sulfoxaflor con Flupyradifurone,
Spirotetramate e Imidacloprid para el control
de *Myzus persicae* en chile dulce (*Capsicum
annuum*)**

Carlos Saint-Preux

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Honduras**
Noviembre, 2015

ZAMORANO
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

**Comparación de la eficacia del insecticida
Sulfoxaflor con Flupyradifurone,
Spirotetramate e Imidacloprid para el control
de *Myzus persicae* en chile dulce (*Capsicum
annuum*)**

Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar
al título de Ingeniero Agrónomo en el
Grado Académico de Licenciatura

Presentado por

Carlos Saint-Preux

Zamorano, Honduras

Noviembre, 2015

Comparación de la eficacia del insecticida Sulfoxaflor con Flupyradifurone, Spirotetramate e Imidacloprid para el control de *Myzus persicae* en chile dulce (*Capsicum annuum*)

Presentado por:

Carlos Saint-Preux

Aprobado:

Rogelio Trabanino, M.Sc.
Asesor Principal

John Jairo Hincapié, Ph.D.
Director
Departamento de Ciencia y
Producción Agropecuaria

Abelino Pitty Ph.D.
Asesor

Raúl H. Zelaya, Ph.D.
Decano Académico

Claudia H. Kuniyoshi Ph.D.
Asesora

Comparación de la eficacia del insecticida Sulfoxaflor con Flupyradifurone, Spirotetramate e Imidacloprid para el control de *Myzus persicae* en chile dulce (*Capsicum annuum*)

Carlos Saint-Preux

Resumen: La resistencia a los insecticidas y la poca variabilidad de los ingredientes activos para controlar los insectos y romper la resistencia es cada vez más preocupante. El insecticida Sulfoxaflor, de la compañía Dow AgroSciences, es miembro único de su clase química, las sulfoximinas. Posee alta eficacia, amplio espectro y no presenta resistencia cruzada con otros insecticidas incluyendo a los neocotinoides. Se hizo un ensayo para evaluar la eficacia y otro para evaluar el efecto de repelencia del insecticida Sulfoxaflor comparado con los insecticidas comerciales Flupyradifurone, Spirotetramate e Imidacloprid para el control del pulgón verde, *Myzus persicae*, en chile dulce. Se usó un diseño de bloques completamente al azar y las mismas dosis en los dos ensayos. En el primer ensayo, las plantas de chile fueron infestadas con *Myzus persicae* para ser aplicadas y evaluadas contando las ninfas y adultos muertos, afectados y vivos. No hubo diferencia estadística significativa (Duncan) entre Sulfoxaflor ni Flupyradifurone durante todo el ensayo alcanzando a las 168 horas después de aplicación un 100 y 93% de mortalidad respectivamente. En el segundo ensayo, Se aplicaron a plantas no infestadas de *Myzus persicae* y luego se colocó una planta altamente infestada en cada bloque para posteriormente contar las ninfas y adultos que migraron a cada tratamiento. Los insecticidas Sulfoxaflor, Flupyradifurone y Spirotetramate mostraron los mayores efectos de repelencia a los 15 días después de la aplicación al obtener menor número de ninfas y adultos por plantas mostrando diferencia altamente significativa el testigo absoluto (control). Sulfoxaflor presentó excelente eficacia y efecto de repelencia para el control de *Myzus persicae* y por su perfil de baja dosis de uso, eco-amigable, y poseer diferente mecanismo de acción a Flupyradifurone puede utilizarse como alternancia para el control de esta plaga.

Palabras claves: Áfidos, neonicotinoides, resistencia, sulfoximinas.

Abstract: The Insecticide resistance and the few options of active ingredients for controlling insects and break down resistance, is of increasing concern. The insecticide Sulfoxaflor from Dow AgroSciences, is a unique member of its chemical class, the sulfoximinas with high efficiency, broad spectrum and no cross-resistance with other insecticides including the neonicotinoides. One trial was carried out to evaluate the efficacy and another to evaluate the repellency effect of the insecticide Sulfoxaflor compared with the commercial insecticides Flupyradifurone, Spirotetramat and Imidacloprid for the control of green peach aphids, *Myzus persicae* in sweet pepper. A completely randomized block design was used for both trials. For the efficacy trial, the plants were infested with *Myzus persicae* in order to be sprayed and evaluated. The nymphs and adults affected, dead and alive were counted. There was no statistical difference between Sulfoxaflor and Flupyradifurone throughout the test reaching 100% and 93% mortality respectively at 168 hours after application. To evaluate repellency effect, the same insecticides and the same doses that were used in the above test were applied to non-infested plants with *Myzus persicae*. Highly infested plants were placed in the center of each block. Total nymphs and

adults were counted on each plant. Sulfoxaflor, Flupyradifurone and Spirotetramat had fewer nymphs and adults 15 days after application than Imidacloprid and the control. In summary, Sulfoxaflor and Flupyradifurone showed excellent knockdown activity and residual control for *Myzus persicae*. Sulfoxaflor, because of its low dose and eco-friendly profile, is a powerful tool for controlling *Myzus persicae* and can be used as rotation tool in Integrated Pest Management Program with Flupyradifurone because they have different mechanism of action.

Keywords: Aphids, neonicotinoids, pesticide resistance, sulfoximines.

CONTENIDO

Portadilla	i
Página de firmas	ii
Resumen	iii
Contenido	v
Índice de Cuadros, Figuras y Anexos.....	vi
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	3
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	6
4. CONCLUSIONES.....	12
5. RECOMENDACIONES.....	13
6. LITERATURA CITADA.....	14
7. ANEXOS.....	17

ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadros	Página
1. Insecticidas evaluados para el control de <i>Myzus persicae</i> en el cultivo de chile dulce.....	3
2. Porcentaje de ninfas y adultos de <i>Myzus persicae</i> afectados por efecto de los tratamientos evaluados a las diferentes horas después de aplicación.....	8
3. Porcentaje de sobrevivencia (\pm Error Estándar) de ninfas y adultos de <i>Myzus persicae</i> por efecto de los tratamientos evaluados a las diferentes horas después de aplicación.	9
Figuras	Página
1. Porcentaje de mortalidad de ninfas y adultos de <i>Myzus persicae</i> por efecto de los diferentes insecticidas evaluados a la 1, 7 24, 48, 72, 96, 120, 144, 168 horas después de aplicación. ϕ Datos con letras diferentes a la misma hora son significativamente diferente de acuerdo a la prueba de Duncan con un nivel de significancia de ($P \leq 0.05$). Coeficiente de variación: 24, R ² : 0.96 y $P \leq 0.0001$	7
2. Eficacia residual de repelencia de los insecticidas en la cantidad de ninfas y adultos de <i>Myzus persicae</i> . ϕ Datos con letras diferentes en el mismo día de evaluación son significativamente diferente de acuerdo a la prueba de Duncan con un nivel de significancia de $P \leq 0.05$. Coeficiente de variabilidad: 27, R ² : 0.94 y $P \leq 0.0001$. n.s.: No significativo	10
Anexos	Página
1. Jaula tipo pinza con adultos <i>Myzus persicae</i>	17
2. Plato redondo, recolector de áfidos derribados.	17
3. Disposición de los bloques sobre los bancos en el invernadero para evaluar el efecto de derribe de los insecticidas sobre <i>Myzus persicae</i> en el ensayo 1.	18

4. Colocación de los bloques sobre los bancos en el invernadero para evaluar el efecto de repelencia de los insecticidas sobre el <i>Myzus persicae</i> en el ensayo 2.	18
5. Porcentaje de mortalidad de ninfas y adultos de <i>Myzus persicae</i> por efecto de los tratamientos evaluados a la 1, 7, 24, 48, 72, 96, 120, 144, 168 horas después de aplicado.	19

1. INTRODUCCIÓN

Uno de los grandes problemas que confronta la agricultura son las plagas y enfermedades donde los insectos plaga constituyen una proporción bastante alta, crean la necesidad de encontrar formas eficientes y eficaces para controlarlos (Leonard 2014). Como consecuencia del ataque de éstos a las plantas, causando pérdidas económicas a cultivos económicamente muy importantes (Capinera 2005).

Los áfidos representan un problema muy grande para la agricultura ya que son plagas claves y potenciales de muchos cultivos (Beckingham *et al.* 2013). Existen alrededor de 4,700 especies de las cuales 450 especies se alimentan de la sabia de las plantas y 250 son considerados como plagas importantes (Feres y Moreno 2009, Blackman y Eastop 2007, Remaudière *et al.* 1997). Los áfidos son insectos polífagos que por su adaptabilidad y su capacidad de encontrar nuevos hospederos, son ampliamente distribuidos en todo el mundo y una plaga que causa daños mecánicos dejando heridas y una vía de entrada para otros patógenos (Deraison 2004). Los áfidos causan enrollamiento y deformación de diferentes órganos de las plantas y cuando su presencia es alta llegan causar secreción de mielecillas que provocan consecuentemente el apareamiento de fumagina que interfiere con la fotosíntesis de las plantas (Jaouannet *et al.* 2014). Además, los áfidos son importantes transmisores de virus transmitiendo alrededor del 55% de los virus transmitidos por insectos vectores (Dorn *et al.* 2005). Este orden (hemíptero) es responsable además de 400 especies de virus en unos 39 géneros (Feres y Moreno 2009). Este porcentaje se traduce en aproximadamente 275 especies en 19 géneros de virus transmitidos (Nault 1997).

Citando a la plaga en evaluación, el pulgón verde, *Myzus persicae* (Sulzer), tiene el cuerpo suave, alargado, delgado mayormente de color verde. Con su estilete penetran los tejidos hasta llegar al floema de la planta donde succionan sus alimentos principalmente las sustancias elaboradas, transportándose ya sea por viento o por acción humana. Se alimentan de más de 400 especies de plantas (Bass *et al.* 2014). La mayor parte de ellos son monófagos y los polífagos tienen la capacidad de alimentarse de muchas especies y adaptarse para sobrevivir algunas condiciones climáticas adversas (Begon *et al.* 2006). Los áfidos se reproducen de forma asexual por partenogénesis en condiciones favorables donde las hembras producen clones sin copular y de forma sexual cuando las condiciones son adversas (Fenton *et al.* 2010). Dependen de la acumulación de hora de luz y de la planta hospedera para el desarrollo de cada uno de sus estadios (huevo, ninfa y adulto) (Ro y Long 1999, Blackman 1975). Por su versatilidad, los áfidos son muy prolíficos ya que cada hembra puede producir 3 a 4 individuos por día en condiciones controladas (Duarte *et al.* 2011).

Uno de los desafíos más graves que confrontan los agricultores en el manejo de los insectos plaga, es la resistencia a los insecticidas que las plagas continúan adquiriendo (Toor *et al.* 2008). La resistencia es un proceso natural y evolutivo de los seres vivos adaptándose al ambiente que los rodea y en la búsqueda de la sobrevivencia de la especie (Thieme *et al.* 2010, Crow 1957). Sin embargo las malas prácticas agrícolas, el uso excesivo de insecticidas y la falta de rotación de los mismos hacen que el factor de resistencia aumente (Alyokhin *et al.* 2015).

Sulfoxaflor, descubierto en el laboratorio de Dow AgroSciences, es el primer miembro de una nueva clase química de insecticidas, las sulfoximinas, clasificado dentro del subgrupo 4C en la clasificación de modo de acción del Comité de Acción de Resistencia de Insecticidas (Insecticide Resistance Action Committee, IRAC). Las sulfoximinas son moduladores competitivos del receptor nicotínico de acetilcolina (nAChR) (Jeschke *et al.* 2013). No presenta resistencia cruzada con otros subgrupos como los neonicotinoides (4A, como Imidacloprid) y los butenolides (4D, como Flupyradifurone) (Babcock *et al.* 2011, Sparks *et al.* 2012). Sulfoxaflor es un insecticida con un amplio espectro de aplicación sobre los insectos plaga transmisores de virus como los áfidos, mosca blanca y otros. Se caracteriza por presentar una baja toxicidad a los enemigos naturales y polinizadores. Es un insecticida sistémico con efecto translaminar dándole más efectividad para controlar insectos que se encuentran en el envés de las hojas (Babcock *et al.* 2011). Su baja dosis de uso y perfil eco toxicológico en comparación a los demás insecticidas para controlar insectos chupadores es más que sobresaliente. Las sulfoximinas tienen diferente estructura química y diferente metabolismo químico con diferente punto de acción en la modulación del receptor nicotínico de acetilcolina por ello están en diferente subgrupo (Cutler *et al.* 2012). Spirotetramate del grupo 23, es un insecticida derivado de ácidos tetrónicos y tetrámicos que actúa como un inhibidor de la biosíntesis de lípidos resultando en la inhibición de la acetyl CoA carboxilasa (Bretschneider *et al.* 2007).

Este estudio contiene dos ensayos con el objetivo de evaluar el efecto de derribe (knockdown effect) y el efecto de repelencia del insecticida Sulfoxaflor comparado con los insecticidas con ingredientes activos como Flupyradifurone, Spirotetramate e Imidacloprid para el control del pulgón Verde (*M. persicae*) en chile dulce.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Localización. El estudio se realizó de Febrero a Abril del 2015 en la estación experimental de la compañía Dow AgroSciences ubicada en la ciudad Fresno, estado de California, Estados Unidos. El invernadero con coordenados 36°43'12.60'' N y 119°55'36.39'' O está localizado a una elevación de 77 msnm, con temperatura controlada de 20 a 27 °C y las plantas recibieron riego y fertilización a través de un sistema automatizado.

Tratamientos. Se evaluaron cuatro insecticidas para el control de adultos y ninfas de *M. persicae*. Los insecticidas evaluados y las dosis utilizados aparecen en el cuadro 1. Se realizaron dos ensayos, el primero para evaluar la eficacia en el control de adultos y ninfas de *M. persicae* y otro para evaluar el efecto repelencia que muestran estos insecticidas sobre la planta. Las mismas dosis fueron usadas en los dos ensayos de este estudio. El volumen de aplicación se basó en 200 L/ha y las soluciones se hicieron con base a gramos de ingrediente activo por hectárea. Al tratamiento control (testigo absoluto) se le aplicó agua para establecer igualdad de condiciones en los tratamientos.

Cuadro 1. Insecticidas evaluados para el control de *Myzus persicae* en el cultivo de chile dulce.

Tratamientos (Ingrediente Activo)	Dosis (g ia/ha)	Presentación	Fabricante
Sulfoxaflor	35.0	Closer™ 240 SC	Dow AgroSciences
Flupyradifurone	175.0	Sivanto® 200 SL	Bayer
Spirotetramat	87.7	Movento® 240 SC	Bayer
Imidacloprid	88.4	Admire® Pro 550 SC	Bayer
Control (Agua)			

Ensayo 1. Eficacia de los insecticidas sobre adultos y ninfas de *M. persicae*. Para el ensayo, se utilizaron cuatro plantas de chile dulce por tratamiento para un total de 20 plantas. Las plantas fueron infestadas con áfidos *M. persicae* 5 días antes de aplicar los tratamientos con la ayuda de jaulas tipo pinza (clip cages). Se infestaron cinco hembras por jaula por hoja, en total 4 hojas por planta (Anexo 1). Después de cuatro días de infestadas las plantas se procedió a remover las jaulas y contar 30 individuos (ninfas y adultos) por hoja. De cada planta se removieron todas las hojas no infestadas para eliminar variabilidad de la toma de datos.

Una vez establecida las poblaciones en cada planta se aplicaron de los tratamientos con un aspersor de precisión tipo T (presurizada con CO₂ a 35 psi) con tres boquillas de cono hueco, Teejet TX-VK6 (Conejet Visiflo[®] spray tips) espaciadas a 15 cm. Las cuatro plantas de cada tratamiento se aplicaron al mismo tiempo y posteriormente, las plantas de cada tratamiento se colocaron en un bloque de forma aleatoria para un total de cuatro bloques dentro del invernadero.

Para el conteo de los áfidos muertos y afectados, se colocó un plato de cartón redondo en la parte de la base de la planta que cubría la extensión de las hojas de cada planta, de esta forma los áfidos muertos caen sobre los mismos y se facilita el conteo y la recolecta de los áfidos muertos y afectados (con síntomas por el efecto insecticida) que murieron por efecto de los tratamientos (Anexo 2), estos platos fueron modificados haciendo un orificio en el centro y un corte radial, desde afuera hacia el orificio central.

VARIABLES MEDIDAS. Se tomaron datos a las 1, 7, 24, 48, 72, 96, 120, 144 y 168 horas después de la aplicación. Se contaron los insectos muertos, afectados y vivos caídos en cada plato. Los áfidos afectados son los que mostraban la sintomatología del efecto del insecticida, como descoordinación en sus movimientos, temblores de las patas o sobre agitación de las antenas (Watson *et al.* 2011).

DISEÑO EXPERIMENTAL. Se utilizó un diseño de Bloques Completamente al Azar (BCA) compuesto por cinco tratamientos repartidos aleatoriamente en cuatro bloques para un total de 20 unidades experimentales.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO. Los datos fueron analizados con el Modelo Lineal General (GLM), con el programa estadístico SAS[®] (Statistical Analysis System – versión 9.3). La separación de medias se analizó con la prueba de Duncan a una significancia de ($P \leq 0.05$) para las variables de porcentaje de mortalidad, afectados y vivos de *M. persicae*. Se transformaron los datos usando el método arco-senos: $b_{ij} = 2/\pi \times \arcsin(\sqrt{x_{ij}})$

Ensayo 2. Efecto de repelencia de los insecticidas sobre las poblaciones de ninfas y adultos de *M. persicae*. A través de este ensayo se evaluó el efecto repelencia de 4 insecticidas sobre las poblaciones de *M. Persicae* (Cuadro 1). Se utilizaron plantas de chile dulce en la etapa fenológica V3 y se utilizó la planta completa. Las plántulas de chile fueron

trasplantadas en la etapa fenológica V2 y aisladas en una jaula gigante en el invernadero para evitar contaminación de insectos. Los tratamientos fueron aplicados en cuanto las plantas alcanzaron las etapa fenológica V3. Después de aplicación, las plantas se colocaron en bloques en forma aleatoria ubicando una planta altamente infestada por bloque como fuente de infestación y crear presión de las poblaciones de *M. persicae*.

Variables medidas. Se contaron las ninfas y adultos vivos encontrados en toda la planta a los 2, 6, 9, 12 y 15 días después de aplicación.

Diseño experimental. Se utilizó un diseño de Bloques Completamente al Azar (BCA) compuesto por cinco tratamientos repartidos aleatoriamente en cuatro bloques para un total de 20 unidades experimentales.

Análisis estadístico. Los datos fueron analizados con el Modelo Lineal General (GLM), con el programa estadístico SAS[®] (Statistical Analysis System – versión 9.3). La separación de medias se analizó con la prueba de Duncan a una significancia de ($P \leq 0.05$) para las variables de porcentaje de mortalidad, afectados y vivos de *M. persicae*. Se transformaron los datos usando el método arco-senos: $b_{ij} = 2/\pi \times \arcsin(\sqrt{x_{ij}})$

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Ensayo 1. Eficacia de los insecticidas sobre adultos y ninfas de *M. persicae*.

Mortalidad de los áfidos por efecto de los tratamientos. La mortalidad de ninfas y adultos de *M. persicae* en todos los tratamientos fue incrementando a medida que los productos fueron asimilados por los insectos (Figura 1). Una hora después de aplicar los insecticidas, no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos en cuanto a la cantidad de áfidos muertos. Sulfoxaflor, Flupyradifurone, e Imidacloprid presentaron mayor porcentaje de mortalidad durante las evaluaciones a las 7 y 24 horas después de aplicación sin presentar diferencias significativas. A partir de las 48 horas después de aplicado, los tratamientos Sulfoxaflor y Flupyradifurone presentaron los mayores porcentajes de mortalidad con respecto a los demás tratamientos y fueron significativamente diferentes, alcanzando un 100 y 93% de mortalidad respectivamente a las 168 horas después de aplicación. El testigo absoluto, siempre presentó los menores porcentajes de mortalidad, sin superar el 10% del total de su población. Resultados similares se encontraron en un estudio realizado por (Welty 2013) en la Universidad de Ohio, donde resalta que el Sulfoxaflor genera controles mayores de mortalidad que otros insecticidas.

Sulfoxaflor, Imidacloprid y Flupyradifurone, actúan como moduladores competitivos de los receptores nicotínicos de la acetilcolina en los insectos, perteneciendo al grupo cuatro de la clasificación los insecticidas (Sparks y Nauen 2015). Sin embargo, Sulfoxaflor se diferencia de las demás moléculas por su interacción única y compleja con los receptores nicotínicos de acetilcolina (nAChR) en los insectos y la ausencia de resistencia cruzada entre Sulfoxaflor y los neonicotinoides. Sulfoxaflor activa los receptores $D\alpha 2/\beta 2$ expresado en los ovocitos genera una mayor amplitud en las corrientes nerviosas en el punto de acción que cualquier otro modulador de receptores nicotínicos existente, haciéndolo más efectivo controlando los insectos chupadores (Watson *et al.* 2011).

Spirotetramate, no presentó diferencia significativa con respecto al testigo absoluto hasta la lectura de 120 horas después de aplicado donde tuvo un 32% de mortalidad y fue significativamente diferente del control. Esta lenta acción para controlar *M. persicae* se puede deber a que el insecticida es más eficaz sobre las etapas juveniles y que para los adultos empieza a tener efectividad a las 96 a 168 horas después de aplicación lo cual concuerda con los resultados del estudio de (Nauen *et al.* 2008). Otras posibles causas de esta baja mortalidad, puede ser por resistencia de poblaciones de áfidos a este insecticida según reportes encontrados en otros estudios (Pan *et al.* 2015, Xi *et al.* 2015).

El insecticida Imidacloprid, mostró mortalidad creciente hasta las 96 horas después de aplicación y luego su efectividad declinó a partir de las 96 horas, observándose una reducción constante en la mortalidad de *M. persicae*. (Figura 1). Estudios similares han encontrado que otros insecticidas de la misma clase 4 A tal como la Acetamiprid tiende a disminuir su efecto de control con el pasar del tiempo (Pitti Serrano 2011).

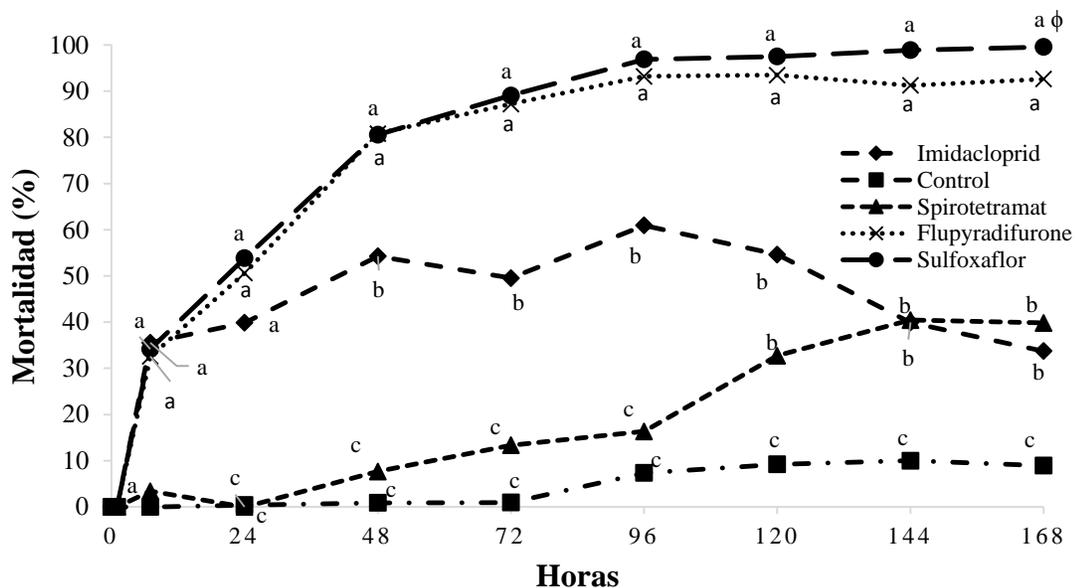


Figura 1. Porcentaje de mortalidad de ninfas y adultos de *Myzus persicae* por efecto de los diferentes insecticidas evaluados a la 1, 7 24, 48, 72, 96, 120, 144, 168 horas después de aplicación. ϕ Datos con letras diferentes a la misma hora son significativamente diferente de acuerdo a la prueba de Duncan con un nivel de significancia de ($P \leq 0.05$). Coeficiente de variación: 24, R2: 096 y $P \leq 0.0001$.

Áfidos afectados por efecto de los tratamientos. Los insecticidas Sulfoxaflor, Flupyradifurone e Imidacloprid tuvieron el mayor porcentaje de ninfas y adultos de *M. persicae* afectados con 32, 41 y 35% respectivamente a la hora después de aplicación y no fueron significativamente diferentes. Los síntomas de movimientos descoordinados son seguidos por parálisis y finalmente la muerte. Por esta razón, el número de áfidos afectados (con síntomas de intoxicación), rápidamente fue disminuyendo hasta alcanzar 0% lo que expresa la efectividad de los insecticidas de intoxicar los áfidos. El insecticida Spirotetramate no mostró ninfas y adultos afectados y su efecto fue igual al control (Cuadro 2).

Cuadro 2. Porcentaje de ninfas y adultos de *Myzus persicae* afectados por efecto de los tratamientos evaluados a las diferentes horas después de aplicación.

Tratamientos	Afectados								
	1	7	24	48	72	96	120	144	168
Sulfoxaflor	32±12 ^a	15±9a	12±4a	3±1 a	1a	0	0	0	0
Flupyradifurone	41±8 a	17±9 a	12±4 a	3±1 a	0b	0	0	0	0
Spirotetramat	0±0b	0±0 b	0±0b	1±0ab	0ab	2	1	0	0
Imidacloprid	35±8 a	6±3ab	5±2ab	0±0ab	0b	0	0	0	0
Control	0±0b	0±0b	0±0 b	0±0b	0b	0	0	0	0
R ²	0.86	0.77	0.85	0.61	0.46	0.41	0.49	0	0
C V	43	77	47	89	172	188	281	.	.
Probabilidad	0.0083	0.0043	0.0003	0.0664	0.3	0.4	0.2	.	.

^φ Datos con letras diferentes en la misma columna son significativamente diferente de acuerdo a la prueba de Duncan con un nivel de significancia de ($P \leq 0.05$).

^a ± Error Estándar. C V: Coeficiente de variación.

Áfidos vivos o sobrevivientes después de la aplicación. El porcentaje de ninfas y adultos sobrevivientes de *M. persicae* en todos los tratamientos fue decreciendo con el paso del tiempo. Sulfoxaflor, Flupyradifurone, e Imidacloprid presentaron menor porcentaje de sobrevivientes durante las evaluaciones a las 1, 7 y 24 horas después de aplicación y no presentaron diferencias estadísticas significativas (Cuadro 4). A partir de las 48 horas después de aplicación, los tratamientos Sulfoxaflor y Flupyradifurone presentaron los menores porcentajes de sobrevivencia con respecto a los demás tratamientos y fueron significativamente diferentes.

Cuadro 3. Porcentaje de sobrevivencia (\pm Error Estándar) de ninfas y adultos de *Myzus persicae* por efecto de los tratamientos evaluados a las diferentes horas después de aplicación.

Tratamientos	Sobrevivencia								
	1	7	24	48	72	96	120	144	168
Sulfoxaflor	68 \pm 11 ^a b	50 \pm 10 b	34 \pm 10 b	17 \pm 5 c	9 \pm 4 c	3 \pm 2 c	2 \pm 1 c	1 \pm 0c	0 \pm 0c
Flupyradifurone	59 \pm 8 b	50 \pm 7 b	37 \pm 7 b	17 \pm 6 c	13 \pm 4 c	7 \pm 1 c	7 \pm 4 c	9 \pm 4c	7 \pm 5c
Spirotetramat	100 \pm 0 a	100 \pm 0 a	100 \pm 0 a	99 \pm 1 a	99 \pm 1 a	82 \pm 12 a	67 \pm 20 ab	60 \pm 21b	60 \pm 21b
Imidacloprid	64 \pm 8 b	58 \pm 11 b	55 \pm 12 b	45 \pm 14 b	50 \pm 14b	38 \pm 16b	45 \pm 14 b	60 \pm 10b	66 \pm 9b
Control	100 \pm 0 a	100 \pm 0 a	100 \pm 0 a	99 \pm 1 a	99 \pm 1 a	93 \pm 2 a	91 \pm 3 a	90 \pm 4 a	90 \pm 3a
R ²	0.86	0.89	0.91	0.94	0.94	0.90	0.84	0.86	0.88
C.V.	14	15	17	19	19	32	41	37	35
Probabilidad	0.0003	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0012	0.0003	0.0001

^φ Datos con letras diferentes en la misma columna son significativamente diferente de acuerdo a la prueba de Duncan con un nivel de significancia de ($P \leq 0.05$).

^a \pm Error Estándar

C.V.: Coeficiente de variación

Ensayo 2. Efecto de repelencia de los insecticidas sobre las poblaciones de ninfas y adultos de *M. persicae*. A los dos días después de aplicación, no hubo diferencia significativa entre los tratamientos en la cantidad de ninfas y adultos de *M. persicae* encontrados en cada tratamiento (Figura 2).

A partir del día seis la cantidad de áfidos (ninfas y adultos) encontrados en el testigo fue significativamente mayor que Sulfoxaflor, Flupyradifurone y Spirotetramate. Pero con Imidacloprid fue ligeramente mayor pero no significativo (Figura 2). Entre el día seis y 12 después de aplicado, no hubo diferencia significativa en la cantidad de ninfas y adultos de *M. persicae* encontrados en los cuatro tratamientos con insecticidas, pero los tratamientos de Sulfoxaflor y Flupyradifurone mostraron tendencias de presentar menor cantidad de áfidos en las plantas. La cantidad de *M. persicae* encontradas en el tratamiento con Imidacloprid fue igual al testigo absoluto a lo largo de todas las evaluaciones, mostrando claramente que este insecticida no tiene ningún efecto de repelencia sobre las ninfas y adultos de *M. persicae*. (Figura 2).

A los 15 días después de aplicación no hubo diferencia significativa entre los insecticidas Sulfoxaflor, Flupyradifurone y Spirotetramat que presentaron menor número de ninfas y adultos de *M. persicae* por planta. Los mayores efectos residuales de repelencia de estos insecticidas fueron observados este día.

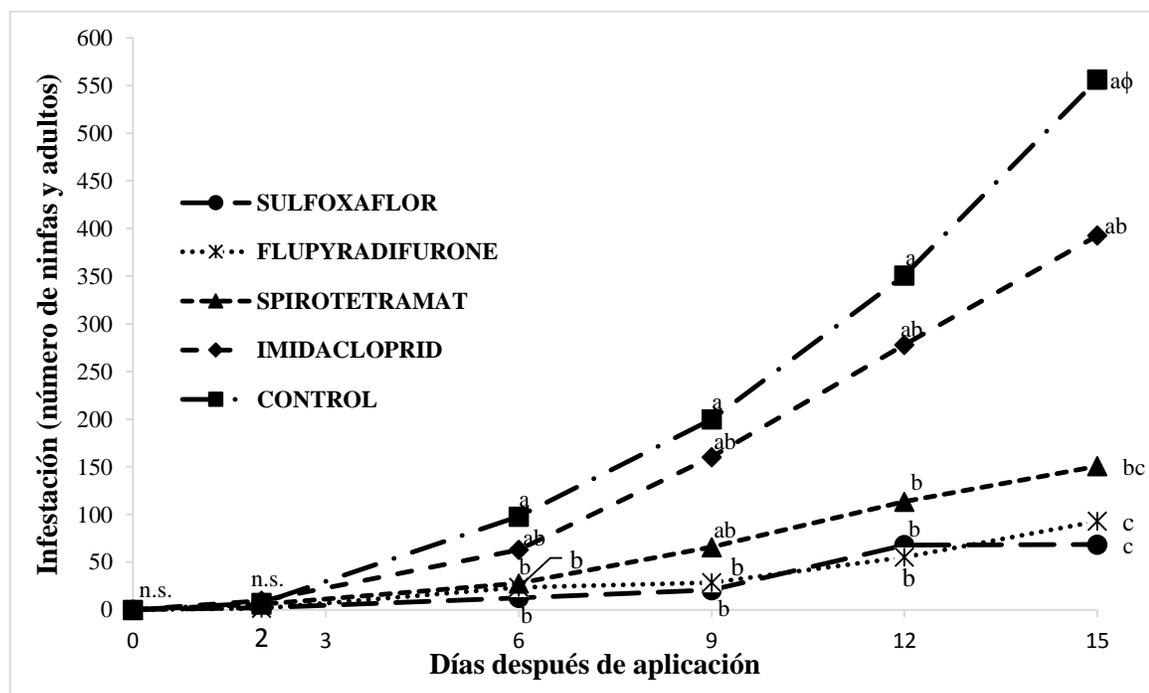


Figura 2. Eficacia residual de repelencia de los insecticidas en la cantidad de ninfas y adultos de *Myzus persicae*. ^φDatos con letras diferentes en el mismo día de evaluación son significativamente diferente de acuerdo a la prueba de Duncan con un nivel de significancia de $P \leq 0.05$. Coeficiente de variabilidad: 27, R^2 : 0.94 y $P \leq 0.0001$. n.s.: No significativo

Se puede atribuir el bajo número de ninfas y adultos de *Myzus persicae* en los tratamientos con el insecticida Sulfoxaflor a su alta eficacia aficida del ingrediente activo como tal y atributos que le confieren a la formulación SC la cual posee aparte de su alta selectividad a los cultivos una mayor resistencia a la degradación por luz UV en comparación al insecticida Imidacloprid lo que hace que el insecticida se mantenga más estable y eficaz por un mayor tiempo, propiciando mayor control residual. Este resultado concuerda con los resultados de otros investigadores comparando la estabilidad a las luz UV de los insecticidas Sulfoxaflor e Imidacloprid, los cuales demostraron que Sulfoxaflor es más estable que Imidacloprid (Zhu *et al.* 2011).

Se puede atribuir la semejanza de Spirotetramate a los insecticidas Sulfoxaflor y Flupyradifurone en los primeros días de evaluación a que el insecticida Spirotetramate controla a los insectos en estadio adulto afectando su fecundidad (Brück *et al.* 2009). Puede haber sido que los adultos que migraron a los tratamientos con Spirotetramate sufrieron una reducción de fecundidad y por ende un menor desarrollo de la población en cuanto a número de individuos.

4. CONCLUSIONES

- Basado en los resultados de la presente investigación, el insecticida Sulfoxaflor presentó un excelente efecto de derribe (knockdown activity) y excelente eficacia residual sobre los adultos y ninfas de *M. persicae* al culminar en un 100% de mortalidad y una muy baja infestación por parte de los áfidos que migraron hacia las plantas.
- En el primer ensayo, se demostró el excelente efecto de derribe de Sulfoxaflor, el cual alcanzó un 80% de mortalidad a las 48 horas después de la aplicación y 100% de mortalidad a las 168 horas después de aplicación. Flupyradifurone también presentó un efecto similar al de Sulfoxaflor en la mortalidad de áfidos. Además, tanto Sulfoxaflor como Flupyradifurone mostraron un alto número de áfidos afectados (con síntomas de intoxicación del insecticida) a la hora y siete horas después de aplicación los tratamientos.
- Con respecto al efecto de repelencia y protección, los mejores tratamientos fueron Sulfoxaflor y Flupyradifurone debido a que presentaron menor cantidad de áfidos en comparación con el testigo absoluto (control) y el insecticida Imidacloprid.
- En el segundo ensayo, el efecto de repelencia del insecticida Sulfoxaflor se resaltó al mantener niveles muy bajo de infestación (menos insectos migraron a estas plantas) durante todo el ensayo confirmando de esta forma protección a las plantas tratadas con Sulfoxaflor al ataque de *M. persicae* es decir pocos insectos migraron
- En resumen, estos resultados demuestran el potencial de Sulfoxaflor para el control de áfidos en vegetales y debido a su único modo de acción, ausencia de resistencia cruzada y bajo impacto a los enemigos naturales es una herramienta excelente para usarse en los programas de manejo integrado de plagas.

5. RECOMENDACIONES

- Como una segunda fase de esta investigación se sugiere, la realización de una fase posterior considerando un tiempo más prolongado del experimento y conocer con ello más del efecto residual.
- El uso de Sulfoxaflor por sus características, de bajas dosis de uso, etiqueta verde, efecto de mínimo impacto al ambiente, enemigos naturales y polinizadores etc., se recomienda sea la base de un programa de manejo de plagas como la evaluada *Myzus persicae* y rotarse con otros insecticida de diferente mecanismo de acción como Flupyradifurone.

6. LITERATURA CITADA

Alyokhin, A., D. Mota-Sanchez, M. Baker, W. E. Snyder, S. Menasha, M. Whalon, G. Dively y W. F. Moarsi. 2015. The Red Queen in a Potato Field: Integrated Pest Management Versus Chemical Dependency in Colorado Potato Beetle Control. *Pest Management Science* 71(3):343-356.

Babcock, J. M., C. B. Gerwick, J. X. Huang, M. R. Loso, G. Nakamura, S. P. Nolting, R. B. Rogers, T. C. Sparks, J. Thomas, G. B. Watson y Y. Zhu. 2011. Biological Characterization of Sulfoxaflor, a Novel Insecticide. *Pest Management Science* 67(3):328-334.

Bass, C., A. M. Puinean, C. T. Zimmer, I. Denholm, L. M. Field, S. P. Foster, O. Gutbrod, R. Nauen, R. Slater y M. S. Williamson. 2014. The Evolution of Insecticide Resistance in the Peach Potato Aphid, *Myzus Persicae*. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, 51(0):41-51.

Beckingham, C., J. Phillips, M. Gill y A. J. Crossthwaite. 2013. Investigating Nicotinic Acetylcholine Receptor Expression in Neonicotinoid Resistant *Myzus Persicae* Frc. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 107(3):293-298.

Begon, M., C. R. Townsend y J. L. Harper. 2006. *Ecology: From Individuals to Ecosystems* (4 ed.). Inglaterra: Blackwell Publishing

Blackman, R. L. 1975. Photoperiodic Determination of the Male and Female Sexual Morphs of *Myzus Persicae*. *Journal of Insect Physiology*, 21(2):435-453.

Blackman, R. L. y V. F. Eastop. 2007. Taxonomic Issues. In H. F. v. Emden, Harrington, R. (Ed.), *Aphids as Crop Pests*. London, UK: Department of Entomology, Natural History Museum

Bretschneider, T., R. Fischer y R. Nauen. 2007. Inhibitors of Lipid Synthesis (Acetyl-Coa-Carboxylase Inhibitors). Krämer, W., Schirmer, U., Wiley-VCH, Weinheim,. *Modern Crop Protection Compounds*, 1:909-925.

Brück, E., A. Elbert, R. Fischer, S. Krueger, J. Kühnhold, A. M. Klueken, R. Nauen, J.-F. Niebes, U. Reckmann, H.-J. Schnorbach, R. Steffens y X. van Waetermeulen. 2009. Movento[®], an Innovative Ambimobile Insecticide for Sucking Insect Pest Control in Agriculture: Biological Profile and Field Performance. *Crop Protection*, 28(10):838-844.

Capinera, J. L. 2005. Green Peach Aphid, *Myzus Persicae* (Sulzer) (Insecta: Hemiptera: Aphididae).

Crow, J. F. 1957. Genetics of Insect Resistance to Chemicals. Annual Review of Entomology, 2(1):227-246.

Cutler, P., R. Slater, A. J. F. Edmunds, P. Maienfisch, R. G. Hall, F. G. P. Earley, T. Pitterna, S. Pal, V.-L. Paul, J. Goodchild, M. Blacker, L. Hagmann y A. J. Crossthwaite. 2012. Investigating the Mode of Action of Sulfoxaflor: A Fourth-Generation Neonicotinoid. p 607-619.

Deraison, C. 2004. Isolement, Caractérisation Et Cibles De Nouveaux Inhibiteurs De Protéases Pour La Création De Plantes Transgéniques Résistantes Aux Pucerons., Universidad Paris Sud, París, Francia. 242 p.

Dorn, A., R. C. Saxena y H. Schmutterer. 2005. Effects on Viruses and Organisms: Sections 3.9.2.11 - 3.9.2.12 The Neem Tree: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA p 255-286.

Duarte, L., M. Ceballos, H. L. Baños, A. Sánchez, I. Miranda y M. d. I. A. Martínez. 2011. Biología Y Tabla De Vida De *Myzus Persicae* (Sulzer) (Hemiptera: Aphididae) En Condiciones De Laboratorio. Revista de Protección Vegetal, 26:1-4.

Fenton, B., J. T. Margaritopoulos, G. L. Malloch y S. P. Foster. 2010. Micro-Evolutionary Change in Relation to Insecticide Resistance in the Peach–Potato Aphid, *Myzus Persicae*. Ecological Entomology, 35:131-146.

Fereres, A. y A. Moreno. 2009. Behavioural Aspects Influencing Plant Virus Transmission by Homopteran Insects. Virus Research, 141(2):158-168.

Jaouannet, M., P. Rodriguez, P. Thorpe, C. Lenoir, R. MacLeod, C. Escudero-Martinez y J. Bos. 2014. Plant Immunity in Plant-Aphid Interactions. Frontiers in Plant Science, 5 p.

Jeschke, P., R. Nauen y M. E. Beck. 2013. Nicotinic Acetylcholine Receptor Agonists: A Milestone for Modern Crop Protection. Angewandte Chemie International Edition, 52(36):9464-9485.

Leonard, E. 2014. Middle Ground: Uniting City, Farm, and Nature with Diverse Agroecosystems. American Journal of Economics and Sociology, 73(5):1007-1134.

Nauen, R., U. Reckmann, J. Thomzik y W. Thielert. 2008. Biological Profile of Spirotetramat (Movento®) – a New Two-Way Systemic (Ambimobile) Insecticide against Sucking Pest Species. Bayer Crop Science Journal 61:245-278.

Nault, L. R. 1997. Arthropod Transmission of Plant Viruses: A New Synthesis 90:521-541.

Pan, Y., C. Yang, X. Gao, T. Peng, R. Bi, J. Xi, X. Xin, E. Zhu, Y. Wu y Q. Shang. 2015. Spirotetramat Resistance Adaption Analysis of Aphis Gossypii Glover by Transcriptomic Survey. Pesticide Biochemistry and Physiology, 124:73-80.

Pitti Serrano, Q. 2011. Control De Adultos De Mosca Blanca Bemisia Tabaci Con Los Insecticidas Xde-204, Xde-203, Imidacloprid Y Acetamiprid. Tesis Ing. Agr. El Zamorano, Honduras Escuela Agrícola Panamericana. 10 p.

Remaudière, G., M. Remaudière y V. F. Eastop. 1997. Catalogue Des Aphididae Du Monde Homoptera, Aphidoidea = Catalogue of the World's Aphididae : Homoptera, Aphidoidea. Paris: Institut national de la recherche agronomique

Ro, T. H. y G. E. Long. 1999. Gpa-Phenodynamics, a Simulation Model for the Population Dynamics and Phenology of Green Peach Aphid in Potato: Formulation, Validation, and Analysis. *Ecological Modelling*, 119(2-3):197-209.

Sparks, T. C., G. J. DeBoer, N. X. Wang, J. M. Hasler, M. R. Loso y G. B. Watson. 2012. Differential Metabolism of Sulfoximine and Neonicotinoid Insecticides by *Drosophila Melanogaster* Monooxygenase Cyp6g1. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 103(3):159-165.

Sparks, T. C. y R. Nauen. 2015. Irac: Mode of Action Classification and Insecticide Resistance Management. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 121:122-128.

Thieme, T., U. Heimbach y A. Müller. 2010. Chemical Control of Insect Pests and Insecticide Resistance in Oilseed Rape. In I. H. Williams (Ed.), *Biocontrol-Based Integrated Management of Oilseed Rape Pests*: Springer Netherlands p 313-335.

Toor, R. F., S. P. Foster, J. A. Anstead, S. Mitchinson, B. Fenton y L. Kasprowicz. 2008. Insecticide Resistance and Genetic Composition of *Myzus Persicae* (Homoptera: Aphididae) on Field Potatoes in New Zealand. *Crop Protection*, 27(2):236-247.

Watson, G. B., M. R. Loso, J. M. Babcock, J. M. Hasler, T. J. Letherer, C. D. Young, Y. Zhu, J. E. Casida y T. C. Sparks. 2011. Novel Nicotinic Action of the Sulfoximine Insecticide Sulfoxaflor. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, 41(7):432-439.

Welty, C. 2013. Apple Insect Management by Insecticides in Ohio. The Ohio State University p 1-5.

Xi, J., Y. Pan, Z. Wei, C. Yang, X. Gao, T. Peng, R. Bi, Y. Liu, X. Xin y Q. Shang. 2015. Proteomics-Based Identification and Analysis Proteins Associated with Spirotetramat Tolerance in *Aphis Gossypii* Glover. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 119:74-80.

Zhu, Y., M. R. Loso, G. B. Watson, T. C. Sparks, R. B. Rogers, J. X. Huang, B. C. Gerwick, J. M. Babcock, D. Kelley, V. B. Hegde, B. M. Nugent, J. M. Renga, I. Denholm, K. Gorman, G. J. DeBoer, J. Hasler, T. Meade y J. D. Thomas. 2011. Discovery and Characterization of Sulfoxaflor, a Novel Insecticide Targeting Sap-Feeding Pests. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(7):2950-2957.

7. ANEXOS

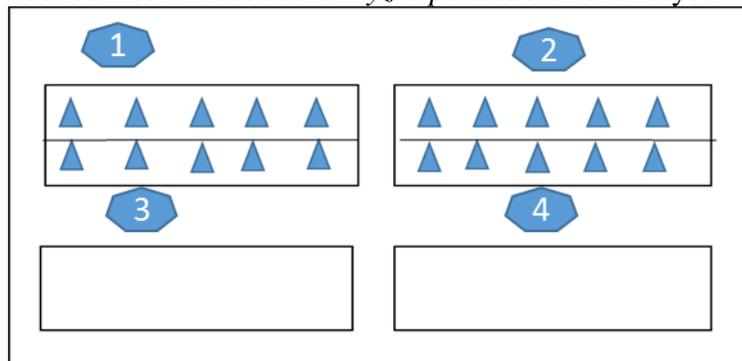
Anexo 1. Jaula tipo pinza con adultos *Myzus persicae*.



Anexo 2. Plato redondo, recolector de áfidos derribados.

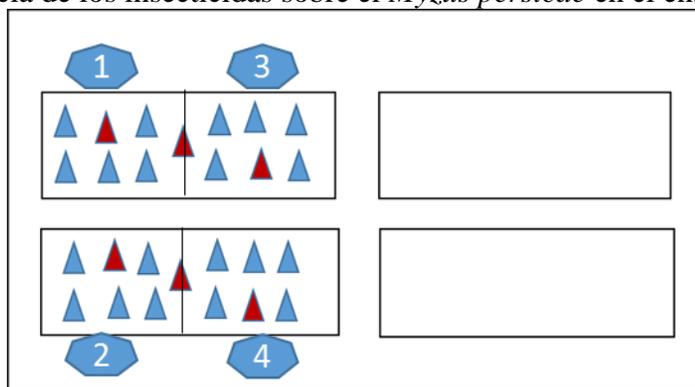


Anexo 3. Disposición de los bloques sobre los bancos en el invernadero para evaluar el efecto de derribe de los insecticidas sobre *Myzus persicae* en el ensayo 1.



x Número de cada bloque

Anexo 4. Colocación de los bloques sobre los bancos en el invernadero para evaluar el efecto de repelencia de los insecticidas sobre el *Myzus persicae* en el ensayo 2.



▲ Plantas limpias ▲ Plantas infestadas

x Número de cada bloque

Anexo 5. Porcentaje de mortalidad de ninfas y adultos de *Myzus persicae* por efecto de los tratamientos evaluados a la 1, 7, 24, 48, 72, 96, 120, 144, 168 horas después de aplicado.

Tratamientos	Mortalidad en hora								
	1	7	24	48	72	96	120	144	168
Sulfoxaflor	0	34 ± 12 ^a	54±10 a	81±5 a	89±5 a	97±1 a	98±2 a	99±0 a	100±0 a
Flupyradifurone	0	33 ± 5 a	51±3 a	81±6 a	87±4 a	93±1 a	93±4 a	91±4 a	93±5 a
Spirotetramate	0	0 ± 0 b	0±0 b	1±0 c	1±1 c	16±10 c	33±19 b	40±21 b	40±21 b
Imidacloprid	0	36 ± 12 a	40±11 a	54±14 b	50±14 b	61±17 b	55±14 b	40±10 b	34±9 b
Control (testigo absoluto)	0	0 ± 0 b	0±0 b	1±0 c	1±0 c	7±2 c	9±2 c	10±3 c	10±2 c
R ²	0	0.84	0.91	0.93	0.94	0.89	0.83	0.86	0.88
CV		47	34	29	26	31	37	34	32
Probabilidad		0.0006	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0012	0.0003	0.0001

^φ Datos con letras diferentes en la misma columna son significativamente diferente de acuerdo a la prueba de medias Duncan con un nivel de significancia de ($P \leq 0.05$).

CV : Coeficiente de Variación

^a ± Error Estándar