



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

**DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA
INSTITUTO DE HORTICULTURA**

**DEGRADACIÓN DE INSECTICIDAS EN FRUTOS DE CHILE MANZANO
PARA EXPORTACIÓN (*Capsicum pubescens* R. y P.) BAJO
INVERNADERO**

TESIS

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA
OBTENER EL GRADO DE:**

MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

PRESENTA:

JUAN ANTONIO HERNÁNDEZ VELAZQUEZ



**ASOCIACIÓN GENERAL ACADÉMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES**

Bajo supervisión de: Dr. Mario Pérez Grajales

Chapingo, Texcoco, Estado de México, junio de 2019



**DEGRADACIÓN DE INSECTICIDAS EN FRUTOS DE CHILE
MANZANO PARA EXPORTACIÓN (*Capsicum pubescens* R. y P.)
BAJO INVERNADERO**

Tesis realizada por **JUAN ANTONIO HERNÁNDEZ VELÁZQUEZ**, bajo la supervisión del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el título de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

DIRECTOR:



Dr. MARIO PÉREZ GRAJALES

ASESOR:



Dra. Ma. ANTONIA PÉREZ OLVERA

ASESOR:



Dr. ROGELIO CASTRO BRINDIS

CONTENIDO

| | |
|--|-----------|
| LISTA DE CUADROS | iv |
| LISTA DE FIGURAS | v |
| 1. INTRODUCCIÓN GENERAL | 1 |
| 1.1 INTRODUCCIÓN | 1 |
| 2. REVISIÓN DE LITERATURA | 4 |
| 2.1 El chile manzano | 4 |
| 2.1.1 Origen | 4 |
| 2.1.2 Lugar de cultivo | 5 |
| 2.1.3 Condiciones ambientales | 5 |
| 2.1.4 Radiación total y radiación UV..... | 6 |
| 2.1.5 Calidad de Fruto..... | 6 |
| 2.1.6 Color del fruto..... | 6 |
| 2.1.7 Plagas..... | 6 |
| 2.1.7.1 Trips (<i>Frankliniella occidentalis</i>) | 7 |
| 2.1.7.2 Pulgón verde (<i>Myzus persicae</i>) | 7 |
| 2.1.7.3 Araña roja (<i>Tetranychus urticae</i>) | 8 |
| 2.1.7.4 Mosquita blanca (<i>Trialeurodes vaporariorum</i>) | 8 |
| 2.2 Plaguicidas..... | 9 |
| 2.2.1 Toxicidad y clasificación..... | 9 |
| 2.2.2 Estudio de plaguicidas..... | 11 |
| 2.2.2.1 Spinetoram | 11 |
| 2.2.2.2 Sulfoxaflor | 12 |
| 2.2.2.3 Abamectina | 14 |
| 2.2.2.4 Flonicamid | 15 |
| 2.3 Límites Máximos de Residuos..... | 17 |
| 2.4 Degradación..... | 18 |
| 2.4 Problemática en el uso de insecticidas | 19 |
| 2.5 Residuos de insecticidas | 21 |
| 2.5 Efectos adversos de los insecticidas..... | 22 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 2.6 | Análisis de residuos de plaguicidas..... | 23 |
| 2.7 | Organismos reguladores | 23 |
| 2.8 | Cromatografía | 24 |
| 2.8.1 | Concepto básico | 24 |
| 2.8.2 | Cromatografía de líquidos de alta resolución | 25 |
| 2.8.3 | Espectrómetro de masas doble..... | 25 |
| 2.9 | Métodos de extracción de muestras | 25 |
| 1.2 | LITERATURA CITADA..... | 26 |
| 3.1 | RESUMEN GENERAL | 33 |
| 3.2 | GENERAL SUMMARY..... | 34 |
| 3.3 | INTRODUCCIÓN..... | 35 |
| 3.4 | MATERIALES Y MÉTODOS..... | 37 |
| 3.4.1 | Tratamientos y diseño experimental | 37 |
| 3.4.2 | Conducción de experimentos..... | 38 |
| 3.5 | RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 41 |
| 3.5.1 | Comportamiento de variables ambientales | 41 |
| 3.5.1.1 | Temperatura y Humedad relativa..... | 41 |
| 3.5.1.2 | Radiación total y radiación UV | 43 |
| 3.5.1.3 | Spinetoram..... | 44 |
| 3.5.1.4 | Sulfoxaflor | 46 |
| 3.5.1.5 | Abamectina | 48 |
| 3.5.1.6 | Flonicamid..... | 50 |
| 3.6 | CONCLUSIONES | 53 |
| 3.7 | LITERATURA CITADA..... | 54 |
| 4. | ANEXOS | 56 |
| 4.1 | Anexo 1. Límites Máximos de Residuos de Estados Unidos para fruto de Chile..... | 56 |
| 4.2 | Anexo 2. Resultados de las concentraciones de insecticidas, de frutos de Chile manzano enviadas al laboratorio..... | 64 |

LISTA DE CUADROS

| | |
|--|----|
| Cuadro 1. Clasificación toxicológica de los productos fitosanitarios según riesgos en base a la DL50 aguda (mg kg^{-1}), medida en ratas, de productos formulados. | 17 |
| Cuadro 2. Especificaciones de productos aplicados en el cultivo de chile manzano en el estudio de degradación de residuos de insecticidas..... | 38 |
| Cuadro 3. Comparación de medias t-student del insecticida spinetoram aplicado en el cultivo de chile manzano, en dos invernaderos en el estudio de degradación de plaguicidas en frutos para exportación..... | 46 |
| Cuadro 4. Comparación de medias t-student del insecticida sulfoxaflor aplicado en el cultivo de chile manzano, en dos invernaderos en el estudio de degradación de plaguicidas en frutos para exportación..... | 48 |
| Cuadro 5. Comparación de medias t-student del insecticida-acaricida abamectina aplicado en el cultivo de chile manzano, en dos invernaderos en el estudio de degradación de plaguicidas en frutos para exportación..... | 50 |
| Cuadro 6. Comparación de medias t-student del insecticida flonicamid aplicado en el cultivo de chile manzano, en dos invernaderos en el estudio de degradación de plaguicidas en frutos para exportación..... | 52 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Estructura química de spinetoram | 11 |
| Figura 2. Estructura química de sulfoxaflor..... | 12 |
| Figura 3. Estructura química de abamectina..... | 14 |
| Figura 4. Estructura química de Flonicamid..... | 15 |
| Figura 5. Comparación de los promedios de temperatura y humedad relativa cada hora, de 8:00 hr a 18:00 hr durante los siete días de la colecta de frutos en el estudio de degradación de insecticidas en frutos de chile manzano para exportación (<i>Capsicum pubescens</i>) en dos invernaderos (Chapingo y Chiconcuac)..... | 42 |
| Figura 6. Comparación de los promedios de temperatura y humedad relativa durante ocho días en el estudio de degradación de insecticidas en frutos de chile manzano para exportación (<i>Capsicum pubescens</i>) en dos invernaderos (Chapingo y Chiconcuac)..... | 43 |
| Figura 7. Comparación de los promedios de radiación total y radiación UV durante ocho días en el estudio de degradación de insecticidas en frutos de chile manzano para exportación (<i>Capsicum pubescens</i>) en dos invernaderos (Chapingo y Chiconcuac)..... | 44 |
| Figura 8. Límites Máximos de Residuos (LMR) de la Agencia de Protección Ambiental (EPA) y la Comisión de Unión Europea (EU), y curva de degradación de spinetoram a los 0, 3, 5 y 7 días después de la aplicación del producto, en el estudio de degradación de insecticidas en frutos de chile manzano para exportación (<i>Capsicum pubescens</i>) en dos invernaderos (Chapingo y Chiconcuac)..... | 45 |
| Figura 9. Límites Máximos de Residuos (LMR) de la Agencia de Protección Ambiental (EPA) y la Comisión de Unión Europea (EU), y curva de degradación de sulfoxaflor a los 0, 3, 5 y 7 días después de la aplicación del producto, en el estudio de degradación de insecticidas en frutos de chile manzano para exportación (<i>Capsicum pubescens</i>) en dos invernaderos (Chapingo y Chiconcuac)..... | 47 |
| Figura 10. Límites Máximos de Residuos (LMR) de la Agencia de Protección Ambiental (EPA) y la Comisión de Unión Europea (EU), y curva de degradación de abamectina a los 0, 3, 5 y 7 días después de la aplicación del producto, en el estudio de degradación de insecticidas en frutos de chile manzano para exportación (<i>Capsicum pubescens</i>) en dos invernaderos (Chapingo y Chiconcuac)..... | 49 |

Figura 11. Límites Máximos de Residuos (LMR) de la Agencia de Protección Ambiental (EPA) y la Comisión de Unión Europea (EU), y curva de degradación de flonicamid a los 0, 3, 5 y 7 días después de la aplicación del producto, en el estudio de degradación de insecticidas en frutos de chile manzano para exportación (*Capsicum pubescens*) en dos invernaderos (Chapingo y Chiconcuac)..... 51

DEDICATORIA

A Dios por permitirme llegar hasta aquí.

A mis padres Juan Pablo Hernández y Ma. Antonia Velázquez que siempre me apoyaron en todos los aspectos

A la Ing. Verónica I. Rivera Sánchez por el enorme apoyo incondicional brindado durante este tiempo.

A mis hijos Sarahí, Fernando y Jonathan porque con una simple sonrisa y un abrazo siempre me han motivado a seguir adelante.

A Regina, Jessica y demás personas que conocí durante este tiempo y compartieron momentos inolvidables.

...todo lo que hagas, hazlo con amor, es lo más importante... te mueve, te motiva, te hace fuerte, te hace feliz... te hace ser quien eres.

S.B.N



AGRADECIMIENTO

Al consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca que me otorgó para realizar mis estudios de Maestría.

A la Universidad Autónoma Chapingo, departamento de Fitotecnia y al instituto de Horticultura por la oportunidad de realizar mis estudios.

Al Dr. Mario Pérez Grajales por su valiosa dirección, apoyo y aporte de años de experiencia en la realización de este trabajo.

A la Dra. Ma. Antonia Pérez Olvera por su valioso apoyo, revisión y amplio conocimiento en la elaboración del presente trabajo.

Al Dr. Rogelio Castro Brindis por su apoyo y revisión en la elaboración de este trabajo

Al Dr. Juan Martínez Solís por su apoyo, y la oportunidad de poder estudiar esta maestría durante su gestión.

Y a mis hijos Sarahí, Fernando y Jonathan por todo el tiempo que estuve ausente por que esto fue para mejorar en muchos aspectos.

A la Ing. Verónica Rivera Sánchez por su apoyo incondicional durante el recorrido este estudio.

A Mariana, Omar, Omegar, Sonia, Rebeca, Nestor y a todos mis compañeros por compartir excelentes momentos.

DATOS BIOGRÁFICOS

Datos personales

Nombre: Juan Antonio Hernández Velázquez

Fecha de nacimiento: 3 de marzo de 1982

Lugar de nacimiento: San Miguel Coatlinchan, Estado de México

CURP: HEVJ820303HMCRLN06

Cédula profesional: 11049839

Desarrollo académico

Bachillerato: Escuela Preparatoria Texcoco

Licenciatura: Ingeniero Agrónomo Especialista en Parasitología Agrícola,
Universidad Autónoma Chapingo.

RESUMEN GENERAL

Degradación de insecticidas en frutos de chile manzano para exportación (*Capsicum pubescens* R. y P.) bajo invernadero ¹

El objetivo de este trabajo fue analizar la degradación de insecticidas en frutos de chile manzano para exportación (*Capsicum pubescens* R. y P.) bajo invernadero. Se compararon con los límites máximos de residuos (LMR) establecidos por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) y Unión Europea (UE). Los intervalos de confianza y el tiempo de degradación de las moléculas se contrastaron con las fichas técnicas de los productos. La aplicación de los insecticidas se llevó a cabo en plena cosecha y fueron analizados en un equipo de líquidos acoplado a espectrómetro de masas triple cuadrupolo con la técnica BSEN15662:2008 (British Standards Institution, 2008). Los resultados indicaron que las concentraciones en partes por millón de los insecticidas spinetoram: 0.0327, 0.0281, 0.0077, 0.007; sulfoxaflor: 0.2607, 0.177, 0.1206, 0.08; abamectina: 0.0262, 0.0115, 0, 0; y flonicamid: 0.2932, 0.1774, 0.0865, 0, a los 0, 3, 5 y 7 días después de la aplicación, respectivamente, para el invernadero de Chapingo vs el invernadero de Chiconcuac con 0.0551, 0.0216, 0.016, 0.0057 para spinetoram; 0.2068, 0.1443, 0.1099 para sulfoxaflor; 0.0149, 0.0048, 0, 0 para abamectina y 0.3973, 0.2666, 0.1219, 0 para flonicamid, no rebasaron los intervalos de confianza (IC) establecidos en la ficha técnica, los Límites Máximos de Residuos (LMR) de EPA y la velocidad de degradación (VD) de las moléculas fue más rápida que lo establecido en la ficha técnica respectiva; excepto para abamectina que fue acorde a lo indicado en la etiqueta. Se recomienda el uso de las cuatro moléculas insecticidas para el control de plagas en el cultivo de chile manzano para exportación, no obstante que, en el Invernadero de Chiconcuac se presentaron temperaturas promedio y radiación UV promedio mayores que en el invernadero de Chapingo. Las concentraciones de residuos de las cuatro moléculas insecticidas no fueron estadísticamente diferentes con una $P \leq 0.05$.

Palabras clave: Degradación de insecticidas, *Capsicum pubescens*, intervalos de confianza.

¹Tesis de Maestría en Ciencias en Horticultura, Universidad Autónoma Chapingo

Autor: Juan Antonio Hernández Velázquez

Director de tesis: Mario Pérez Grajales

GENERAL SUMMARY

Degradation of insecticides in fruits of manzano hot pepper for export (*Capsicum pubescens* R. and P.) under greenhouse²

The objective of this work was to analyze the degradation of insecticides in fruits of manzano hot pepper for export (*Capsicum pubescens* R. and P.) under greenhouse. They were compared with the maximum residue limits (MRLs) established by the Environmental Protection Agency (EPA) and the European Union (EU). The confidence intervals and the degradation time of the molecules were contrasted with the technical specifications of the products. The application of the insecticides was carried out in full harvest and they were analyzed in a liquid equipment coupled to triple quadrupole mass spectrometer with the BSEN15662: 2008 (British Standards Institution, 2008) technique. The results indicated that the concentrations in parts per million of spinetoram insecticides: 0.0327, 0.0281, 0.0077, 0.007; sulfoxaflor: 0.2607, 0.177, 0.1206, 0.08; abamectin: 0.0262, 0.0115, 0.0; and flonicamid: 0.2932, 0.1774, 0.0865, 0, at 0, 3, 5 and 7 days after application, respectively, for the greenhouse of Chapingo vs the greenhouse of Chiconcuac with 0.0551, 0.0216, 0.016, 0.0057 for spinetoram; 0.2068, 0.1443, 0.1099 for sulfoxaflor; 0.0149, 0.0048, 0, 0 for abamectin and 0.3973, 0.2666, 0.1219, 0 for flonicamid, did not exceed the confidence intervals (CI) established in the data sheet, the Maximum Residue Limits (MRLs) of EPA and the speed of degradation (VD) of the molecules was faster than that established in the respective technical sheet; except for abamectin that was in accordance to what is indicated on the label. It is recommended the use of the four insecticide molecules for the control of pests in the cultivation of manzano hot pepper for export, although in the Chiconcuac Greenhouse the average temperatures and average UV radiation were higher than in the Chapingo greenhouse. The residue concentrations of the four insecticidal molecules were not statistically different with a $P \leq 0.05$.

Key words: Degradation of insecticides, *Capsicum pubescens*, confidence intervals.

²Thesis of Master in Science in Horticulture, Universidad Autonoma Chapingo

Author: Juan Antonio Hernandez Velazquez

Advisor: Dr. Mario Pérez Grajales

1. INTRODUCCIÓN GENERAL

1.1 INTRODUCCIÓN

México es el principal país del mundo donde se encuentra la diversidad genética del género *Capsicum*, con múltiples usos en la comida tradicional (Pozo *et al.*, 1991). La multiplicidad de regiones fisiográficas ideales para el cultivo de chile transige la presencia de diferentes especies, entre ellas *Capsicum pubescens* R. y P. conocido comúnmente como chile manzano. La demanda de este tipo de chile en los Estados Unidos de América, ha motivado el desarrollo de sistemas de producción que elevan la productividad y la calidad poscosecha (Puente, Torres, Hernández, & Abarca, 2018). Los sistemas de producción bajo invernadero, donde se tiene mejor control de los factores ambientales como la humedad relativa, radiación, temperatura y nutrición del cultivo permiten poblaciones de hasta 12,000 plantas por hectárea, con alta calidad del fruto y rendimientos de 70 a 80 toneladas por año. Estas producciones van dirigidas principalmente al mercado de exportación (Pérez y Castro, 2010).

Uno de los principales problemas del cultivo de chile manzano para exportación son los residuos de plaguicidas en el fruto y se deben usar solo aquellos productos que están autorizados en el país destino para cumplir con los Límites Máximos de Residuos (LMR) (Pérez *et al.*, 2009)

Para Estados Unidos los LMR los regula la Agencia de Protección Ambiental (EPA) cuyo objetivo es establecer las tolerancias, que es la cantidad máxima de plaguicida permitida en un alimento, como parte del proceso de regulación de plaguicidas (EPA, 2019) y para la Unión Europea la Comisión de Unión Europea (EU).

La aplicación de productos insecticidas, en etapa de fructificación y cosecha, incrementa el riesgo de contaminación los productos agrícolas, ofertados en el mercado, lo que pone en riesgo la salud de los consumidores e incluso puede limitar su comercialización. Por otra parte, los mercados de consumo para

exportación exigen alimentos producidos en sistemas que reduzcan los riesgos de contaminación. La Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER), a través del Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA), vigila las disposiciones oficiales en materia de sistemas de reducción de riesgos de contaminantes relacionadas con la aplicación, buen uso y manejo seguro de insumos, y cumplimiento de los LMR de productos de origen agrícola.

Esta investigación se desarrolló en el cultivo de chile manzano por los rechazos de producto que se han tenido por los LMR de plaguicidas detectados por la Agencia de Protección Ambiental (EPA). Situación que se ve reflejado en pérdidas económicas para los productores de este tipo de chile en el Estado de México y Michoacán.

El uso de insecticidas para el control de mosca blanca (*Trialeurodes vaporariorum*), trips (*Frankliniella occidentalis*), pulgón (*Aphis gossypii*) y araña roja (*Tetranychus urticae*), principales plagas en el cultivo de chile manzano bajo condiciones de invernadero (Pérez y Castro, 2010), requiere del conocimiento específico de su comportamiento en relación a intervalos de seguridad establecidos en las etiquetas del insecticida, que regularmente no coinciden para condiciones de invernadero. Por ello, es necesario saber tanto el tiempo de degradación para cada uno de estos insecticidas como los intervalos de seguridad y contrastarlos con los LMR de las normas del país destino.

Los insecticidas estudiados en la presente investigación fueron seleccionados por su alta eficiencia en el control de plagas del cultivo de chile manzano para fruto de exportación en condiciones de invernadero. Existe una lista de plaguicidas autorizados por la COFEPRIS (2018) para el género *Capsicum* que incluye tipos de chile como serrano, dulce y seco, pero no se especifica chile manzano (*Capsicum pubescens*).

Objetivo

Analizar la degradación de insecticidas en frutos de chile manzano para exportación (*Capsicum pubescens* R. y P.) en dos invernaderos, a través del análisis de residuos en diferentes momentos después de su aplicación, compararlos con los límites máximos de residuos (LMR) establecidos por el país de destino y cotejar los intervalos de confianza con la velocidad de degradación, de acuerdo a las fichas de cada producto.

Objetivos específicos

1.- Comparar los contenidos de insecticidas: sulfoxaflor, spinetoram, abamectina y flonicamid a los 0, 3, 5 y 7 días después de su aplicación con los establecidos en la etiqueta de los productos.

2.- Cuantificar el contenido de sulfoxaflor, spinetoram, abamectina y flonicamid en frutos de chile manzano a los 0, 3, 5 y 7 días después de su aplicación y comparar estos valores con los Límites Máximos de Residuos (LMR) establecidos por la EPA y EU, para asegurar el cumplimiento de la normatividad establecida en el país de destino.

3.- Analizar el efecto de temperatura, humedad relativa, radiación total y radiación U. V., sobre la degradación de los insecticidas sulfoxaflor, spinetoram, abamectina y flonicamid aplicados en etapa de cosecha en chile manzano cultivado en dos invernaderos.

Hipótesis

Los intervalos de seguridad establecidos en las etiquetas de los insecticidas: sulfoxaflor, spinetoram, abamectina y flonicamid aplicados en frutos de chile manzano para exportación en condiciones de invernadero no coinciden con los encontrados en los análisis de residuos de plaguicidas y tampoco con los LMR

para Estados Unidos, y su degradación es distinta de acuerdo al invernadero empleado, debido a diferencias de temperatura, humedad relativa, radiación total y radiación U. V.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 El chile manzano

2.1.1 Origen

El género *Capsicum* está integrado por aproximadamente de 22 especies silvestres y cinco especies cultivadas; *C. annum*, *C. Baccatum*, *C. chinese*, *C. frutescens*, y *C. pubescens*. Hoy en día crece desde el sur de Bolivia hasta las zonas altas de Centroamérica y México, en donde florece en zonas elevadas entre 1200 y 3000 m. Es el chile de uso más popular en la cocina peruana, en donde lo conocen como “chile rocoto”. Se especula que haya llegado a México, como especie domesticada, a través de manos del hombre a principios del siglo veinte (Bosland, 1994).

Durante la década de 1930, varios botánicos empezaron a registrar su presencia en zonas altas, tanto en Centro América como en México. En Centroamérica lleva nomenclatura de “chamburoto” o simplemente “chile” con una palabra descriptiva en español, lo cual indica una introducción post-Conquista. Actualmente se encuentra en la zona de Toluca, zonas altas de Michoacán y en Chiapas, en donde ha ganado popularidad entre las culturas indígenas. Crece más bien como un cultivo casero en el patio de las casas para el consumo familiar y se vende el excedente en los mercados locales. En la zona andina hay un grupo de cuatro especies de flor morada: 1) *C. pubescens*, 2) *C. cardenasii*, 3) *C. eximium*, y 4) *C. tovarii*. Las últimas tres representan especies espontáneas y crecen en zonas de habitat seco en Bolivia y el norte de Argentina, en donde llevan el nombre popular de “ululpica”. Aunque hay cierta polémica sobre el ancestro del *C. pubescens*, se especula que puede haberse derivado de alguna de estas especies silvestres, ya que las cuatro especies se cruzan con facilidad. La

especie, *C. eximium*, es la que muestra más cercanía genética con el *C. pubescens* (Michael, 1979).

2.1.2 Lugar de cultivo

En México la superficie sembrada con este tipo de chile es de aproximadamente 1,500 hectáreas (ha) en campo abierto y alrededor de 40,000 ha en invernadero, repartidas en las entidades federativas con mayor superficie destinada a este tipo de chile como Michoacán, Puebla, Veracruz, Estado de México, y en menor escala, Chiapas y Oaxaca. El consumo de chile manzano es insustituible en zonas de la sierra norte de Puebla, Toluca y Morelia en Michoacán, donde forma parte de los hábitos alimenticios (SADER, 2013).

2.1.3 Condiciones ambientales

La especie *Capsicum pubescens* se adapta bien en altitudes de 1700 a 2400 m, siempre que no existan heladas. Para la germinación de las semillas se requieren de 25 a 28 °C, lo cual sucede en los primeros ocho días. La radiación óptima promedio de la especie es de 550 μmol de fotones lo que equivale a 550 Einstein. Lo anterior corresponde a un tercio de la radiación presente, a las 12 h, de un día soleado en el mes de mayo en la zona oriente del estado de México (Chapingo). Debido a esos requerimientos de radiación su cultivo se lleva a cabo en condiciones de media sombra. Requiere un intervalo óptimo de temperatura para el crecimiento y desarrollo que va de 18 a 22 °C en el día y 10 a 12 °C en la noche. La temperatura base o cero vegetativo es de 5 °C y cuando es mayor a 35 °C las flores abortan. La planta se desarrolla bien con humedad relativa de 70 a 80%. Arriba de este valor se tiene poca dehiscencia de anteras disminuyendo la polinización y fecundación de los óvulos, y en consecuencia se tiene menor número de semillas y a su vez menor tamaño de fruto. Con humedades relativas menores al 40 % existe deshidratación de los granos de polen. Lo cual también ocasiona una baja polinización y en consecuencia menor formación de semillas (Pérez, 2004).

2.1.4 Radiación total y radiación UV.

Al interior de los invernaderos, la radiación total y radiación UV está relacionada con el tiempo de exposición de los plásticos a la radiación. De acuerdo con Espí (2009), la gran mayoría de los materiales plásticos sufren un envejecimiento que lleva asociado una merma en sus propiedades cuando son sometidos durante largos periodos de tiempo a la radiación luminosa.

2.1.5 Calidad de Fruto

La calidad de los frutos está determinada por varios indicadores como el tamaño, peso, firmeza, intensidad de color y brillo, uniformidad en la forma y el tamaño de fruto; ausencia de defectos tales como grietas, pudriciones y quemaduras de sol, fisionarías, enfermedades entre otras.

Uno de las principales características es el peso del fruto, el cual se considera la siguiente clasificación: grande 100 -120 gramos, mediano 60-80 gramos, y pequeños 20-40 gramos (Pérez y Castro, 2010).

2.1.6 Color del fruto

El color verde en frutos de chile manzano indica un estado inmaduro y el amarillo un estado maduro. El color del fruto que se utiliza para exportación es con inicio de cambio de color, es decir, ($\frac{1}{4}$) de color amarillo y ($\frac{3}{4}$) de color verde (Pérez y Castro, 2010).

2.1.7 Plagas

De acuerdo con Pérez y Castro (1998), en condiciones de invernadero, se ha identificado a los Trips (*Frankliniella occidentalis*), Pulgón verde (*Myzus*

persicae), araña roja (*Tetranychus urticae*) y mosquita blanca (*Trialeurodes vaporariorum*), como las principales plagas en el cultivo de chile manzano.

2.1.7.1 Trips (*Frankliniella occidentalis*)

Es una de las especies más predominantes entre las que atacan a los cultivos de chile manzano bajo invernadero y a cielo abierto, por su cercanía con los cultivos de flores donde la plaga es una de las más importantes. Su alimentación se basa en la succión de sabia de las flores del chile. En fuertes infestaciones provoca la caída de ellas y poco amarre de frutos, reduciendo el rendimiento y calidad de los frutos de la planta hasta en 100% (Aquino, 2005).

Como control cultural se sugiere eliminar plantas enfermas, marchitas, malezas dentro y fuera del invernadero para evitar fuentes de infestación, revisar semanalmente el cultivo y observar las poblaciones, colocación de mallas antiafidos y uso de trampas pegajosas.

La aplicación de insecticidas es una herramienta de gran utilidad, entre ellos se pueden utilizar Monitor® (Metamidofos), Hormigol® (Naled), y reciente se ha utilizado es Fidato® (Spinetoram+Sulfoxaflor) por mostrar un mejor control.

2.1.7.2 Pulgón verde (*Myzus persicae*)

De acuerdo con Moret y Nadal (2007) en los climas templados esta plaga puede alcanzar hasta 20 generaciones con un promedio de 10 a 12 días por cada una de ellas y de acuerdo con Cervantes *et al.* (2004) indicó que a temperaturas bajas (15 °C) la fecundidad se reduce y en condiciones de humedad relativas altas (90 %) los pulgones mueren antes de reproducirse. Para su control se emplean trampas de color azul similar a las amarillas para mosquita blanca, tradicionalmente se utiliza Confidor® (imidacloprid) y recientemente por su efectividad, Beleaf® (flonicamid).

2.1.7.3 Araña roja (*Tetranychus urticae*)

El ciclo biológico de *Tetranychus urticae* presenta huevecillos, ninfas, protoninfas, deutoninfa y adulto. Esos estadios tienen un amplio margen de condiciones ambientales, desde los 15 °C en que se desarrollan los huevecillos hasta los 35 °C para los adultos. A finales de otoño, las hembras abandonan las hojas y se dirigen hacia los troncos y plantas bajas en busca de hendiduras en las cuales invernan. La pululación de estos ácaros se ve favorecida por temperatura alta y ambiente seco (Bonnemaïson, 1975).

Los plaguicidas que se utilizan normalmente para su control son: AK 20® (Dicofol), Agrimec® (Abamectina), Oxido de Fenbupatin y Clorfenapir, (Gonzalez, 2010), últimamente se comenzó a utilizar Pext 18® (abamectina) por la efectividad que presenta.

2.1.7.4 Mosquita blanca (*Trialeurodes vaporariorum*)

El desarrollo de este insecto es continuo a lo largo del año, tanto en invernadero como en cultivos al aire libre. Su ciclo de vida dura en promedio 21 días en temperaturas promedio de 20 a 25 °C (Bautista, 2006). Los adultos, recubiertos de una cera blanca, se localizan fundamentalmente en el envés de las hojas y en los brotes jóvenes. Al alimentarse, tanto larvas como adultos, succionan la savia, y cuando el ataque es severo, las hojas se desecan y la planta se marchita, además, producen secreciones azucaradas que se transforman en sustrato para el desarrollo de hongos saprófitos, como la fumagina; logrando cubrir en forma parcial o total las hojas y frutos (Moret y Nadal, 2007). Se recomienda colocar platos o cinta de polietileno amarilla distribuidos en todo el invernadero por lo menos cada 5 m, los platos deben de ser cubiertos con una bolsa de plástico a la cual se le adhiere un pegamento especial como: adherex, adequim o el biotac. Otra forma de combatir la plaga es con el uso de productos a base de extractos de plantas como Protek y Biocrak, estos sirven como repelentes. Como tratamiento químico se puede utilizar el Confidor® (Imidacloprid) en el cuello de la planta después de los 10 días después del trasplante, también se utiliza Fidato®

(spinetoram y sulfoxaflor), o Beleafe® (flonicamid) que han mostrado un mejor control. Si el ataque de mosquita blanca es severo se recomienda rotación de insecticidas.

2.2 Plaguicidas

Según la FAO, (1997) define los plaguicidas como cualquier sustancia o mezcla de sustancias destinadas a prevenir, destruir o controlar cualquier plaga, incluyendo los vectores de enfermedades humanas o de los animales, las especies no deseadas de plantas o animales que causan perjuicio o que interfieren de cualquier otra forma en la producción, elaboración, almacenamiento, transporte o comercialización de alimentos, productos agrícolas, madera y productos de madera o alimentos para animales, o que pueden administrarse a los animales para combatir insectos, arácnidos u otras plagas en o sobre sus cuerpos. El término incluye las sustancias destinadas a utilizarse como reguladoras del crecimiento de las plantas, defoliantes, desecantes, agentes para reducir la densidad de fruta o agentes para evitar la caída prematura de los frutos, y las sustancias aplicadas a los cultivos antes o después de la cosecha para proteger el producto contra la deterioración durante el almacenamiento y transporte.

2.2.1 Toxicidad y clasificación

La toxicidad aguda o peligrosidad del plaguicida, ha sido definida por la OMS (Organización Mundial de la Salud) como la capacidad de producir daño agudo a la salud a través de una o múltiples exposiciones, en un periodo de tiempo relativamente corto. Se mide a través de la Dosis Letal Media (DL50), es decir, la cantidad de principio activo que en aplicación única mata al 50% de la población de animales del ensayo, usualmente ratas, expresada en miligramos por kilogramo de peso vivo (mg kg^{-1} p.v.) debiendo constar la especie, el sexo y la vía de absorción. La DL50 depende de varios factores y no representa valores

absolutos, sino una idea de la magnitud de la toxicidad (Ramírez y Lacasaña, 2001). La IDA (Ingestión Diaria Admisible) es una estimación efectuada de la cantidad de aditivo alimentario, expresada en relación con el peso corporal, que una persona puede ingerir diariamente durante toda la vida sin riesgo apreciable para su salud.

En México se tiene a un órgano denominado COFEPRIS (La Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios), encargada de revisar minuciosamente las etiquetas de los plaguicidas que se ofrecen al mercado Norma Oficial Mexicana NOM-232-SSA1-2009 (Diario Oficial de la Federación, 13 de abril de 2010)., que establece los requisitos del envase, embalaje y etiquetado de productos grado técnico y para uso agrícola, forestal, pecuario, jardinería, urbano, industrial y doméstico.

Los insecticidas se clasifican en función de su uso, estructura química, modo de acción y/o formulación, aunque algunos de ellos se usan contra dos o más grupos de plagas, y pueden tener diferentes modos de acción (Repetto *et al.*, 1995). Existen distintos criterios de clasificación toxicológica y etiquetado de productos fitosanitarios, que a su vez responden a distintos sistemas regulatorios (Pina, 2012). En la el cuadro 1 se muestran las categorías toxicológicas, con los distintos niveles de peligrosidad, organizados por bandas de color (rojo, amarillo, azul y verde) que deben figurar en la parte inferior de las etiquetas de los productos fitosanitarios Norma Oficial Mexicana NOM-232-SSA1-2009.

2.2.2 Estudio de plaguicidas

2.2.2.1 Spinetoram

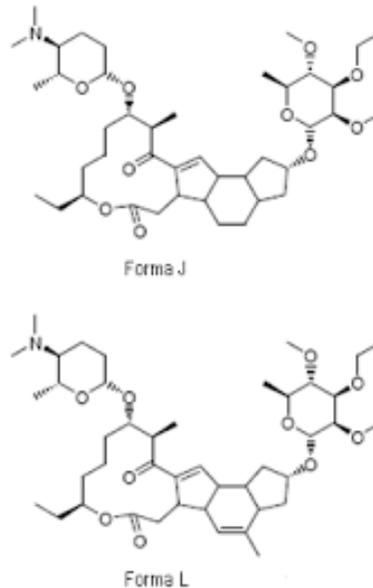


Figura 1. Estructura química de spinetoram

Formula química: C₄₂H₆₉NO₁₀ (forma J) y C₄₃H₆₉NO₁₀ (forma L)

Insecticida que actúa por contacto e ingestión para sobre las plagas con un efecto de control rápido y contundente sobre larvas de lepidópteros, dípteros thysanoptera, coleoptera, orthoptera, isoptera y homoptera.

Spinetoram representa un avance significativo en el manejo de plagas mediante la tecnología de los spinosines. Posee mayor actividad, mayor persistencia y mayor espectro de control que spinosad, al mismo tiempo mantiene el perfil toxicológico y medioambiental favorable que hace 10 años fue pionero en spinosad (Abad, 2013).

El activo Spinetoram tiene acción sobre el sistema nervioso del insecto, altera la función nicotínica. No tiene resistencia cruzada con insecticidas neonicotinoides, fiproles y abamectinas debido a que no interactúa en los mismos sitios de acción. Tiene el mismo sitio de acción que el activo Spinosad. Rotar las aplicaciones de Spinetoram con otros productos diferentes del Spinosad.

Para las abejas es altamente tóxico. No se debe tratar en presencia de abejas. Previo al tratamiento dar aviso a los apicultores. Una vez que ya se ha secado el producto, no existen riesgos.

2.2.2.2 Sulfoxaflor

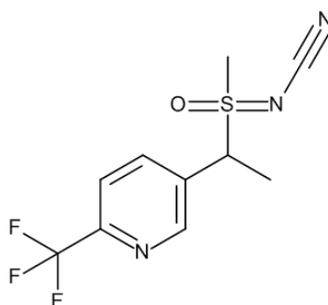


Figura 2. Estructura química de sulfoxaflor.

Formula química: C₁₀H₁₀F₃N₃OS

Se ha considerado que el sulfoxaflor es el primer neonicotinoide de cuarta generación para el control de insectos que se alimentan de la savia (Cutler *et al.*, 2013). Esto se debe a que el modo de acción del sulfoxaflor pertenece al subgrupo 4C del receptor nicotínico de acetilcolina, que está separado de los neonicotinoides convencionales (Sparks *et al.*, 2013). Hasta ahora, la mayoría de los estudios con respecto al sulfoxaflor se han centrado en su mezcla de estereoisómeros (mezcla-sulfoxaflor), como la caracterización biológica, (Zhu *et al.*, 2011) modo de acción, metabolismo, y detección residual. Sin embargo, la

tendencia general de la disipación estereoselectiva de sulfoxaflor es poco conocida en los vegetales, como se refleja en el metabolismo y los diferentes mecanismos de translocación.

El daño a los cultivos debido a insectos que se alimentan de la savia, como los áfidos y las moscas blancas, puede ser extenso. Con el tiempo, ha habido varias clases de insecticidas con diferentes modos de acción que han demostrado ser efectivos en el control de muchas plagas que se alimentan de la savia. Sin embargo, la resistencia a muchos de estos insecticidas ha limitado su utilidad. De hecho, 3 de las 10 especies de insectos que han desarrollado resistencia al mayor número de insecticidas son insectos que se alimentan de la savia. Estos tres salvo los insectos que se alimentan, *Myzus persicae* (pulgón verde del melocotón), *Aphis gossypii* (pulgón del algodón) y *Bemisia tabaci* (mosca blanca de la papa), han desarrollado resistencia a una variedad de organofosforados, carbamato, piretroide y, en algunos casos, insecticidas neonicotinoides (Whalon *et al.*, 2008). El sulfoxaflor se puede utilizar como producto para rotación de plaguicidas.

Las sulfoximinas también son susceptibles de modificaciones sintéticas porque poseen, a diferencia de la sulfona estrechamente relacionada, un tercer punto de diversidad en el nitrógeno de imina. Estas características químicas hicieron de la funcionalidad de la sulfoximina un andamio estructural atractivo para una mayor exploración.

El sulfoxaflor es una mezcla de dos pares de enantiómeros diastereoméricos en el intervalo de 40:60 a 60:40% (p / p). Ambos isómeros (E) y (Z) (que implican el doble enlace S = N y el grupo ciano) existen, pero se interconvierten rápidamente a temperaturas ambiente (EFSA, 2014).

2.2.2.3 Abamectina

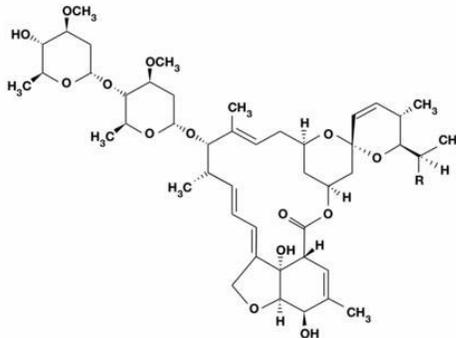


Figura 3. Estructura química de abamectina.

Formula química: $C_{48}H_{72}O_{14}$ (B1a) y $C_{47}H_{70}O_{14}$ (B1b)

La abamectina es una mezcla de avermectinas que contiene más del 80 % de avermectina B1a y el resto de avermectina B1b. Estos dos compuestos, B1a y B1b, tienen unas propiedades toxicológicas parecidas. La avermectina es un derivado de compuestos obtenidos por fermentaciones en laboratorio de *avermittilis*. La abamectina es el producto de la fermentación natural de esta bacteria. Insecticida de acción translaminar y sistémica localizada, de amplio espectro. Actúa estimulando la liberación presináptica del inhibidor neurotransmisor ácido γ -aminobutírico desde las terminales nerviosas y potenciando la fijación de este ácido a los receptores postsinápticos, entre ellos el receptor glutamato (PMEP, 2007).

Es fotosensible, degradándose rápidamente en el agua y sobre el suelo, siendo su vida media inferior a un día. Cuando se aplica en forma de cebo directamente al suelo, su vida media es de una semana, pero persiste más directamente proporcional a la ausencia de luz. Su potencial de lixiviación es escaso.

La abamectina se utiliza en control de insectos y ácaros que pueden ser plagas en vegetales y animales, tiene actividad translaminar. Al ser aplicado penetra en el tejido de las hojas formando un depósito de ingrediente activo, proporcionando una actividad residual contra las plagas que se alimentan del follaje, las cuales son afectadas al ingerir el producto.

En el aire pueden encontrarse como partículas que se precipitan con la lluvia y el polvo. En todos los compartimentos ambientales sufre fotólisis rápida (vida media 2 a 24 horas) (INECC, 2018).

2.2.2.4 Flonicamid

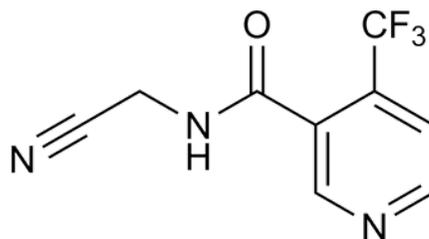


Figura 4. Estructura química de Flonicamid.

Formula química: C₉H₆F₃N₃O

El flonicamid es un insecticida desarrollado recientemente por la compañía japonesa Ishihara Sangyo Kaisha y pertenece a la familia química de las piridinacarboxamidas. Su homologación se presentó en España en el año 2004.

El uso intensivo de insecticidas ha conducido al desarrollo de resistencia contra ellos, (Nauen *et al.*, 2008). Las nuevas moléculas con quimioterápicos verdes ofrecen un gran alcance en el manejo de plagas vegetales, ya que mantienen un alto nivel de eficacia para las plagas objetivo junto con una baja toxicidad para los organismos no objetivo y, por lo general, son menos persistentes en comparación con el grupo genérico de insecticidas. El flonicamid es un insecticida selectivo, y pertenece al grupo pyridinecarboxamide, una nueva clase de química que exhibe. El principal mecanismo de acción es la inanición debido a la inhibición

de la penetración del estilete en los tejidos de las plantas (Morita *et al.*, 2007; Morita *et al.*, 2014). Insecticida aficida sistémico de aplicación foliar.

Piridinacarboxamida con acción insecticida y cierta actividad sistémica y translaminar, selectiva, que resulta efectiva contra áfidos (pulgones) y aleiródidos (moscas blancas). Actúa sobre los procesos de alimentación de los insectos sensibles pero su modo de acción no se conoce bien todavía. Se ha comprobado que no actúa sobre la acetilcolinesterasa ni sobre el receptor nicotínico de la acetilcolina. No obstante, los beneficios que pueden ofrecer estos productos pueden ser temporales, ya que su uso constante podría generar resistencia en las plagas y dificultar su manejo (Nakahira *et al.*, 2002).

El presente estudio se llevó en dos etapas. La primera consistió en el cultivo de chile manzano en condiciones de invernadero, donde se aplicaron los insecticidas de interés. La segunda en la determinación analítica, en laboratorio, de los residuos de plaguicidas por cromatografía de gases.

Cuadro 1. Clasificación toxicológica de los productos fitosanitarios según riesgos en base a la DL50 aguda (mg kg^{-1}), medida en ratas, de productos formulados.

| Clase toxicológica | Productos formulados DL_{50} | |
|---------------------------------|---------------------------------------|--------------|
| | (ppm) | |
| | Oral | Dermal |
| Ia | <5 | <50 |
| Sumamente peligroso | | |
| Ib | 5 a 50 | 50 a 200 |
| Muy peligroso | | |
| II | >50 a 2000 | >200 a 2000 |
| Moderadamente peligroso | | |
| III | >2000 a 5000 | >2000 a 5000 |
| Poco peligroso | | |
| IV | >5000 | >5000 |
| Normalmente no peligroso | no | |

(Fuente: Norma Oficial Mexicana NOM-232-SSA1-2009.).

2.3 Límites Máximos de Residuos

Los LMR según la FAO (1997), se definen como la concentración máxima de residuos de un plaguicida (expresada en mg/kg), recomendada por la Comisión

del Codex Alimentarius, para que se permita legalmente su uso en la superficie o la parte interna de productos alimenticios para consumo humano y de piensos. Los LMR se basan en datos de BPA (Buenas Prácticas Agrícolas) y tienen por objeto lograr que los alimentos derivados de productos básicos que se ajustan a los respectivos LMR sean toxicológicamente aceptables. Según la NORMA Oficial Mexicana NOM-232-SSA1-2009, Plaguicidas: que establece los requisitos del envase, embalaje y etiquetado de productos grado técnico y para uso agrícola, forestal, pecuario, jardinería, urbano, industrial y doméstico, el Intervalo de seguridad o intervalo de confianza es el tiempo que tarda en transcurrir entre la última aplicación y la cosecha. Esto se hace con la finalidad de que no sobrepasen las tolerancias permisibles para que el plaguicida no cause daño al consumidor.

2.4 Degradación

García (1998), menciona que la degradación de un plaguicida es cuando entra en contacto con un medio ambiente e interactúa con sus componentes bióticos y abióticos, sufriendo transformaciones en su estructura, cambiando sus propiedades, características fisicoquímicas y su acción biológica, y las moléculas darán compuestos diferentes, los cuales pueden ser de menor toxicidad como lo menciona Belfroid *et al.* (1998), si es de menor toxicidad sufre de una inactivación y detoxificación, por el contrario, si la toxicidad es mayor, la molécula tendrá una activación, tal y como lo menciona Coscolla (1993).

Los niveles de degradación pueden ser totales o parciales, incluso en compuestos inorgánicos como agua, bióxido de carbono, amonio, fosfatos, etc. (García, 1998) Las formas de degradación son diferentes. En el suelo, el uso de biotecnología utilizando los hongos de la podredumbre blanca (Levin *et al.*, 2004), los cuales, son microorganismos que crecen en suelos con abundante materia orgánica capaces de degradar plaguicidas clorados (Martín *et al.*, 2004). Por otra parte, existen otros métodos de degradación provocados por el grado de solubilidad, volatilidad del plaguicida, y la naturaleza del mismo (Ortiz *et al.*,

2003). Actualmente la degradación de los plaguicidas es desarrollada satisfactoriamente por procesos de oxidación en medio ácido y algunos con la presencia de luz solar o radiación UV a través de electrofotólisis (Legrini *et al.*, 1993), algunos de los productos son: radicales OH, ozono, peróxido de hidrogeno, dióxido de cloro y ácido hipocloroso (Criado *et al.*, 2012). Existen diferentes formas de obtener radicales libres para la degradación de plaguicidas en combinación con diferentes procesos como: ozonificación en medio alcalino, ozonificación con peróxido de hidrógeno, radiación UV en presencia de ozono, radiación UV con peróxido de hidrógeno, radiación UV en presencia de ozono y peróxido de hidrógeno, foto-fenton, oxidación electroquímica, ozonización catalítica y fotocatalisis heterogénea en presencia de UV (Quesada, 2009).

La fotólisis es otro proceso de degradación química, en donde hay una ruptura de sus enlaces covalentes en presencia de radiación UV entre 300 y 400 nm (Coscolla, 1993). Los compuestos orgánicos son susceptibles a este tipo de degradación por la absorción de radiación ultra violeta, y es utilizada para el tratamiento de agua residuales (García, 1998).

La degradación de los plaguicidas es utilizada para la cosecha de productos. En la NOM-232-SSA1-200 (Diario Oficial de la Federación, 2010)., se establece que el intervalo de seguridad es el tiempo que tarda en transcurrir entre la última aplicación y la cosecha, y es un factor importante para que los productos estén libres de plaguicidas, debe ser recomendado para cada uno de ellos (Pérez *et al.*, 2009) y no implique un riesgo para la salud del consumidor.

2.4 Problemática en el uso de insecticidas

Los agricultores, trabajadores y otras personas, utilizan insecticidas para el manejo y control de plagas en sus cultivos, estos productos forman gran parte en el desarrollo y manejo de los mismos. Las hojas de seguridad de los productos insecticidas proporcionan información como: dosis, tiempo de reingreso, nivel de toxicidad, intervalos de seguridad, equipos de protección, riesgos para la salud, riesgos ambientales y otros; se elaboran a partir de datos de evaluación de

riesgos para la salud y el medio ambiente, implementadas por la empresa que fabrica el producto formulado (Smith, 2004). Todo el personal, tiene acceso a las etiquetas de los productos utilizados, es de importancia leerla, comprenderla y aplicarla, para implementar la seguridad requerida en la reducción de riesgos de los productos plaguicidas utilizados en el manejo de sus cultivos, en especial de aquellos resultantes de la exposición ocupacional, en la que son los principales afectados los trabajadores agrícolas, los trabajadores de la industria química y toda persona que mezcla, carga, transporta y aplica insecticidas formulados. El nivel de exposición y el riesgo de intoxicación aguda en estos grupos son mayores, debido al contacto continuo y estrecho con los productos químicos (Ramírez y Lacasaña, 2001). La presencia de residuos de plaguicidas en los alimentos se debe principalmente al uso intensivo e indiscriminado de éstos en la horticultura, y no son monitoreados permanentemente (Pérez *et al.*, 2009). La importancia del buen uso y manejo de insecticidas es para prevenir el riesgo de producir alteraciones biomoleculares, que resultan en el desarrollo de enfermedades específicas (García *et al.*, 2016), varios estudios han demostrado que la exposición a los insecticidas pueden ser un factor de riesgo grave para el desarrollo de enfermedades crónicas (Gangemi *et al.*, 2016), efectos dermatológicos, gastrointestinales, neurológicos, carcinógenos, respiratorios y reproductivos. Esto varía en función del tiempo de exposición y tipo de plaguicida, puede ser a través de múltiples vías como por respiración, contacto en piel, contacto en ojos o incluso el consumo de alimentos contaminados, que residen cerca de campos agrícolas y el trabajo agrícola. Además, se han detectado residuos de insecticidas en muestras de leche materna humana, mientras que existen preocupaciones sobre la exposición prenatal y los efectos en la salud de los niños (Gurier *et al.*, 2017).

A pesar de que los insecticidas se desarrollan a través de un proceso regulatorio estricto, con el fin de minimizar el impacto en la salud humana y el ambiente, se ha incrementado la preocupación respecto a los riesgos asociados a la salud. El monitoreo de trabajadores y usuarios de pesticidas debe ser considerado para

tener vigilancia médica, permite tomar las medidas precautorias y evitar riesgos genéticos en su salud (Pérez *et al.*, 2009)

La población en general, está expuesta a la intoxicación a través del consumo de alimentos, tanto de origen vegetal (frutas, verduras, cereales, leguminosas) como animal (carne bovina, porcina, pescado, productos lácteos, huevo, etc.) y en menor medida a través del agua y el aire contaminados. En general, estas fuentes, generan intoxicaciones crónicas. Otra fuente de exposición son los productos industrializados de uso cotidiano que contienen o son plaguicidas en sí mismos y afectan de manera directa o indirecta al ser humano. Se afirma que no hay segmento alguno de la población que esté exento a la exposición de estos compuestos y a sus potenciales efectos nocivos sobre la salud (Ramírez y Lacasaña, 2001).

2.5 Residuos de insecticidas

Según el CODEX (1971), define como residuo de plaguicida a cualquier sustancia especificada presente en los alimentos, productos agrícolas o alimentos para animales como consecuencia del uso de un plaguicida. El término incluye cualquier derivado de un plaguicida, tales como productos de conversión, metabolitos, productos de reacción o las impurezas que se considera tienen una importancia toxicológica.

El problema de presencia de residuos de plaguicidas en los alimentos está tomando importancia creciente, hasta el punto que puede decirse que, actualmente se ha convertido en una constante preocupación para los consumidores (FAO, 2018).

El Grupo de Trabajo Ambiental (EWG, por sus siglas en inglés) es una organización ambientalista estadounidense especializada en investigación y promoción en las áreas de productos químicos tóxicos, subsidios agrícolas, tierras públicas y responsabilidad corporativa. En 2016 las manzanas a nivel mundial fueron los frutos más contaminados, cerca del 98% de las muestras contenían al menos un residuo de pesticida detectable. En Estados

Unidos las fresas son un consumo favorito entre los pobladores y consumen aproximadamente ocho libras al año. Según el departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) analizaron fresas entre el 2009 y 2014 y contenían casi seis tipos de insecticidas diferentes por muestra en comparación con otras frutas y vegetales.

Camino *et al.* (2011), mencionan que la presencia de trazas de plaguicidas en alimentos es de preocupación para los consumidores por sus efectos a la salud a largo plazo. La ciencia ha desarrollado métodos para cuantificar residuos plaguicidas, a través de equipos analíticos altamente sensibles que pueden detectar y cuantificar sustancias químicas a niveles de concentración muy bajos y precisos (Ahmed, 2001).

2.5 Efectos adversos de los insecticidas

Los residuos insecticidas son productos de conversión a metabolitos y productos de reacción, y las impurezas consideradas de importancia toxicológica (FAO, 1997), de forma que al ser ingeridos por el ser humano en grandes cantidades pueden afectar a su salud, se encuentran principalmente en frutas y verduras, entre estos grupos, existe una diversidad de alimentos más sensibles a la presencia de plaguicidas: fresas, uvas, melocotones, albaricoques, nectarinas, lechugas, tomates, berenjenas, espinacas y acelgas (Repetto *et al.*, 1995).

Los insecticidas entran en contacto con el hombre a través de diferentes vías como: dermal, oral, ocular y por inhalación. Estos tienen efectos a la salud dependiendo de la concentración y tiempo de exposición, en bajas dosis y por tiempos prolongados se pueden tener efectos agudos o crónicos, en tiempos cortos se pueden tener efectos sistémicos y localizados.

Un plaguicida causa daños a la salud cuando este supere los niveles permitidos. En este puede darse una exposición directa a plaguicidas (en el caso de los trabajadores de la industria que fabrican plaguicidas y los operarios, en particular, agricultores, que los aplican), o una exposición indirecta (en el caso de

consumidores, residentes y transeúntes), en particular durante o después de la aplicación de plaguicidas en agricultura, jardinería o terrenos deportivos, o por el mantenimiento de edificios públicos, la lucha contra las malas hierbas en los bordes de carreteras y vías férreas, y otras actividades (FAO, 2018).

Los estudios a nivel de campo del impacto de los insecticidas en los rendimientos de los cultivos, las visitas de intercambio del personal técnico y los responsables de las políticas a los países vecinos, los simposios nacionales y regionales sobre las alternativas, los programas de manejo integrado de plagas que enseñan a los agricultores, los científicos y el personal asesor a aplicar alternativas a los plaguicidas, los estudios de casos sobre los obstáculos técnicos al comercio así como los rechazos de las exportaciones por exceso de residuos de insecticidas han catalizado la reforma de las políticas (López, 1993).

2.6 Análisis de residuos de plaguicidas

En países industrializados como Estados Unidos, Canadá, Japón y otros tienen estrictos controles de calidad para detectar los Límites Máximos de Residuos de los productos vegetales que ingresen al país. A pesar de eso, se han detectado alimentos con niveles por encima de los LMR (Poulsen y Andersen, 2003). Estos análisis deben de contar con técnicas y metodologías en su proceso para validar parámetros como precisión (respetabilidad y reproducibilidad), límites de detección (LDD) y límites de cuantificación (LDC), también puede considerarse el uso de adición estándar o emplear un estándar interno (Fernández *et al.*, 2008). Global (2018) (Apéndice 1), tiene la lista actualizada de plaguicidas autorizados para el fruto de Chile para Estados Unidos de Norteamérica, que comprende de 144 productos incluyendo los utilizados en este estudio.

2.7 Organismos reguladores

En noviembre de 1961 la XI conferencia de la FAO aprobó una resolución para establecer la Comisión del Codex Alimentarius. En mayo de 1963 la XVI Asamblea de la Mundial de la Salud (OMS), adoptó los estatutos de la Comisión del Codex Alimentarius (FAO, 1997). Desde los años 70's la Organización

Mundial de la Salud, CODEX y Organización de las Naciones Unidas Para la Agricultura y la Alimentación, establecían las normas alimentarias sobre residuos de plaguicidas (CODEX, 1979), con el objetivo de cuidar la salud de los consumidores.

Actualmente son dos entidades encargadas a nivel mundial que procuran la salud del mundo y la buena alimentación, la primera la OMS (Organización Mundial de la Salud) en donde su objetivo es construir un futuro mejor y más saludable para las personas de todo el mundo (OMS, 2019), la segunda es la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) encargada del control en la inocuidad de los alimentos, su objetivo es lograr la seguridad alimentaria para todos, y al mismo tiempo garantizar el acceso regular, suficientes y de buena calidad para llevar una vida activa y sana (FAO, 2018).

2.8 Cromatografía

2.8.1 Concepto básico

La cromatografía es esencialmente un método físico en el que se separan los componentes de las mezclas a medida que son transportadas por una fase fluida móvil a través de una fase inmóvil sólida o líquida (lecho estacionario) (Chicharro, 2009). El proceso cromatográfico se da como resultado de repetidos movimientos de los componentes de la mezcla arrastrados por la fase móvil a lo largo del lecho estacionario (elución), produciéndose la separación debido a las diferencias en las constantes de distribución de los componentes de la mezcla entre la fase estacionaria y la móvil. A la distribución final de los componentes en función de su posición sobre el lecho estacionario, o del tiempo en que eluyen se le denomina cromatograma (MNCN, 2019).

Prácticamente no existen restricciones sobre la naturaleza de las fases a utilizar, siempre que la fase estacionaria sea sólida o líquida y la fase móvil líquida o gaseosa, por lo que es posible, en principio, realizar por medio de estas técnicas la separación de los componentes de cualquier mezcla (Valcarcel, 1988).

2.8.2 Cromatografía de líquidos de alta resolución

La cromatografía de líquidos de alta eficacia es la técnica analítica de separación más ampliamente utilizada. Las razones son la sensibilidad, su fácil adaptación a las determinaciones cuantitativas exactas, es ideal para la separación de especies no volátiles o termolábiles y por su gran aplicabilidad a sustancias que son de interés en la industria. Algunos ejemplos son: aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos, hidrocarburos, carbohidratos, fármacos, terpenoides, plaguicidas, antibióticos, esteroides, especies organometálicas y gran variedad de sustancias inorgánicas. La fase móvil es un líquido y la fase estacionaria es una columna que puede ser de acero inoxidable (MNCN, 2019).

2.8.3 Espectrómetro de masas doble

En la actualidad el espectrómetro de masas doble es uno de los detectores más utilizado en la química analítica aplicada al medio ambiente, alimentos y salud pública por su alta sensibilidad, versatilidad y seguridad en los resultados.

Luego de salir de la columna cromatográfica, los analitos llegan a la fuente de ionización, y pasan de estar en solución a partículas ionizadas libres, que son atraídas al cono por la aplicación de diferencia de potencial, luego pasan por filtros que eliminan cualquier molécula neutra, los focalizan llevándolos a los iones, al primer analizador de masas, a la celda de colisión y al segundo analizador y finalmente a un detector (Waters, 2010).

2.9 Métodos de extracción de muestras

En la actualidad la demanda de servicios de detección de plaguicidas está creciendo y esto trae como resultado buscar alternativas más rápidas y más eficientes para la extracción de muestras previas al análisis cromatográfico; tal es el caso de la tecnología denominada QuEChERS (Quick, easy, cheap,

effective, rugged, y safe), este método está ganando popularidad en todo el mundo como el método a elegir para el análisis de multi-resíduos de plaguicidas en alimentos y productos agrarios. El método QuEChERS tiene ventaja de altas recuperaciones, resultados precisos, rapidez de tratamiento, poco uso de solvente y material de vidrio y además requiere poco espacio de laboratorio y pocos reactivos. Y el proceso es robusto y fiable. Fue rápidamente adoptada por los organismos de control de Estados Unidos y de Europa, haciendo que hoy en día sea el método de referencia en la mayor parte de laboratorios a nivel mundial (Sack *et al.*, 2011).

1.2 LITERATURA CITADA

- Abad, R., & Torné, M. (2013). Spinetoram, el nuevo insecticida de Dow AgroSciences. *Phytoma España: La revista profesional de sanidad vegetal*, (252), 42. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4498237>
- Ahmed, F. E. (2001). Analyses of pesticides and their metabolites in foods and drinks. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 20(11), 649-661. [https://doi.org/10.1016/S0165-9936\(01\)00121-2](https://doi.org/10.1016/S0165-9936(01)00121-2)
- Aquino, J. M. (2005). Diagnóstico y control de plagas y enfermedades del cultivo de chile manzano. Recuperado 24 de mayo de 2019, de <https://librosagronomicos.blogspot.com/2018/01/diagnostico-y-control-de-plagas-y.html>
- Sparks, T. C., Watson, G. B., Loso, M. R., Geng, C., Babcock, J. M., & Thomas, J. D. (2013). Sulfoxaflor and the sulfoximine insecticides: Chemistry, mode of action and basis for efficacy on resistant insects. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 107(1), 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2013.05.014>
- Bautista, M. N. (2006). Insectos plaga. Una guía ilustrada para su identificación. Colegio de postgraduados. México, pp. 113.
- Belfroid, A. C., van Drunen, M., Beek, M. A., Schrap, S. M., van Gestel, C. A. M., & van Hattum, B. (1998). Relative risks of transformation products of pesticides for aquatic ecosystems. *Science of The Total Environment*, 222(3), 167-183. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(98\)00298-8](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(98)00298-8)
- Bonnemaison, L. (1975). Enemigos animales de las plantas cultivadas y forestales. Ediciones de occidente. Barcelona, España, pp. 35.

- Bosland, P. W. (1994). Chiles: History, cultivation, and uses. In G. Charalambous, Spices, Herbs and Edible Fungi. *Developments in Food Science* (34), 347-366.
- British Standards Institution. (2008). *Foods of plant origin: determination of pesticide residues using GC-MS and/or LC-MS/MS following acetonitrile extraction/partitioning and cleanup by dispersive SPE-QuEChERS-method*. London: British Standards Institution. Recuperado 24 de mayo de 2019, de http://www.chromnet.net/Taiwan/QuEChERS_Dispersive_SPE/QuEChERS_ 歐盟方法_EN156622008_E.pdf
- Camino-Sánchez, F. J., Zafra-Gómez, A., Ruiz-García, J., Bermúdez-Peinado, R., Ballesteros, O., Navalon, A., & Vílchez, J. L. (2011). UNE-EN ISO/IEC 17025:2005 accredited method for the determination of 121 pesticide residues in fruits and vegetables by gas chromatography–tandem mass spectrometry. *Journal of Food Composition and Analysis*, 24(3), 427-440. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2010.11.009>
- Cervantes, M., Lomelí, f., Peña, M., Terrón, S., and Rodríguez, N. (2004). Bioecología de ácaros y áfidos de importancia agrícola en México. Universidad Autónoma Metropolitana. División de Ciencias Biológicas y de la Salud & Departamento de Producción Agrícola y Animal, México, D.F., pp 100.
- Chicharro, M. (2009). Cromatografía Principios y Aplicaciones, Análisis Químico, 1º Ciencia y Tecnología de Alimentos. México, pp. 72.
- CODEX (Codex Alimentarius Commission), 11 de junio de 1979. Informe de la 11ª Reunión del Comité del CODEX Sobre Residuos de Plaguicidas. Recuperado 24 de mayo de 2019, de https://www.google.com.mx/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwj72JT_7ngAhURFHwKHedoAPgQFjABegQICBAC&url=http%3A%2F%2Fwww.fao.org%2Finput%2Fdownload%2Freport%2F182%2Fal79_24As.pdf&usq=AOvVaw2RV-4_NrhAd8MQTWIkn998 13/02/2019
- Coscollá, R. (1993), Residuos de plaguicidas en alimentos vegetales. Ediciones Mundi Prensa. Madrid, España, pp. 85-92.
- Criado, S., Rosso, J. A., Cobos, C. J., García, N. A., & Mártire, D. O. (2012). Oxidation of ophthalmic drugs photopromoted by inorganic radicals. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 244, 32-37. <https://doi.org/10.1016/j.jphotochem.2012.06.018>
- Cutler, P., Slater, R., Edmunds, A. J., Maienfisch, P., Hall, R. G., Earley, F. G., ... Crossthwaite, A. J. (2013). Investigating the mode of action of sulfoxaflor: a fourth-generation neonicotinoid. *Pest Management Science*, 69(5), 607-619. <https://doi.org/10.1002/ps.3413>

- EFSA (European Food Safety Authority). (2014). Conclusion on the peer review of the pesticide risk assessment of the active substance sulfoxaflor. (2014). *EFSA Journal*, 12(5), 3692. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2014.3692>
- Espí, E. (2009). Invernaderos de plástico. Primera edición. Imprenta Graficas Arias montano, S.A. Madrid España, pp 73-79.
- FAO (Food Agriculture Organization), 1997. Límites Máximos del CODEX para residuos de Plaguicidas. Recuperado 26 de mayo de 2019, de <http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/codex-texts/dbs/pestres/pesticides/es/>
- FAO (Food Agriculture organization), 2018. Historia de la FAO Recuperado 26 de mayo de 2019, de Food and Agriculture Organization of the United Nations website: <http://www.fao.org/about/es/>
- Fernández, M., J. L., Garrido, F. P., Bolaños, P., Martínez, V, J. L. (2008). Multiresidue method for the analysis of more than 140 pesticides residues in fruits and vegetables by gas chromatography coupled to triple quadrupole mass spectrometry. *Journal of Mass Spectrometry*. 43, 1235-1254. DOI: 10.1002/jms.1400
- Gangemi, S., Gangemi, S., Gofita, E., Gofita, E., Costa, C., Costa, C., ... Fenga, C. (2016). Occupational and environmental exposure to pesticides and cytokine pathways in chronic diseases (Review). *International Journal of Molecular Medicine*, 38(4), 1012-1020. <https://doi.org/10.3892/ijmm.2016.2728>
- Gacia, C. E., Rodríguez, F. A. y Rodriguez, R. (1998). Alternativas técnicas para la eliminación de plaguicidas en el medio ambiente. *Residuos de plaguicidas 96: IV Seminario Internacional sobre Residuos de Plaguicidas, 1998, ISBN 84-8240-090-8, págs. 141-155*, 141-155. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1039293>
- García-García, C. R., Parrón, T., Requena, M., Alarcón, R., Tsatsakis, A. M., & Hernández, A. F. (2016). Occupational pesticide exposure and adverse health effects at the clinical, hematological and biochemical level. *Life Sciences*, 145, 274-283. <https://doi.org/10.1016/j.lfs.2015.10.013>
- Global LMR report. (2018). Global LMR Report Data Base. Recuperado 29 de mayo de 2019, de <https://www.globalmrl.com/home/subscribe.html>
- González C., J. M. (2010). Resistencia del ácaro de dos manchas *Tetranychus urticae* Koch a acaricidas convencionales en el cultivo del rosal en el municipio de Villa guerrero, Estado de México. Licenciatura, Universidad Autónoma del Estado de México, México, p. 75.
- Gunier, R. B., Kang, A., Hammond, S. K., Reinier, K., Lea, C. S., Chang, J. S., ... Metayer, C. (2017). A task-based assessment of parental occupational exposure to pesticides and childhood acute lymphoblastic leukemia. *Environmental Research*, 156, 57-62. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.03.001>

- INECC (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático), 2018. Contaminantes climáticos de vida corta. Recuperado 26 de mayo de 2019, de gob.mx website: <http://www.gob.mx/inecc/acciones-y-programas/contaminantes-climaticos-de-vida-corta>
- Legrini, O., Oliveros, E. y Braun, A. M. (1993). Photochemical processes for water treatment. *Chemical Reviews*, 93, pp 671-698. <https://doi.org/10.1021/cr00018a003>
- Levin, L., Papinutti, L., & Forchiassin, F. (2004). Evaluation of Argentinean white rot fungi for their ability to produce lignin-modifying enzymes and decolorize industrial dyes. *Bioresource Technology*, 94(2), 169-176. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2003.12.002>
- López, C. L. (1993). Exposición a plaguicidas órganos fosforados. Perspectivas en Salud Pública. México: Instituto Nacional de Salud Pública. (18) 45.
- Martín, C., González, A., y Blanco, M. J. (2004). Tratamientos biológicos de suelos contaminados: contaminación por hidrocarburos. Aplicaciones de hongos en tratamientos de biorrecuperación. *Rev. Iberoamer Micol*, 21:103-120 Recuperado 26 de mayo de 2019, de [https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/53673268/Tratamientos biológicos de suelos contaminados. Contaminación por hidrocarburos..pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1558931204&Signature=AUd2XIYgqH74Pls%2F9qzSTX%2FcBP4%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DTratamientos biológicos de suelos contam.pdf](https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/53673268/Tratamientos_biológicos_de_suelos_contaminados._Contaminación_por_hidrocarburos..pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1558931204&Signature=AUd2XIYgqH74Pls%2F9qzSTX%2FcBP4%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DTratamientos_biológicos_de_suelos_contam.pdf)
- Michael, M., Hardy, W., y Sheldon, G. (1979). A Preliminary Biochemical Systematic Study of the genus Capsicum-Solanaceae, en *The Biology and Taxonomy of the Solanaceae*, J. G. Hawkes, R. Lester and A. Skelding, eds., Linnean Society Symposium, Series (7), 701-714.
- MNCN (Museo Nacional de Ciencias Naturales), 2019. Conceptos Fundamentales de Cromatografía. México. Recuperado 26 de mayo de 2019, de <http://www.mncn.csic.es/seccion=1335>
- Moret, A., y Nadal, M., (2007). Insectos perjudiciales y beneficiosos para la agricultura. Ed. Omega, pp.45.
- Morita, M., Ueda, T., Yoneda, T., Koyanagi, T., & Haga, T. (2007). Flonicamid, a novel insecticide with a rapid inhibitory effect on aphid feeding. *Pest Management Science*, 63(10), 969-973. <https://doi.org/10.1002/ps.1423>
- Morita, M., Yoneda, T., & Akiyoshi, N. (2014). Research and development of a novel insecticide, flonicamid. *Journal of Pesticide Science*, 39(3), 179-180. <https://doi.org/10.1584/jpestics.J14-05>

- Nakahira, K., Kashitant, R., Tomoda, M., Kodama, R., Ito, R., Yamanaka, S., Momoshita, M., Nauen, R., Stumpf, N., y Elber, A. (2002). Toxicological and mechanistic studies on neonicotinoid cross resistance in Q-type Bemisia Tabaci (Hemiptera: Aleyrodidae). *Pest Manag. Sci.* 58: 868-875. <https://doi.org/10.1002/ps.557>
- Nauen, R., Denholm, I., y Robert-Nichols, T., (2008). News from the frontline: reports from global workshop on stewardship of neonicotinoid insecticides. *Pest Manag. Sci.* (64) 1082, 1083.
- NOM-232-SSA1-2009 (Norma Oficial Mexicana NOM-232-SSA1-2009), 13 de abril de 2010. Diario Oficial de la Federación, que establece los requisitos del envase, embalaje y etiquetado de productos grado técnico y para uso agrícola, forestal, pecuario, jardinería, urbano, industrial y doméstico. Recuperado 26 de mayo de 2019, de http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5139018&fecha=13/04/2010 13/02/2019
- OMS (Organización mundial de la salud), 2019. Quiénes somos y qué hacemos. (s. f.). Recuperado 26 de mayo de 2019, de WHO website: <http://www.who.int/about/es/>
- Ortiz, B.F., López, M., Fernández, M., Yruela, M.C., Navas, J.A., López, J., Lirola, J., Morales, A.M., García, J.P., Martín, A., Alfonso, J.M., Martín, R.A., Marqués, F., Ejido, J. y Caballero, E. (2003) Aplicación de plaguicidas. Nivel Cualificado. Junta de Andalucía–Consejería de Agricultura y Pesca. 2ª Edición. Andalucía, España. 235 pp.
- Pérez, M. A., Segura, A., García, R., Colinas, T., Pérez, M., Vázquez, A., & Navarro, H. (2009). Residuos de plaguicidas organofosforados en cabezuela de brócoli (*Brassica oleracea*) determinados por cromatografía de gases. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 25(2), 103-110, ISSN 0188-4999.
- Pérez, M., y Castro, R. (2010). El chile manzano. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo. México, pp 135
- Pérez, M. y Castro, R. (1998). Guía para la producción intensiva de Chile manzano. Boletín de Divulgación Núm. 1. Programa Nacional de investigación en Olericultura. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. pp 12-19.
- Pérez, G. M., González, H. V. A., Peña, L. A., Mendoza, C. M. C., Peña, V. C. Y Sahagún, C. J. (2004). Physiological Characterization of Manzano Hot Pepper (*Capsicum pubescens* R & P) Landraces. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 129(1), 88-92. <https://doi.org/10.21273/JASHS.129.1.0088>

- Pina, I. (2012). Clasificación Toxicológica y Etiquetado de Productos Fitosanitarios. Criterios regulatorios Locales e Internacionales. Serie de Informes Especiales ILSI Argentina. International Life Science Institute-ILSI, 1(3)
- PMEP (Pesticide Management Education Program), 2007. Abamectin. Pesticide Management Education Program. May. Cornell University Cooperative Extension. Recuperado 26 de mayo de 2019, de <http://pmep.cce.cornell.edu/profiles/extoxnet/24d-captan/abamectin-ext.html> 13/11/2018
- Poulsen, M. E. and Andersen, J. H. (2003). Results from the monitoring of pesticide residues in fruit and vegetables on the Danish market, 2000-01. *Food Additives and Contaminants*, 20(8) 742-757 <https://doi.org/10.1080/026520301194100>
- Puente, G. B., Torres, L. E. E., Hernández, E. F., & Abarca, O. R. (2018). Evaluación técnica, financiera y comercial de los sistemas de producción de chile manzano (*Capsicum pubescens* R Y P) en México. *Revista Análisis Económico*, 29(71), 209-219. Recuperado 26 de mayo de 2019, de <http://analiseconomico.azc.uam.mx/index.php/rae/article/view/129/123>
- Quesada, P. I., Javier, J. H., Marie, W. A. y Delmas, H. (2009) Contaminación de las aguas con productos farmacéuticos. Estrategias para enfrentar la problemática. *Revista CENIC Ciencias Biológicas*, 40(3). Recuperado de <http://www.redalyc.org/resumen.oa?id=181221662005>
- Ramírez, A., Lacasaña, M. (2001). Plaguicidas: clasificación, uso, toxicología y medición de la exposición. Arch. Prevención de Riesgos Laborales. Barcelona. España. 4 (2): 67-75.
- Repetto, M., Sanz, P., Jurado, C., López-Artíguez, M., Menéndez, M., y de la Peña, E. (1995). Glosario de términos toxicológicos. Copyright, pp. 54.
- Sack, C., Smoker, M., Chamkasem, N., Thompson, R., Satterfield, G., Masse, C., ... Smith, R. E. (2011). Collaborative Validation of the QuEChERS Procedure for the Determination of Pesticides in Food by LC-MS/MS. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(12), 6383-6411. <https://doi.org/10.1021/jf201618q>
- SADER (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural), 2013. Chile manzano en invernadero Recuperado 26 de mayo de 2019, de <http://www.sicde.gob.mx/portal/bin/nota.php?accion=buscar¬ald=81263127451b69ce074cac>
- Smith, W. (2004). Pesticide labels. Encyclopedia of pest management. Pimentel D. Marcel Dekker, Inc., pp. 654
- Valcarcel, M. (1988). Técnicas analíticas de separación. Editorial Reverté. España. pp. 28

- Whalon, M., Mota, D., and Hollingworth, R. (2008). Analysis of global pesticide resistance in arthropods. In *Global Pesticide Resistance in Arthropods*. Eds. CAB International: Wallingford, U.K., pp 5– 31
- Waters (2010). *Xevo-TQS Mass Spectrometry System, Operator's Overview and Maintenance Guide*. Massachusetts, Estados Unidos, pp. 100-120.
- Zhu, Y., Loso, M. R., Watson, Gerald. B., Sparks, T. C., Rogers, R. B., Huang, J. X., ... Thomas, J. D. (2011). Discovery and Characterization of Sulfoxaflor, a Novel Insecticide Targeting Sap-Feeding Pests. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(7), 2950-2957. <https://doi.org/10.1021/jf102765x>

3.1 RESUMEN GENERAL

Degradación de insecticidas en frutos de chile manzano para exportación (*Capsicum pubescens* R. y P.) bajo invernadero ¹

El objetivo de este trabajo fue analizar la degradación de insecticidas en frutos de chile manzano para exportación (*Capsicum pubescens* R. y P.) bajo invernadero. Se compararon con los límites máximos de residuos (LMR) establecidos por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) y Unión Europea (UE). Los intervalos de confianza y el tiempo de degradación de las moléculas se contrastaron con las fichas técnicas de los productos. La aplicación de los insecticidas se llevó a cabo en plena cosecha y fueron analizados en un equipo de líquidos acoplado a espectrómetro de masas triple cuadrupolo con la técnica BSEN15662:2008 (British Standards Institution, 2008). Los resultados indicaron que las concentraciones en partes por millón de los insecticidas spinetoram: 0.0327, 0.0281, 0.0077, 0.007; sulfoxaflor: 0.2607, 0.177, 0.1206, 0.08; abamectina: 0.0262, 0.0115, 0, 0; y flonicamid: 0.2932, 0.1774, 0.0865, 0, a los 0, 3, 5 y 7 días después de la aplicación, respectivamente, para el invernadero de Chapingo vs el invernadero de Chiconcuac con 0.0551, 0.0216, 0.016, 0.0057 para spinetoram; 0.2068, 0.1443, 0.1099 para sulfoxaflor; 0.0149, 0.0048, 0, 0 para abamectina y 0.3973, 0.2666, 0.1219, 0 para flonicamid, no rebasaron los intervalos de confianza (IC) establecidos en la ficha técnica, los Límites Máximos de Residuos (LMR) de EPA y la velocidad de degradación (VD) de las moléculas fue más rápida que lo establecido en la ficha técnica respectiva; excepto para abamectina que fue acorde a lo indicado en la etiqueta. Se recomienda el uso de las cuatro moléculas insecticidas para el control de plagas en el cultivo de chile manzano para exportación, no obstante que, en el Invernadero de Chiconcuac se presentaron temperaturas promedio y radiación UV promedio mayores que en el invernadero de Chapingo. Las concentraciones de residuos de las cuatro moléculas insecticidas no fueron estadísticamente diferentes con una $P \leq 0.05$.

Palabras clave: Degradación de insecticidas, *Capsicum pubescens*, intervalos de confianza.

¹Tesis de Maestría en Ciencias en Horticultura, Universidad Autónoma Chapingo

Autor: Juan Antonio Hernández Velázquez

Director de tesis: Mario Pérez Grajales

3.2 GENERAL SUMMARY

Degradation of insecticides in fruits of manzano hot pepper for export (*Capsicum pubescens* R. and P.) under greenhouse²

The objective of this work was to analyze the degradation of insecticides in fruits of manzano hot pepper for export (*Capsicum pubescens* R. and P.) under greenhouse. They were compared with the maximum residue limits (MRLs) established by the Environmental Protection Agency (EPA) and the European Union (EU). The confidence intervals and the degradation time of the molecules were contrasted with the technical specifications of the products. The application of the insecticides was carried out in full harvest and they were analyzed in a liquid equipment coupled to triple quadrupole mass spectrometer with the BSEN15662: 2008 (British Standards Institution, 2008) technique. The results indicated that the concentrations in parts per million of spinetoram insecticides: 0.0327, 0.0281, 0.0077, 0.007; sulfoxaflor: 0.2607, 0.177, 0.1206, 0.08; abamectin: 0.0262, 0.0115, 0.0; and flonicamid: 0.2932, 0.1774, 0.0865, 0, at 0, 3, 5 and 7 days after application, respectively, for the greenhouse of Chapingo vs the greenhouse of Chiconcuac with 0.0551, 0.0216, 0.016, 0.0057 for spinetoram; 0.2068, 0.1443, 0.1099 for sulfoxaflor; 0.0149, 0.0048, 0, 0 for abamectin and 0.3973, 0.2666, 0.1219, 0 for flonicamid, did not exceed the confidence intervals (CI) established in the data sheet, the Maximum Residue Limits (MRLs) of EPA and the speed of degradation (VD) of the molecules was faster than that established in the respective technical sheet; except for abamectin that was in accordance to what is indicated on the label. It is recommended the use of the four insecticide molecules for the control of pests in the cultivation of manzano hot pepper for export, although in the Chiconcuac Greenhouse the average temperatures and average UV radiation were higher than in the Chapingo greenhouse. The residue concentrations of the four insecticidal molecules were not statistically different with a $P \leq 0.05$.

Key words: Degradation of insecticides, *Capsicum pubescens*, confidence intervals.

²Thesis of Master in Science in Horticulture, Universidad Autonoma Chapingo

Author: Juan Antonio Hernandez Velazquez

Advisor: Dr. Mario Pérez Grajales

3.3 INTRODUCCIÓN

México es el principal país del mundo donde se encuentra la diversidad genética del género *Capsicum*, con múltiples usos en la comida tradicional (Pozo *et al.*, 1991). La multiplicidad de regiones fisiográficas ideales para el cultivo de chile transige la presencia de diferentes especies, entre ellas *Capsicum pubescens* R. y P. conocido comúnmente como chile manzano. La demanda de este tipo de chile en los Estados Unidos de América, se ha incrementado, por lo que los sistemas de producción buscan elevar la productividad y la calidad poscosecha (Puente, Torres, Hernández, & Abarca, 2018). Sin embargo, uno de los principales problemas en el manejo del cultivo son las plagas y enfermedades (Pérez y Castro, 2010), y no existen plaguicidas autorizados en México para este tipo de chile. La producción no es extensiva, son pequeñas agrupaciones que se desarrollan bajo invernadero y estas producciones van dirigidas principalmente al mercado de exportación (Pérez y Castro, 2010), actualmente se buscan alternativas que no afecten la calidad del producto en cuanto a tamaño, daño por insectos, deformaciones y residuos de plaguicidas, este último por ser uno de los principales problemas, siendo necesario cumplir con los Límites Máximos de Residuos (LMR) establecidos por el país destino y teniendo como antecedente el rechazo del producto. En Estados Unidos los LMR los regula la Agencia de Protección Ambiental (EPA). La aplicación de plaguicidas en vegetales, frutas y productos tratados, es una preocupación para los consumidores, por los residuos de plaguicidas y los posibles efectos a la salud a largo plazo. Los riesgos sanitarios son para el cultivo y su entorno (Sánchez, 2002, Fenik *et al.*, 2011) e incluso puede limitar su comercialización.

La utilización de invernaderos permite tener ambientes controlados como temperatura, radiación, solar, humedad relativa y aplicaciones de insecticidas (Pérez, 2010). De acuerdo con Espí (2009), la gran mayoría de los materiales

plásticos sufren un envejecimiento que lleva asociado una merma en sus propiedades cuando son sometidos durante largos periodos de tiempo a la radiación luminosa. Muchos plaguicidas de diversas estructuras han sido degradados mediante procesos de oxidación avanzada como irradiación directa con luz solar (Quesada, 2009), algunos por aumento de temperatura y humedad (Belfroid *et al.*, 1998), y por medio de actividad metabólica de microorganismos en el suelo utilizando carbono, nitrógeno, azufre o fósforo para eliminar la toxicidad del compuesto o mineralización completa (Desaint *et al.*, 2000, Barra Caracciolo, Bottoni, & Grenni, 2013). En México la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER), a través del Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA), vigila las disposiciones oficiales en materia de sistemas de reducción de riesgos de contaminantes, buen uso y manejo de insumos, y cumplimiento de los LMR de productos de origen agrícola, sin embargo, aún falta por aumentar el número especies vegetales, tal es el caso del chile manzano que no cuenta con LMR en su base de datos.

El uso de insecticidas para el control de plagas como mosca blanca (*Trialeurodes vaporariorum*), trips (*Frankliniella occidentalis*), pulgón (*Aphis gossypii*) y araña roja (*Tetranychus urticae*), en chile manzano bajo condiciones de invernadero (Pérez y Castro, 2010), requiere del conocimiento de los intervalos de seguridad establecidos por las empresas comercializadoras, ya que es necesario aplicarse en etapa vegetativa, de fructificación y cosecha. Por ello es necesario conocer el intervalo de confianza mediante las condiciones de cultivo, la degradación de los insecticidas y el contenido de los mismos en el producto. El objetivo del presente estudio fue analizar la degradación de los insecticidas en frutos de chile manzano para exportación (*Capsicum pubescens* R. y P.), en dos invernaderos, a través del análisis de residuos en diferentes momentos después de su aplicación y compararlos con los límites máximos de residuos (LMR) establecidos por el país de destino y, cotejar los intervalos de confianza con la velocidad de degradación, de acuerdo a las fichas técnicas de cada producto. Bajo la hipótesis de que los intervalos de confianza establecidos en las etiquetas de los insecticidas: sulfoxaflor, spinetoram, abamectina y flonicamid no coinciden con

los encontrados en los análisis de residuos de plaguicidas y tampoco con los LMR para Estados Unidos, y su degradación es distinta de acuerdo al invernadero empleado para el cultivo, por variaciones de temperatura, humedad relativa, radiación total y radiación U. V.

3.4 MATERIALES Y MÉTODOS

Se establecieron plantas de chile manzano en dos invernaderos. El primero en el campo experimental de la Universidad Autónoma Chapingo ubicada a 19°29'22.3" N y 98°52'24.7" W y el segundo en invernadero de un agricultor cooperante en el municipio de Chiconcuac ubicado a 19°34'04.9" N 98°54'09.8" W en el Estado de México. El establecimiento de las plántulas de chile manzano y la conducción del cultivo en invernadero se llevaron a cabo para obtener alta calidad y alto rendimiento.

3.4.1 Tratamientos y diseño experimental

Los insecticidas estudiados en la presente investigación fueron seleccionados por su alta eficiencia en el control de plagas del cultivo de chile manzano para fruto de exportación en condiciones de invernadero. Existe una lista de plaguicidas autorizados por la COFEPRIS para el género *Capsicum* que incluye tipos de chile como serrano, dulce y seco, pero no para chile manzano (*Capsicum pubescens*).

Se aplicaron cuatro insecticidas de etiqueta verde (toxicidad IV), spinetoram (Sistémico), sulfoxaflor, abamectina y flonicamid (de contacto). Las dosis utilizadas fueron las recomendadas en la etiqueta de cada producto. El comportamiento de cada insecticida se estudió de manera independiente. Se empleó el diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones. La unidad experimental fue de diez plantas y la unidad de muestreo de diez frutos, también se empleó un testigo al cual no se le aplicaron productos insecticidas.

| N. Común/ IA | Grupo químico | Mecanismo de acción | Plagas | DU (g L ⁻¹) | LMR para EU (ppm) | I. C. |
|----------------------|-----------------------|--|-----------------------------|---------------------------|-------------------|-------|
| Fidato/ Spineto-ram | Spinosines | Receptores nicotínicos de acetilcolina | Mosca blanca, trips, pulgón | 0.4 | 0.4 | 1 |
| Fidato/ Sulfoxaflor | Sulfoximinas | Receptores nicotínicos de acetilcolina | Ninfas de mosquita blanca. | 0.4 | 0.7 | 1 |
| Pext 18/ Abamectina | Avermectinas | Impide la transmisión de señales en conexiones neuromusculares | Ácaros | 0.8 (ml L ⁻¹) | 0.007 | 3 |
| Beleafe / Flonicamid | Piridine-carboxamidas | Efecto antialimentario | Mosquita blanca y pulgón | 0.5 | 3 | 0 |

Cuadro 2. Especificaciones de productos aplicados en el cultivo de chile manzano en el estudio de degradación de residuos de insecticidas.

IA= ingrediente activo DU= Dosis utilizada, IC= Intervalo de confianza

3.4.2 Conducción de experimentos

La aplicación de los 12 tratamientos con insecticidas en ambos invernaderos, se efectuó a los siete meses después del trasplante y fue el día 22 de junio del 2018.

Las aplicaciones fueron por la tarde noche y la aspersión cubrió dos metros del dosel del cultivo, utilizando mochila de aspersión con boquilla cónica.

3.4.3 Condiciones ambientales en el invernadero

3.4.3.1 Temperatura y humedad relativa

En ambos invernaderos se tomaron lecturas de temperatura y humedad relativa con intervalos de una hora, de las 8:00 am a las 6:00 pm, durante los siete días que duro el muestreo de frutos y, se obtuvieron los valores mínimos, máximos y promedios por día.

3.4.3.2 Radiación total y UV

La radiación total y la radiación UV se registraron al interior del invernadero, a lo largo de las filas de los tratamientos y a diferentes alturas (la parte superior, media e inferior del dosel), se sacó un promedio de los datos. La lectura de datos se tomó con un fotómetro marca Fieldscout®, en un horario donde hay mayor radiación solar, de las 12 a 14 horas. Durante la toma de datos hubo presencia de nubes.

3.4.4 Muestreo

El muestreo se realizó de acuerdo al Manual Técnico de Muestreo de Productos Agrícolas de SAGARPA para determinación de Residuos de Plaguicidas. En cada tratamiento se tomaron cuatro muestras con 3 repeticiones a los 0, 3, 5 y 7 días después de la aplicación. La toma de muestras se llevó a cabo entre las 12:00 a 14:00 pm. en los dos invernaderos (Chapingo y Chiconcuac). Los frutos se muestrearon siguiendo una banda roja en forma de zigzag de arriba hacia abajo a lo largo de la fila de plantas (Figura 1). Los frutos colectados fueron de tamaño mediano (80 g) y grande (100 g) con un grado de madurez (amarillo (1/4) a verde (3/4)).

3.4.5 Etapa de laboratorio

Determinaciones analíticas

Una vez en el laboratorio las muestras fueron procesadas (extraídas y analizadas), bajo el método europeo BS EN 15662:2008 (British Standards Institution, 2008)

3.4.5.1 Extracción

Se pesaron 10 ± 0.01 g de muestra homogeneizada en un tubo de 50 mL para centrifuga por cada muestra. Para la curva de calibración se pesaron 10 ± 0.01 g de matriz blanco por cada punto de la curva. Se adicionaron a todas las muestras, blancos, recuperación y curva de calibración 10 ± 0.01 mL de acetonitrilo como agente extractor. Se fortificó la curva de calibración, empleando las soluciones de trabajo de cada nivel e ISTD's. Adicionando $100 \mu\text{L}$ de cada nivel a la curva de calibración y $100 \mu\text{L}$ de ISTD a D10.

Se agregaron 4 g de $\text{MgSO}_4 \pm 0.1$ g, 1 g NaCl y $1 \text{ g} \pm 0.1$ g Na Citrato y $0.5 \text{ g} \pm 0.1$ g de Na Sesquidratado. Se homogenizó perfectamente en Vórtex durante 5 min y se centrifugó a 3500 rpm durante 10 minutos. Se tomó una alícuota de 1000 μl de la fase orgánica (capa superior), transfiriendo a tubos de 2 mL de limpieza para centrifuga. Los tubos contenían 25 mg de PSA, 150 mg de MgSO_4 y 25 mg de C-18. Se centrifugó una vez más a 9500 rpm, por 5 minutos. El sobrenadante (capa superior) se transfirió un vial de 2 ml. Por último, se inyectó $3 \mu\text{L}$ al sistema Xevo TQ-S para el análisis multirresiduos de plaguicidas.

Las condiciones de operación del sistema Xevo TQ-S: Columna BEH C18 a 9000 psi; gas de colisión: Argón UAP con un flujo de 0.14 ml min^{-1} ; gas API: Nitrógeno con flujo de 159 L hr^{-1} ; horno a $40 \text{ }^\circ\text{C}$; Automuestreador con una temperatura de $10 \text{ }^\circ\text{C}$; tiempo de la corrida de 5.5 min; volumen de inyección de $3 \mu\text{L}$; tipo de ionización por Electro Spray (ESI+). Las recuperaciones oscilaron entre 70 y 120% con RSD de $<20\%$ en chile manzano con niveles de fortificación de 0.0025 - 0.04 mg kg^{-1} respectivamente. Se encontró que el límite de cuantificación (LOQ) de este método era de $0.0025 \text{ mg kg}^{-1}$, mientras que el límite de detección era de

0,0012 mg kg⁻¹. Los tiempos de retención fueron: Flonicamid 1.20', sulfoxaflor 1.70', abamectina 1.19' y spirotoram 3.06'.

3.4.6 Análisis estadístico

Para cada uno de los cuatro insecticidas estudiados y para cada uno de los cuatro muestreos de fruto (0, 3, 5 y 7 días después de la aplicación de insecticidas) se llevó a cabo la comparación de medias a través de la estadística T de student (con $P \leq 0.05$.) de la concentración de residuos entre los dos invernaderos (Chapingo y Chiconcuac), con el programa SAS (2009).

3.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.5.1 Comportamiento de variables ambientales

3.5.1.1 Temperatura y Humedad relativa

El comportamiento de la temperatura y humedad relativa en el invernadero de Chapingo y Chiconcuac se muestran en la Figura 5. Se observa que la humedad relativa alcanza su mínimo entre las 9:00 am y las 11:00 am con valor de 70%. Y la temperatura mínima se presentó de las 8:00 am a las 9:00 am con valores de 12 a 14 °C y máximas de 24 a 31 °C. Los datos promedio de temperatura y humedad relativa en ambos invernaderos, durante el experimento, se muestran en la Figura 6.

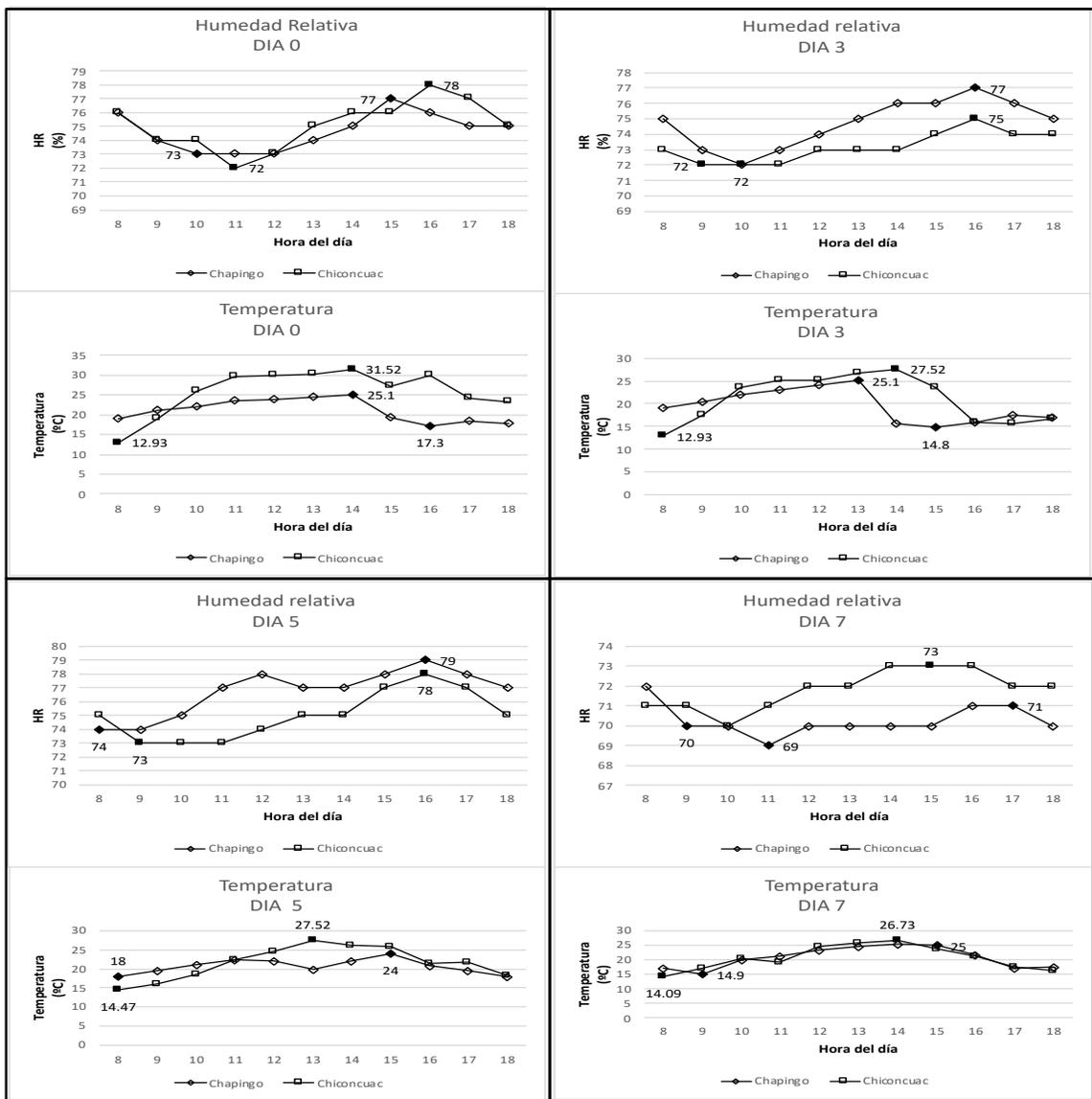


Figura 5. Comparación de los promedios de temperatura y humedad relativa cada hora, de 8:00 hr a 18:00 hr durante los siete días de la colecta de frutos en el estudio de degradación de insecticidas en frutos de chile manzano para exportación (*Capsicum pubescens*) en dos invernaderos (Chapingo y Chiconcuac).

La condición de humedad relativa promedio para el invernadero de Chapingo fue de 72 a 78 % y para Chiconcuac de 70 a 73 %, de acuerdo con Pérez y Castro (2010) el óptimo de humedad relativa para este cultivo se encuentra en el rango de 60 a 80%, por lo que en ambos invernaderos se tuvieron condiciones adecuadas.

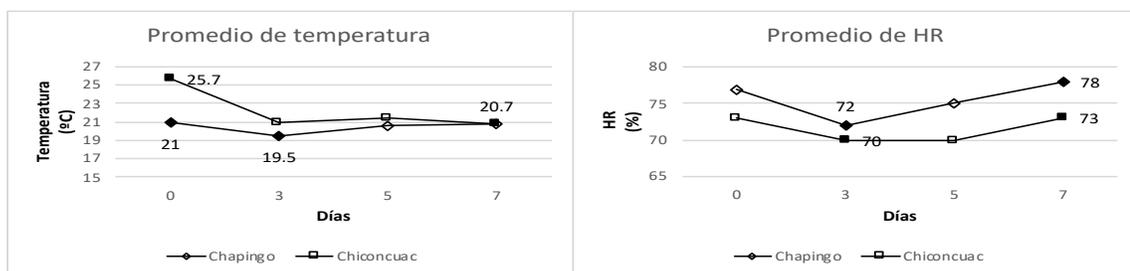


Figura 6. Comparación de los promedios de temperatura y humedad relativa durante siete días en el estudio de degradación de insecticidas en frutos de chile manzano para exportación (*Capsicum pubescens*) en dos invernaderos (Chapingo y Chiconcuac).

3.5.1.2 Radiación total y radiación UV

Los datos en ambos invernaderos de radiación total diaria durante el experimento, se muestran en la Figura 7. En el invernadero de Chapingo fue de 108.5 a 246.3 μmol y para Chiconcuac de 105.7 a 167 μmol . Al respecto, Pérez (2004) indica que la radiación óptima para este cultivo es de 550 μmol a las 12:00 h, de un día soleado en el mes de mayo en la zona oriente del estado de México (Chapingo), cabe aclarar, que durante los siete días de colecta de datos entre las 12:00 a 14:00, hubo presencia de nubes al exterior, esto afectó los valores encontrados para ambos invernaderos.

La radiación UV en el invernadero de Chapingo fue de 0.2 a 0.4 μmol y para Chiconcuac de 6.5 a 14.3 μmol (Figura 7). Estos valores están relacionados con el tiempo de exposición de los plásticos a la radiación. Mientras que en el invernadero de Chiconcuac la cubierta plástica tiene una exposición de cuatro años, en el de Chapingo es de un año. De acuerdo con Espí (2009), la gran mayoría de los materiales plásticos sufren un envejecimiento que lleva asociado una merma en sus propiedades cuando son sometidos durante largos periodos de tiempo a la radiación luminosa.

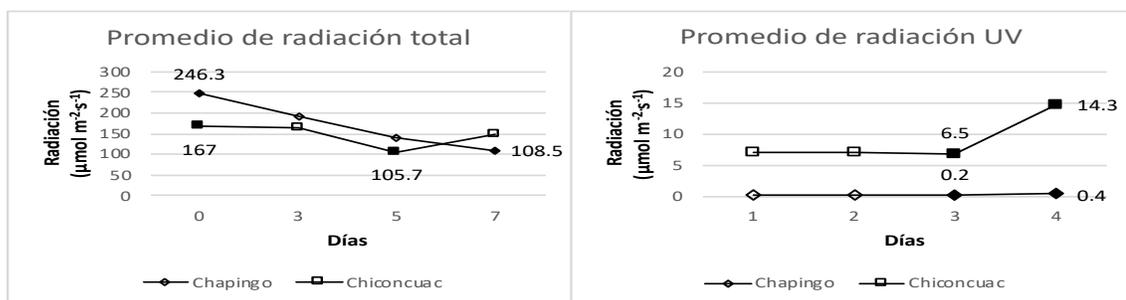


Figura 7. Comparación de los promedios de radiación total y radiación UV durante siete días en el estudio de degradación de insecticidas en frutos de chile manzano para exportación (*Capsicum pubescens*) en dos invernaderos (Chapingo y Chiconcuac).

3.5.1.3 Spinetoram

Después de la aplicación del insecticida Fidato[®], en la Figura 8 se observan los Límites Máximos de Residuos (LMR) de la Agencia de Protección Ambiental (EPA) y la Comisión de Unión Europea (EU), y las concentraciones promedio de la degradación de spinetoram, durante siete días, en los invernaderos de Chapingo y Chiconcuac. Las concentraciones del insecticida spinetoram aplicado al cultivo de chile manzano, a los siete meses después del trasplante, en plena cosecha de frutos, no rebasaron los LMR establecidos por USDA y UE. Por lo que se puede cosechar y exportar los frutos desde el primer día de la aplicación.

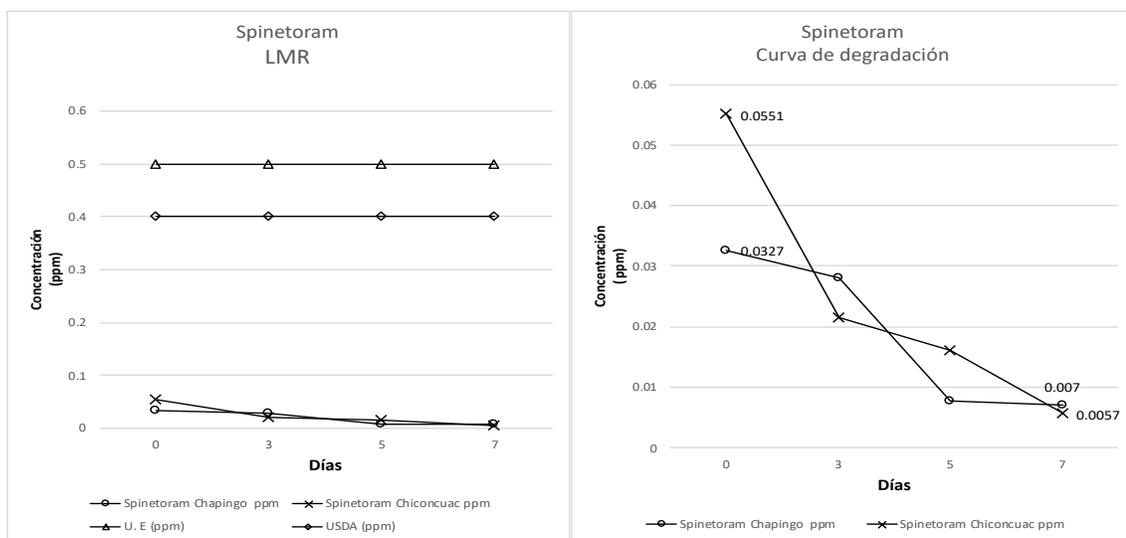


Figura 8. Límites Máximos de Residuos (LMR) de la Agencia de Protección Ambiental (EPA) y la Comisión de Unión Europea (EU), y curva de degradación de spinetoram a los 0, 3, 5 y 7 días después de la aplicación del producto, en el estudio de degradación de insecticidas en frutos de chile manzano para exportación (*Capsicum pubescens*) en dos invernaderos (Chapingo y Chiconcuac).

El resultado del intervalo de seguridad que se analizó en el invernadero de Chiconcuac y Chapingo fue de un día para realizar la cosecha, y cumple con lo establecido por Dow (2015), por lo tanto, cumple con los lineamientos por los LMR para Estados Unidos de América. Al comparar las concentraciones del insecticida spinetoram en el invernadero de Chiconcuac vs Chapingo, en cada muestreo, de acuerdo con el Cuadro 3 de comparación de medias T de student, no existieron diferencias estadísticas significativas.

No obstante, por la condición de mayor temperatura promedio en invernadero de Chiconcuac (25.7 °C), Figura 6, se obtuvo una disminución gradual más rápida del insecticida, a pesar de mayor concentración inicial del producto en Chiconcuac (0.0551 ppm) vs Chapingo (0.0327 ppm). Adicionalmente, existió mayor radiación UV promedio con 14.3 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ en Chiconcuac vs 0.4 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ en Chapingo (Figura 7). La diferencia en la velocidad de degradación puede atribuirse a la mayor cantidad de radiación U. V. ya que de 300 a 400 nm existe mayor degradación de los plaguicidas según Coscolla (1993), así como la degradación de los plásticos de cada invernadero.

Cuadro 3. Comparación de medias t-student del insecticida spinetoram aplicado en el cultivo de chile manzano, en dos invernaderos en el estudio de degradación de plaguicidas en frutos para exportación.

| Invernadero | N | Medias (ppm) | Desviación estándar | Error estándar | Grados de libertad | F- Valor | Pr > F |
|-------------|---|-----------------|------------------------|-------------------|--------------------------|-------------|--------|
| Chapingo | 4 | 0.0184 | 0.0477 | 0.00640 | 3 | 1.85 | 0.6264 |
| Chiconcuac | 4 | 0.0223 | 0.0649 | 0.00870 | | | |

N= Numero de Muestras. Significativo a una $P \leq 0.05$.

3.5.1.4 Sulfoxaflor

En la Figura 9, se observan los Límites Máximos de Residuos (LMR) de la Agencia de Protección Ambiental (EPA) y la Comisión de Unión Europea (EU), y las concentraciones promedio de la degradación de sulfoxaflor, en los invernaderos de Chapingo y Chiconcuac, durante siete días, después de la aplicación del insecticida Fidato®.

Las concentraciones del insecticida sulfoxaflor aplicado al cultivo de chile manzano, a los siete meses después del trasplante, en plena cosecha de frutos, no rebasan los LMR establecidos por EPA y UE. Por lo que se puede cosechar y exportar los frutos desde el primer día de la aplicación.

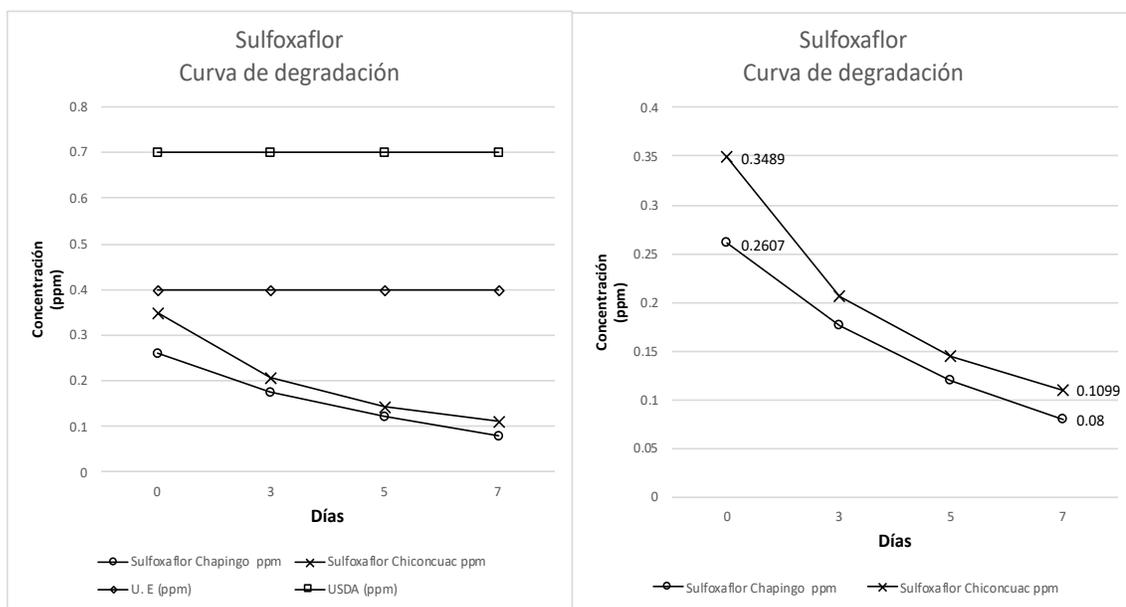


Figura 9. Límites Máximos de Residuos (LMR) de la Agencia de Protección Ambiental (EPA) y la Comisión de Unión Europea (EU), y curva de degradación de sulfoxaflor a los 0, 3, 5 y 7 días después de la aplicación del producto, en el estudio de degradación de insecticidas en frutos de Chile manzano para exportación (*Capsicum pubescens*) en dos invernaderos (Chapingo y Chiconcuac).

El resultado del intervalo de seguridad que se analizó en el invernadero de Chiconcuac y Chapingo fue de un día para realizar la cosecha, y cumple con lo establecido por (Dow, 2015), por lo tanto, cumple con los lineamientos por los LMR para Estados Unidos de América. Al comparar las concentraciones del insecticida sulfoxaflor en el invernadero de Chiconcuac vs Chapingo, en cada muestreo, de acuerdo con el Cuadro 4 de comparación de medias T de student no existieron diferencias estadísticas significativas, no obstante, que por la condición de mayor temperatura promedio en el invernadero de Chiconcuac (25.7 °C) (Figura 6), se obtuvo una disminución gradual más rápida del insecticida, a pesar de mayor concentración inicial del producto con 0.3489 ppm vs 0.2607 ppm en Chapingo. También se observa (Figura 9), que las concentraciones de residuos del sulfoxaflor (en ambos invernaderos) no llegaron a cero, en el séptimo día de muestreo de frutos. Sin embargo las concentraciones son bajas en relación a los LMR de Estados Unidos de América.

Cuadro 4. Comparación de medias t-student del insecticida sulfoxaflor aplicado en el cultivo de chile manzano, en dos invernaderos en el estudio de degradación de plaguicidas en frutos para exportación.

| Invernadero | N | Medias (ppm) | Desviación estándar | Error estándar | Grados de libertad | F-Valor | Pr > F |
|-------------|---|--------------|---------------------|----------------|--------------------|---------|--------|
| Chapingo | 4 | 0.1674 | 0.0742 | 0.0371 | 3 | 1.96 | 0.5933 |
| Chiconcuac | 4 | 0.2021 | 0.1040 | 0.0520 | | | |

N= Numero de Muestras. Significativo a una $P \leq 0.05$.

3.5.1.5. Abamectina

Después de la aplicación del insecticida-acaricida PEXT-18®, durante la etapa de fructificación, en la Figura 10 se observan los Límites Máximos de Residuos (LMR) de la Agencia de Protección Ambiental (EPA) y la Comisión de Unión Europea (EU), y las concentraciones promedio de la degradación de abamectina, en los invernaderos de Chapingo y Chiconcuac, durante siete días. Las concentraciones del insecticida-acaricida abamectina aplicado al cultivo de chile manzano, en plena cosecha se frutos, rebasan los LMR establecidos por la EPA en los primeros tres días para Chiconcuac y a los cuatro días para Chapingo (Figura 10).

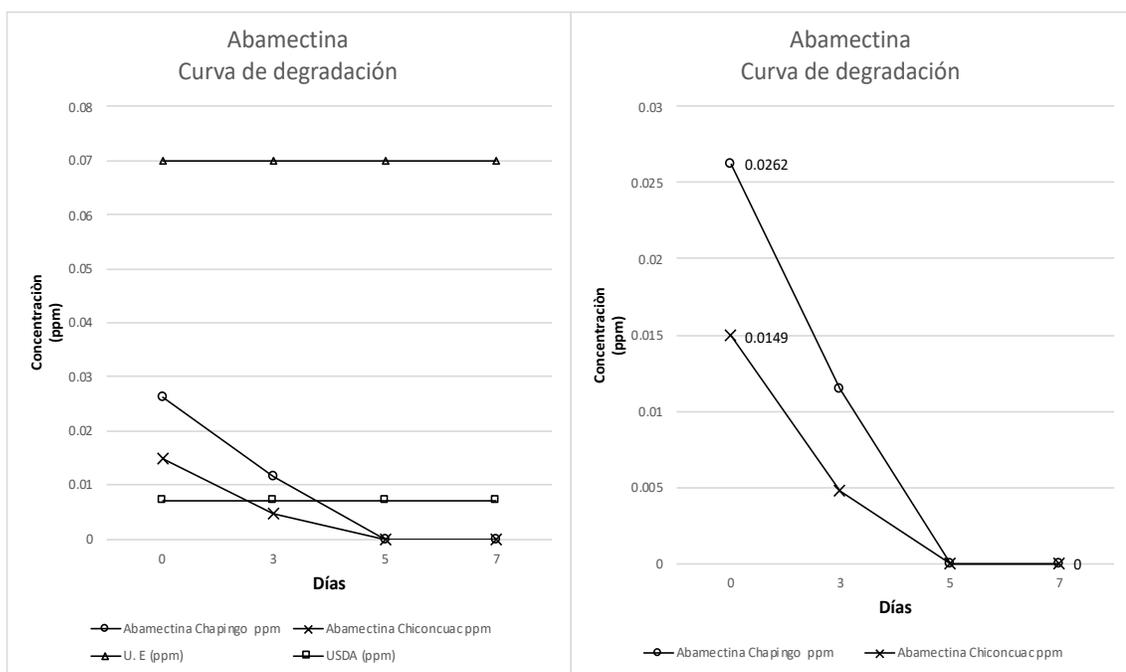


Figura 10. Límites Máximos de Residuos (LMR) de la Agencia de Protección Ambiental (EPA) y la Comisión de Unión Europea (EU), y curva de degradación de abamectina a los 0, 3, 5 y 7 días después de la aplicación del producto, en el estudio de degradación de insecticidas en frutos de chile manzano para exportación (*Capsicum pubescens*) en dos invernaderos (Chapingo y Chiconcuac).

El resultado del intervalo de seguridad que se analizó en el invernadero de Chiconcuac y Chapingo fue de tres días para realizar la cosecha, y cumple con lo establecido por SIFATEC (2009), por lo tanto, cumple con los lineamientos por los LMR para Estados Unidos de América.

En la Figura 10 se observa también que después de la aplicación de abamectina se puede cosechar al tercer día en el caso de Chiconcuac y al quinto día en caso de Chapingo y no se rebasa el LMR para la EPA. Para el caso de UE se puede cosechar a partir del primer día después de la aplicación del producto ya que no rebasa el LMR, no obstante, hasta hoy día no se exporta este tipo de chile a países europeos.

Al comparar las concentraciones del insecticida-acaricida abamectina en el invernadero de Chiconcuac vs Chapingo, en cada muestreo, de acuerdo con el

Cuadro 5 de comparación de medias T de student, no existieron diferencias estadísticas significativas. No obstante, por la condición de mayor radiación solar promedio en Chapingo ($246.3 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) vs Chiconcuac ($167 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) Figura 7, se obtuvo una disminución gradual más rápida del insecticida en el invernadero de Chapingo, a pesar de mayor concentración inicial del producto (0.0262 ppm) vs Chiconcuac (0.0149 ppm). Se observa también que en ambos invernaderos, al quinto día después de la aplicación de abamectina, la degradación de este insecticida fue total. De acuerdo con Nogueira (2007) la degradación pueden ser causadas por la fotólisis directa, con un 39% de eliminación después de una hora de irradiación. Por su parte Kamel, Al-Dosary, Ibrahim, & Asif Ahmed (2007) señalan que la avermectina, el grupo químico a la pertenece la abamectina, también fue degradado por fotólisis directa en el agua natural, después de 22 días de la irradiación solar.

Cuadro 5. Comparación de medias t-student del insecticida-acaricida abamectina aplicado en el cultivo de chile manzano, en dos invernaderos en el estudio de degradación de plaguicidas en frutos para exportación.

| Invernadero | N | Medias (ppm) | Desviación estándar | Error estándar | Grados de libertad | F-Valor | Pr > F |
|-------------|---|--------------|---------------------|----------------|--------------------|---------|--------|
| Chapingo | 4 | 0.00840 | 0.0122 | 0.00611 | 3 | 3.07 | 0.3820 |
| Chiconcuac | 4 | 0.00490 | 0.00698 | 0.00349 | | | |

N= Numero de Muestras. Significativo a una $P \leq 0.05$.

3.5.1.6 Flonicamid

En la Figura 11 se observan los Límites Máximos de Residuos (LMR) de la Agencia de Protección Ambiental (EPA) y la Comisión de Unión Europea (EU), y las concentraciones promedio de la degradación de flonicamid, en los

invernaderos de Chapingo y Chiconcuac, durante ocho días, después de la aplicación del insecticida Beleaf®.

Las concentraciones del insecticida flonicamid aplicado al cultivo de chile manzano, a los siete meses después del trasplante, en la cosecha de frutos, no rebasan los LMR establecidos por la EPA. Sin embargo, para el caso de UE si rebasa el LMR en los primeros tres días después de la aplicación.

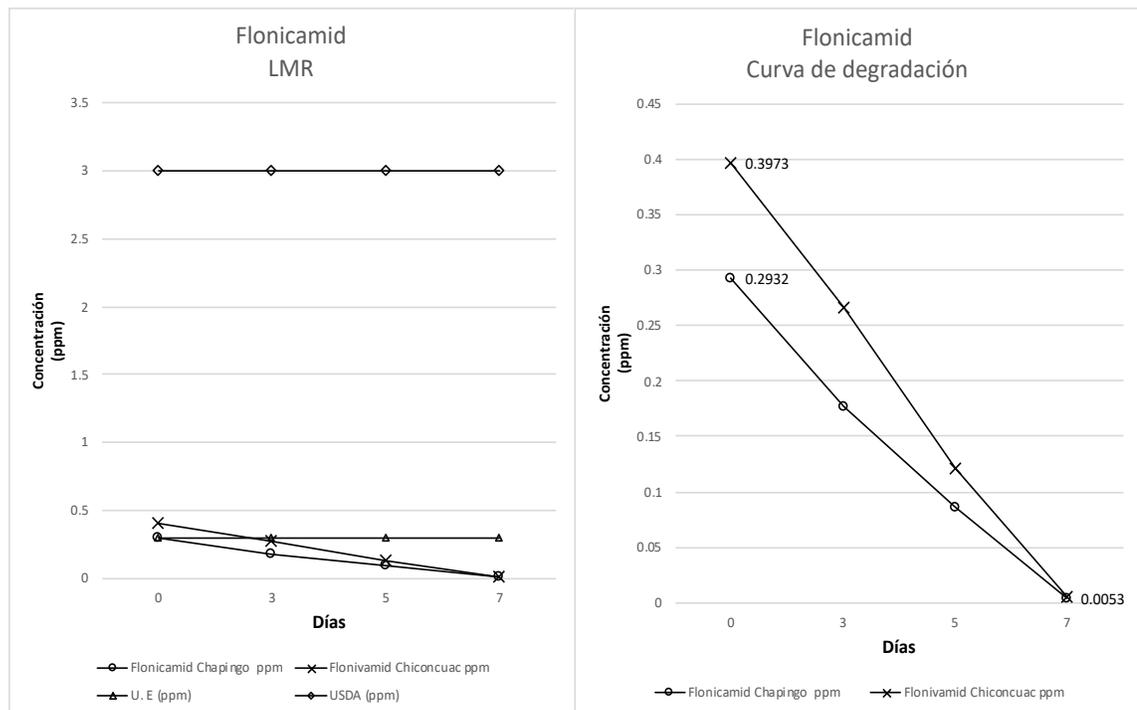


Figura 11. Límites Máximos de Residuos (LMR) de la Agencia de Protección Ambiental (EPA) y la Comisión de Unión Europea (EU), y curva de degradación de flonicamid a los 0, 3, 5 y 7 días después de la aplicación del producto, en el estudio de degradación de insecticidas en frutos de chile manzano para exportación (*Capsicum pubescens*) en dos invernaderos (Chapingo y Chiconcuac).

El resultado del intervalo de seguridad que se analizó en el invernadero de Chiconcuac y Chapingo fue de un día para realizar la cosecha, y cumple con lo establecido por FMC (2017), por lo tanto, cumple con los lineamientos por los LMR para Estados Unidos de América. Al comparar las concentraciones del insecticida flonicamid en el invernadero de Chiconcuac vs Chapingo, en cada muestreo, de acuerdo con el Cuadro 7 de comparación de medias T de student, no existieron diferencias estadísticas significativas. No obstante, por la condición

de mayor radiación UV promedio en Chiconcuac ($14.3 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) vs Chapingo ($0.4 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (Figura 7), se obtuvo una disminución gradual más rápida del insecticida, a pesar de mayor concentración inicial del producto en Chiconcuac (0.3973 ppm) vs Chapingo (0.2932 ppm) (Figura 11). Se observa también que las concentraciones de este insecticida, en ambos invernaderos llegaron a cero al séptimo día después de su aplicación. De acuerdo con Sánchez (2018), en el estudio de foto descomposición de Flonicamida, Quinoxifen y Ciproconazol en aguas mediante fotocátalisis solar a escala de planta piloto, se menciona que en invierno los tiempos de vida de flonicamid fueron más altos en todos los casos. Esto se debe a que la radiación UV acumulada en invierno (UVA+UVB) fue tres veces menor que en verano, estación en la que se llevo a cabo las mediciones de residuos de insecticidas en frutos de chile manzano del presente estudio. El aumento de temperatura favorece las degradaciones de plaguicidas tal como lo mencionan Malato *et al*, (2009), un incremento de la temperatura conlleva a mayor velocidad de las reacciones en el sistema fotocatalítico. Sin embargo, los sistemas fotocatalíticos se activan a través de la luz, no precisan de calentamiento, y por tanto se pueden llevar a cabo a temperatura ambiente.

Cuadro 6. Comparación de medias t-student del insecticida flonicamid aplicado en el cultivo de chile manzano, en dos invernaderos en el estudio de degradación de plaguicidas en frutos para exportación.

| Invernadero | N | Medias (ppm) | Desviación estándar | Error estándar | Grados libertad | de F-Valor | Pr > F |
|-------------|---|--------------|---------------------|----------------|-----------------|------------|--------|
| Chapingo | 4 | 0.1969 | 0.1679 | 0.0839 | | | |
| Chiconcuac | 4 | 0.1175 | 0.0908 | 0.0454 | 3 | 3.42 | 0.3396 |

N= Numero de Muestras. Significativo a una $P \leq 0.05$.

3.6 CONCLUSIONES

Las concentraciones en partes por millón de los insecticidas spinetoram: 0.0327, 0.0281, 0.0077, 0.007; sulfoxaflor: 0.2607, 0.177, 0.1206, 0.08; abamectina: 0.0262, 0.0115, 0, 0; y flonicamid: 0.2932, 0.1774, 0.0865, 0, a los 0, 3, 5 y 7 días de la aplicación, respectivamente, para el invernadero de Chapingo vs el invernadero de Chiconcuac con 0.0551, 0.0216, 0.016, 0.0057 para spinetoram; 0.3489, 0.2068, 0.1443, 0.1099 para sulfoxaflor; 0.0149, 0.0048, 0, 0 para abamectina y 0.3973, 0.2666, 0.1219, 0 para flonicamid, no rebasaron los intervalos de confianza (IC) establecido en la ficha técnica, tampoco los Límites Máximos de Residuos (LMR) de la EPA y el tiempo de degradación (TD) de las moléculas fue más rápida que lo establecido en la ficha técnica respectiva; excepto para abamectina que fue acorde a lo indicado en la etiqueta. Por lo que se recomienda el uso de las cuatro moléculas insecticidas para el control de plagas en el cultivo de chile manzano para exportación. Y no obstante que en el Invernadero de Chiconcuac se presentaron temperaturas promedio y radiación UV promedio mayores que en invernadero de Chapingo, no existieron diferencias estadísticas significativas en el comportamiento de LMR, IC y VD.

3.7. LITERATURA CITADA

- Belfroid, A. C., van Drunen, M., Beek, M. A., Schrap, S. M., van Gestel, C. A. M., & van Hattum, B. (1998). Relative risks of transformation products of pesticides for aquatic ecosystems. *Science of The Total Environment*, 222(3), 167-183. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(98\)00298-8](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(98)00298-8)
- British Standards Institution. (2008). *Foods of plant origin: determination of pesticide residues using GC-MS and/or LC-MS/MS following acetonitrile extraction/partitioning and cleanup by dispersive SPE-QuEChERS-method*. London: British Standards Institution. Recuperado 24 de mayo de 2019, de http://www.chromnet.net/Taiwan/QuEChERS_Dispersive_SPE/QuEChERS_歐盟方法_EN156622008_E.pdf 13/02/2019
- Coscollá, R. (1993), Residuos de plaguicidas en alimentos vegetales. Ediciones Mundi Prensa. Madrid, España, pp. 85-92.
- Desaint, S., Hartmann, A., Parekh, N. R., & Fournier, J.-C. (2000). Genetic diversity of carbofuran-degrading soil bacteria. *FEMS Microbiology Ecology*, 34(2), 173-180. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6941.2000.tb00767.x>
- Dow (Dow Chemical Company), 2015. Down AgroSciences. Hoja de seguridad de Fidato. Recuperado 24 de mayo de 2019, de https://www.dowagro.com/content/dam/hdas/dowagro_mexico/pdfs/FT_1_NS_MEX_Fidato.pdf
- Espí, E. (2009). Invernaderos de plástico. Primera edición. Imprenta Graficas Arias montano, S.A. Madrid España. pp 73-79.
- Fenik, J., Tankiewicz, M., & Biziuk, M. (2011). Properties and determination of pesticides in fruits and vegetables. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 30(6), 814-826. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2011.02.008>
- FMC (FMC Corporation), 2007. Ficha técnica Beleaf. México. Recuperado 26 de mayo de 2019, de FMC website: <http://www.fmcagroquimica.com.mx/producto/beleaf/>
- Barra Caracciolo, A., Bottoni, P., & Grenni, P. (2013). Microcosm studies to evaluate microbial potential to degrade pollutants in soil and water ecosystems. *Microchemical Journal*, 107, 126-130. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2012.05.022>
- Kamel, A., Al-Dosary, S., Ibrahim, S., & Asif Ahmed, M. (2007). Degradation of the acaricides abamectin, flufenoxuron and amitraz on Saudi Arabian dates. *Food Chemistry*, 100(4), 1590-1593. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.01.002>

- Malato, S., Fernández-Ibáñez, P., Maldonado, M. I., Blanco, J., & Gernjak, W. (2009). Decontamination and disinfection of water by solar photocatalysis: Recent overview and trends. *Catalysis Today*, 147(1), 1-59. <https://doi.org/10.1016/j.cattod.2009.06.018>
- Pérez, M., y Castro, R. (2010). El chile manzano. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo. México, pp 135
- Pérez, G. M., González, H. V. A., Peña, L. A., Mendoza, C. M. C., Peña, V. C. Y Sahagún, C. J. (2004). Physiological Characterization of Manzano Hot Pepper (*Capsicum pubescens* R & P) Landraces. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 129(1), 88-92. <https://doi.org/10.21273/JASHS.129.1.0088>
- Pozo, C., O, S., Montes, H., Redondo, J., Ortega, P., Palomino, H., Castillo, G., V.A. González, H. y Livera, M. (1991). Chile (*Capsicum spp*). Avances en el estudio de los recursos Fitogenéticos en México SOMEFI. Chapingo, Mex. pp: 217-238.
- Puente, G. B., Torres, L. E. E., Hernández, E. F., & Abarca, O. R. (2018). Evaluación técnica, financiera y comercial de los sistemas de producción de chile manzano (*Capsicum pubescens* R Y P) en México. *Revista Análisis Económico*, 29(71), 209-219. Recuperado 26 de mayo de 2019, de <http://analiseconomico.azc.uam.mx/index.php/rae/article/view/129/123>
- Quesada, P. I., Javier, J. H., Marie, W. A. y Delmas, H. (2009) Contaminación de las aguas con productos farmacéuticos. Estrategias para enfrentar la problemática. *Revista CENIC Ciencias Biológicas*, 40(3). Recuperado de <http://www.redalyc.org/resumen.oa?id=181221662005>
- SADER (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural), 2013. Chile manzano en invernadero Recuperado 26 de mayo de 2019, de <http://www.sicde.gob.mx/portal/bin/nota.php?accion=buscar¬ald=81263127451b69ce074cac>
- Sánchez, C. (2018). *Fotodescomposición de Flonicamida, Quinoxifen y Ciproconazol en aguas mediante fotocátalisis solar a escala de planta piloto*. Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agroalimentario (IMIDA). pp 52-58. Recuperado de <http://tauja.ujaen.es/jspui/handle/10953.1/8428>
- Sánchez R. A. J. (2002). Plaguicidas y fitosanitarios. Memorias. XIII Congreso Nacional Farmacéutico. Granada, España. 15-18 de octubre, 2002.
- SAS Institute (2009). SAS/STAT® 9.2. Users's Guide Release. Cary, NY: Institute Inc., USA.
- SIFATEC (Empresa especializada en sector agroquímico), 2009. Ficha técnica. Pext 18 CE. México. Recuperado 27 de mayo de 2019, de http://www.tacsa.mx/DEAQ/src/productos/1611_11.htm

4. ANEXOS

4.1 Anexo 1. Límites Máximos de Residuos de Estados Unidos para fruto de Chile

| Active Ingredient | Index Commodity | MRL (ppm) |
|----------------------|-------------------------|-------------|
| Abamectin | Pepper, non-bell | 0.07 |
| Acephate | Pepper, non-bell | 4 |
| Acequinocyl | Pepper, non-bell | 0.7 |
| Acetamiprid | Pepper, non-bell | 0.2 |
| Acibenzolar-S-methyl | Pepper, non-bell | 1 |
| Aldrin | Pepper, non-bell | 0.05 |
| Alpha-Cypermethrin | Pepper, non-bell | 0.2 |
| Ametoctradin | Pepper, non-bell | 1.5 |
| Azoxystrobin | Pepper, non-bell | 3 |
| Benoxacor | Pepper, non-bell | 0.01 |
| Benoxacor | Pepper, non-bell | 0.01 |
| Bensulide | Pepper, non-bell | 0.1 |
| Bentazon | Pepper, non-bell | 0.05 |
| Benzovindiflupyr | Pepper, non-bell | 1.5 |
| Beta-cyfluthrin | Pepper, non-bell | 0.5 |

MRL = Límite Máximo de Residuos

Fuente: Global LMR report. (2018)

Ppm = Partes por millón

Anexo 1. Continuación...

| Active Ingredient | Index Commodity | MRL (ppm) |
|--------------------------|------------------------|------------------|
| Bifenazate | Pepper, non-bell | 4 |
| Bifenthrin | Pepper, non-bell | 0.5 |
| Boscalid | Pepper, non-bell | 3 |
| Buprofezin | Pepper, non-bell | 2 |
| Captan | Pepper, non-bell | 0.05 |
| Carbaryl | Pepper, non-bell | 5 |
| Carfentrazone-ethyl | Pepper, non-bell | 0.1 |
| Chlorantraniliprole | Pepper, non-bell | 1.4 |
| Chlordane | Pepper, non-bell | 0.1 |
| Chlorfenapyr | Pepper, non-bell | 1 |
| Chlorothalonil | Pepper, non-bell | 6 |
| Chlorpyrifos | Pepper, non-bell | 1 |
| Clethodim | Pepper, non-bell | 1 |
| Clomazone | Pepper, non-bell | 0.05 |
| Clothianidin | Pepper, non-bell | 0.8 |
| Cryolite | Pepper, non-bell | 7 |
| Cyantraniliprole | Pepper, non-bell | 2 |
| Cyazofamid | Pepper, non-bell | 0.9 |
| Cyclaniliprole | Pepper, non-bell | 0.2 |
| Cyflufenamid | Pepper, non-bell | 0.2 |

MRL = Límite Máximo de Residuos

Fuente: Global LMR report. (2018)

Ppm = Partes por millón

Anexo 1. Continuación...

| Active Ingredient | Index Commodity | MRL (ppm) |
|--------------------------|------------------------|------------------|
| Cyfluthrin | Pepper, non-bell | 0.5 |
| Cymoxanil | Pepper, non-bell | 0.2 |
| Cyprodinil | Pepper, non-bell | 1.5 |
| Cyromazine | Pepper, non-bell | 1 |
| DDT (DDE, DDD) | Pepper, non-bell | 0.1 |
| Deltamethrin | Pepper, non-bell | 0.3 |
| Diazinon | Pepper, non-bell | 0.5 |
| Dichlormid | Pepper, non-bell | 0.05 |
| Dichlormid | Pepper, non-bell | 0.05 |
| Dieldrin | Pepper, non-bell | 0.05 |
| Difenoconazole | Pepper, non-bell | 0.6 |
| Diflubenzuron | Pepper, non-bell | 1 |
| Dimethoate | Pepper, non-bell | 2 |
| Dimethomorph | Pepper, non-bell | 1.5 |
| Dinotefuran | Pepper, non-bell | 0.7 |
| Diquat dibromide | Pepper, non-bell | 0.05 |
| Eamectin | Pepper, non-bell | 0.02 |
| Esfenvalerate | Pepper, non-bell | 0.5 |
| Ethaboxam | Pepper, non-bell | 0.9 |
| Ethephon | Pepper, non-bell | 30 |

MRL = Límite Máximo de Residuos

Fuente: Global LMR report. (2018)

Ppm = Partes por millón

Anexo 1. Continuación...

| Active Ingredient | Index Commodity | MRL (ppm) |
|--------------------------|-------------------------|------------------|
| Etofenprox | Pepper, non-bell | 5 |
| Etoxazole | Pepper, non-bell | 0.2 |
| Famoxadone | Pepper, non-bell | 4 |
| Fenamidone | Pepper, non-bell | 3.5 |
| Fenbuconazole | Pepper, non-bell | 1 |
| Fenhexamid | Pepper, non-bell | 0.02 |
| Fenpropathrin | Pepper, non-bell | 1 |
| Fenpyroximate | Pepper, non-bell | 0.2 |
| Flonicamid | Pepper, non-bell | 3 |
| Fluazifop-P-butyl | Pepper, non-bell | 1 |
| Fluazinam | Pepper, non-bell | 0.09 |
| Flubendiamide | Pepper, non-bell | 0.6 |
| Fludioxonil | Pepper, non-bell | 0.5 |
| Fluensulfone | Pepper, non-bell | 0.5 |
| Flumioxazin | Pepper, non-bell | 0.02 |
| Fluopicolide | Pepper, non-bell | 1.6 |
| Fluopyram | Pepper, non-bell | 4 |
| Fluoxastrobin | Pepper, non-bell | 1 |
| Flupyradifurone | Pepper, non-bell | 1.5 |
| Flutriafol | Pepper, non-bell | 1 |

MRL = Límite Máximo de Residuos

Fuente: Global LMR report. (2018)

Ppm = Partes por millón

Anexo 1. Continuación...

| Active Ingredient | Index Commodity | MRL (ppm) |
|--------------------------|------------------------|------------------|
| Fluxapyroxad | Pepper, non-bell | 0.7 |
| Fomesafen | Pepper, non-bell | 0.025 |
| Fosetyl-Al | Pepper, non-bell | 0.01 |
| Gamma Cyhalothrin | Pepper, non-bell | 0.2 |
| Glyphosate | Pepper, non-bell | 0.1 |
| Halosulfuron-methyl | Pepper, non-bell | 0.05 |
| Heptachlor | Pepper, non-bell | 0.05 |
| Hexachlorobenzene | Pepper, non-bell | 0.05 |
| Hexythiazox | Pepper, non-bell | 1.5 |
| Imazosulfuron | Pepper, non-bell | 0.02 |
| Imidacloprid | Pepper, non-bell | 1 |
| Indoxacarb | Pepper, non-bell | 0.5 |
| Kasugamycin | Pepper, non-bell | 0.04 |
| Lactofen | Pepper, non-bell | 0.02 |
| Lambda Cyhalothrin | Pepper, non-bell | 0.2 |
| Malathion | Pepper, non-bell | 8 |
| Mancozeb | Pepper, non-bell | 12 |
| Mandipropamid | Pepper, non-bell | 1 |
| Metaflumizone | Pepper, non-bell | 1.5 |
| Metalaxyl | Pepper, non-bell | 1 |
| Metalaxyl-M (Mefenoxam) | Pepper, non-bell | 1 |

MRL = Límite Máximo de Residuos

Fuente: Global LMR report. (2018)

Ppm = Partes por millón

Anexo 1. Continuación...

| Active Ingredient | Index Commodity | MRL (ppm) |
|--------------------------|------------------------|------------------|
| Methamidophos | Pepper, non-bell | 1 |
| Methomyl | Pepper, non-bell | 2 |
| Methoxyfenozide | Pepper, non-bell | 2 |
| Methyl bromide | Pepper, non-bell | 30 |
| Methyl bromide | Pepper, non-bell | 7 |
| Metolachlor | Pepper, non-bell | 0.5 |
| Metrafenone | Pepper, non-bell | 0.9 |
| Myclobutanil | Pepper, non-bell | 4 |
| Naled | Pepper, non-bell | 0.5 |
| Napropamide | Pepper, non-bell | 0.1 |
| Novaluron | Pepper, non-bell | 1 |
| Oxamyl | Pepper, non-bell | 5 |
| Oxathiapiprolin | Pepper, non-bell | 0.5 |
| Oxydemeton-methyl | Pepper, non-bell | 0.75 |
| Paraquat dichloride | Pepper, non-bell | 0.05 |
| Pendimethalin | Pepper, non-bell | 0.1 |
| Pentachloronitrobenzene | Pepper, non-bell | 0.1 |
| Penthiopyrad | Pepper, non-bell | 3 |
| Phosphine | Pepper, non-bell | 0.01 |
| Picoxystrobin | Pepper, non-bell | 0.7 |

MRL = Límite Máximo de Residuos

Fuente: Global LMR report. (2018)

Ppm = Partes por millón

Anexo 1. Continuación...

| Active Ingredient | Index Commodity | MRL (ppm) |
|---------------------------|-------------------------|------------------|
| Propamocarb hydrochloride | Pepper, non-bell | 2 |
| Pydiflumetofen | Pepper, non-bell | 0.6 |
| Pymetrozine | Pepper, non-bell | 0.2 |
| Pyraclostrobin | Pepper, non-bell | 1.4 |
| Pyridalyl | Pepper, non-bell | 1 |
| Pyriproxyfen | Pepper, non-bell | 0.8 |
| Quinoxifen | Pepper, non-bell | 1.7 |
| Sethoxydim | Pepper, non-bell | 4 |
| S-metolachlor | Pepper, non-bell | 0.5 |
| S-metolachlor | Pepper, non-bell | 0.1 |
| Spinetoram | Pepper, non-bell | 0.4 |
| Spinosad | Pepper, non-bell | 0.4 |
| Spiromesifen | Pepper, non-bell | 0.45 |
| Spirotetramat | Pepper, non-bell | 2.5 |
| Spiroxamine | Pepper, non-bell | 1.2 |
| Streptomycin | Pepper, non-bell | 0.25 |
| Sulfentrazone | Pepper, non-bell | 0.15 |
| Sulfoxaflor | Pepper, non-bell | 0.7 |
| Tebuconazole | Pepper, non-bell | 1.3 |
| Tebufenozide | Pepper, non-bell | 1 |

MRL = Límite Máximo de Residuos

Fuente: Global LMR report. (2018)

Ppm = Partes por millón

Anexo 1. Continuación...

| Active Ingredient | Index Commodity | MRL (ppm) |
|--------------------------|------------------------|------------------|
| Tetraconazole | Pepper, non-bell | 0.3 |
| Thiacloprid | Pepper, non-bell | 1 |
| Thiamethoxam | Pepper, non-bell | 0.25 |
| Tolfenpyrad | Pepper, non-bell | 0.7 |
| Trifloxystrobin | Pepper, non-bell | 0.5 |
| Trifluralin | Pepper, non-bell | 0.05 |
| Uniconazole-P | Pepper, non-bell | 0.01 |
| Zeta-Cypermethrin | Pepper, non-bell | 0.2 |

MRL = Límite Máximo de Residuos

Ppm = Partes por millón

Fuente: Global LMR report. (2018)

4.2 Anexo 2. Resultados de las concentraciones de insecticidas, de frutos de chile manzano enviadas al laboratorio.



 Emiliano Zapata No. 10, San Luis Huexotla, Texcoco, Estado de México, C.P. 56250
 01 (595) 92 841 78, 93 139 60  gisenalabs@gisena.com.mx
 www.gisena.com.mx

San Luis Huexotla, Texcoco, Edo. de México a 27 de Septiembre de 2018.

ASUNTO: Reporte de Resultados, de Experimento en Chile Manzano

UNIVERSIDAD AUTONOMA CHAPINGO
ING. JUAN ANTONIO HERNANDEZ VELAZQUEZ.
P R E S E N T E

Por medio del presente; el laboratorio Grupo Integral de Servicios Fitosanitarios ENA, S.A. de C.V., a través del área de Residuos Tóxicos en Vegetales, emite los resultados del experimento: "Degradación de Insecticidas en Frutos de Chile Manzano para Exportación (*Capsicum pubescens*) Bajo Invernadero", que a continuación se describen en el siguiente tabla:

| No. de Identificación | Procedencia de la muestra | Identificación de la muestra | Fecha de muestreo | Recepción de Muestra | Resultados | Concentración | Resultados | Concentración |
|-----------------------|---------------------------|------------------------------|-------------------|----------------------|-------------|---------------|------------|---------------|
| 3923 | Chiconcuac | FIDATO | 24/07/2018 | 24/07/2018 | Sulfoxaflor | 0.2117 | Spinoteram | 0.0167 |
| 3924 | Chiconcuac | BELEAF | 22/07/2018 | 22/07/2018 | Fonicamid | 0.2952 | | |
| 3925 | Chapingo | BELEAF | 24/07/2018 | 24/07/2018 | Fonicamid | 0.2685 | | |
| 3926 | Chapingo | FIDATO | 22/07/2018 | 22/07/2018 | Sulfoxaflor | 0.2869 | Spinoteram | 0.0269 |
| 3927 | Chapingo | PEXT 18 CE | 26/07/2018 | 26/07/2018 | Abamectina | 0 | | |
| 3928 | Chapingo | PEXT 18 CE | 26/07/2018 | 26/07/2018 | Abamectina | 0 | | |
| 3929 | Chapingo | PEXT 18 CE | 22/07/2018 | 22/07/2018 | Abamectina | 0.0272 | | |
| 3930 | Chapingo | FIDATO | 24/07/2018 | 24/07/2018 | Sulfoxaflor | 0.1761 | Spinoteram | 0.0146 |
| 3931 | Chapingo | BELEAF | 26/07/2018 | 26/07/2018 | Fonicamid | 0.1219 | | |
| 3932 | Chiconcuac | FIDATO | 22/07/2018 | 22/07/2018 | Sulfoxaflor | 0.3437 | Spinoteram | 0.0285 |
| 3933 | Chapingo | PEXT 18 CE | 28/07/2018 | 28/07/2018 | Abamectina | 0 | | |
| 3934 | Chapingo | BELEAF | 28/07/2018 | 28/07/2018 | Fonicamid | 0.0063 | | |
| 3935 | Chapingo | PEXT 18 CE | 24/07/2018 | 24/07/2018 | Abamectina | 0.0086 | | |
| 3936 | Chiconcuac | FIDATO | 28/07/2018 | 28/07/2018 | Sulfoxaflor | 0.1034 | Spinoteram | 0.005 |



| | | | | | | | | |
|------|------------|------------|------------|------------|-------------|---------|------------|--------|
| 3937 | Chiconcuac | FIDATO | 24/07/2018 | 24/07/2018 | Sulfoxaflor | 0.2034 | Spinoteram | 0.0217 |
| 3938 | Chapingo | BELEAF | 22/07/2018 | 22/07/2018 | Flonicamid | 0.04377 | | |
| 3939 | Chapingo | BELEAF | 28/07/2018 | 28/07/2018 | Flonicamid | 0.0043 | | |
| 3940 | Chapingo | PEXT 18 CE | 28/07/2018 | 28/07/2018 | Abamectina | 0 | | |
| 3941 | Chiconcuac | PEXT 18 CE | 26/07/2018 | 26/07/2018 | Abamectina | 0 | | |
| 3942 | Chiconcuac | PEXT 18 CE | 26/07/2018 | 26/07/2018 | Abamectina | 0 | | |
| 3943 | Chapingo | PEXT 18 CE | 26/07/2018 | 26/07/2018 | Abamectina | 0 | | |
| 3944 | Chapingo | PEXT 18 CE | 28/07/2018 | 28/07/2018 | Abamectina | 0 | | |
| 3945 | Chiconcuac | PEXT 18 CE | 28/07/2018 | 28/07/2018 | Abamectina | 0 | | |
| 3946 | Chapingo | BELEAF | 24/07/2018 | 24/07/2018 | Flonicamid | 0.266 | | |
| 3947 | Chiconcuac | PEXT 18 CE | 22/07/2018 | 22/07/2018 | Abamectina | 0.0166 | | |
| 3948 | Chiconcuac | PEXT 18 CE | 24/07/2018 | 24/07/2018 | Abamectina | 0.0049 | | |
| 3949 | Chiconcuac | PEXT 18 CE | 26/07/2018 | 26/07/2018 | Abamectina | 0 | | |
| 3950 | Chiconcuac | PEXT 18 CE | 28/07/2018 | 28/07/2018 | Abamectina | 0 | | |
| 3951 | Chapingo | BELEAF | 22/07/2018 | 22/07/2018 | Flonicamid | 0.0402 | | |
| 3952 | Chapingo | BELEAF | 24/07/2018 | 24/07/2018 | Flonicamid | 0.0267 | | |
| 3953 | Chapingo | BELEAF | 26/07/2018 | 26/07/2018 | Flonicamid | 0.1254 | | |
| 3954 | Chapingo | BELEAF | 28/07/2018 | 28/07/2018 | Flonicamid | 0.0053 | | |
| 3955 | Chiconcuac | BELEAF | 22/07/2018 | 22/07/2018 | Flonicamid | 0.2931 | | |
| 3956 | Chiconcuac | BELEAF | 24/07/2018 | 24/07/2018 | Flonicamid | 0.1765 | | |
| 3957 | Chiconcuac | BELEAF | 26/07/2018 | 26/07/2018 | Flonicamid | 0.0865 | | |
| 3958 | Chiconcuac | BELEAF | 28/07/2018 | 28/07/2018 | Flonicamid | 0.0062 | | |
| 3959 | Chiconcuac | FIDATO | 22/07/2018 | 22/07/2018 | Sulfoxaflor | 0.3506 | | 0.0504 |
| 3960 | Chiconcuac | FIDATO | 24/07/2018 | 24/07/2018 | Sulfoxaflor | 0.2075 | | 0.0193 |
| 3961 | Chiconcuac | FIDATO | 26/07/2018 | 26/07/2018 | Sulfoxaflor | 0.1443 | | 0.0178 |
| 3962 | Chiconcuac | FIDATO | 28/07/2018 | 28/07/2018 | Sulfoxaflor | 0.1085 | | 0.0085 |
| 4011 | Chiconcuac | BELEAF | 28/07/2018 | 28/07/2018 | Flonicamid | 0.0042 | | |
| 4012 | Chapingo | PEXT 18 CE | 22/07/2018 | 22/07/2018 | Abamectina | 0.028 | | |
| 4013 | Chapingo | FIDATO | 22/07/2018 | 22/07/2018 | Sulfoxaflor | 0.2563 | Spinoteram | 0.0286 |
| 4014 | Chiconcuac | BELEAF | 24/07/2018 | 24/07/2018 | Flonicamid | 0.1694 | | |
| 4015 | Chiconcuac | BELEAF | 28/07/2018 | 28/07/2018 | Flonicamid | 0.004 | | |
| 4016 | Chiconcuac | FIDATO | 26/07/2018 | 26/07/2018 | Sulfoxaflor | 0.1442 | Spinoteram | 0.0103 |
| 4017 | Chiconcuac | FIDATO | 26/07/2018 | 26/07/2018 | Sulfoxaflor | 0.1445 | Spinoteram | 0.0254 |
| 4018 | Chapingo | PEXT 18 CE | 22/07/2018 | 22/07/2018 | Abamectina | 0.0264 | | |
| 4019 | Chiconcuac | PEXT 18 CE | 22/07/2018 | 22/07/2018 | Abamectina | 0.0134 | | |



| | | | | | | | | |
|------|------------|------------|------------|------------|-------------|---------|------------|--------|
| 4020 | Chiconcuac | PEXT 18 CE | 24/07/2018 | 24/07/2018 | Abamectina | 0.0052 | | |
| 4021 | Chiconcuac | BELEAF | 24/07/2018 | 24/07/2018 | Flonicamid | 0.1836 | | |
| 4022 | Chapingo | FIDATO | 22/07/2018 | 22/07/2018 | Sulfoxaflor | 0.2257 | Spinoteram | 0.0303 |
| 4023 | Chapingo | FIDATO | 28/07/2018 | 28/07/2018 | Sulfoxaflor | 0.0834 | Spinoteram | 0.0074 |
| 4024 | Chiconcuac | PEXT 18 CE | 24/07/2018 | 24/07/2018 | Abamectina | 0.0046 | | |
| 4025 | Chapingo | FIDATO | 26/07/2018 | 26/07/2018 | Sulfoxaflor | 0.1208 | Spinoteram | 0.0073 |
| 4026 | Chiconcuac | FIDATO | 28/07/2018 | 28/07/2018 | Sulfoxaflor | 0.1137 | Spinoteram | 0.0068 |
| 4027 | Chapingo | FIDATO | 24/07/2018 | 24/07/2018 | Sulfoxaflor | 0.1773 | Spinoteram | 0.0416 |
| 4028 | Chapingo | FIDATO | 24/07/2018 | 24/07/2018 | Sulfoxaflor | 0.1767 | Spinoteram | 0.0281 |
| 4029 | Chiconcuac | PEXT 18 CE | 28/07/2018 | 28/07/2018 | Abamectina | 0 | | |
| 4030 | Chiconcuac | BELEAF | 26/07/2018 | 26/07/2018 | Flonicamid | 0.0854 | | |
| 4031 | Chiconcuac | BELEAF | 26/07/2018 | 26/07/2018 | Flonicamid | 0.0877 | | |
| 4032 | Chiconcuac | PEXT 18 CE | 22/07/2018 | 22/07/2018 | Abamectina | 0.0168 | | |
| 4033 | Chapingo | PEXT 18 CE | 24/07/2018 | 24/07/2018 | Abamectina | 0.0118 | | |
| 4034 | Chapingo | PEXT 18 CE | 24/07/2018 | 24/07/2018 | Abamectina | 0.0055 | | |
| 4035 | Chiconcuac | FIDATO | 22/07/2018 | 22/07/2018 | Sulfoxaflor | 0.3575 | Spinoteram | 0.0723 |
| 4036 | Chapingo | BELEAF | 22/07/2018 | 22/07/2018 | Flonicamid | 0.03672 | | |
| 4037 | Chapingo | FIDATO | 28/07/2018 | 28/07/2018 | Sulfoxaflor | 0.0771 | Spinoteram | 0.0066 |
| 4038 | Chapingo | FIDATO | 26/07/2018 | 26/07/2018 | Sulfoxaflor | 0.1207 | Spinoteram | 0.0078 |
| 4039 | Chiconcuac | BELEAF | 22/07/2018 | 22/07/2018 | Flonicamid | 0.2911 | | |
| 4040 | Chapingo | FIDATO | 26/07/2018 | 26/07/2018 | Sulfoxaflor | 0.1206 | Spinoteram | 0.0084 |
| 4041 | Chapingo | BELEAF | 26/07/2018 | 26/07/2018 | Flonicamid | 0.1289 | | |
| 4042 | Chapingo | FIDATO | 28/07/2018 | 28/07/2018 | Sulfoxaflor | 0.0802 | Spinoteram | 0.007 |

Se extiende el siguiente documento para los fines que el interesado convenga.

Sin otro particular me despido y quedando a sus órdenes para cualquier duda o aclaración,

Saludos cordiales.



ATENTAMENTE


Ing. Verónica L. Rivera S.
 Gerente Técnico del área de Residuos Tóxicos en Vegetales

