



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

**RESIDUOS Y CURVAS DE DISIPACIÓN DE  
PLAGUICIDAS EN NOPAL VERDURA [*Opuntia  
ficus-indica* (L.) Mill.], EN MORELOS, MÉXICO**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE  
DOCTOR EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y DESARROLLO  
RURAL**

**P R E S E N T A:**

**IRENE ILIANA RAMIREZ BUSTOS**

**DIRECTOR DE TESIS:**

**DR. VICTOR LÓPEZ MARTÍNEZ**



FACULTAD DE CIENCIAS  
AGROPECUARIAS

**Cuernavaca, Morelos, a 30 de Septiembre de 2018**

**RESIDUOS Y CURVAS DE DISIPACIÓN DE PLAGUICIDAS EN  
NOPAL VERDURA [*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.], EN MORELOS,  
MÉXICO**

Tesis realizada por Irene Iliana Ramírez Bustos, bajo la dirección del comité revisor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**DOCTOR EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y DESARROLLO RURAL  
COMITÉ REVISOR**

Director de Tesis: Dr. Víctor López Martínez

---

Revisor: Dr. Porfirio Juárez López

---

Revisor: Dr. Dagoberto Guillen Sánchez

---

Revisor: Dr. Irán Alía Tejacal

---

Revisor: Dr. Hugo Albeiro Saldarriaga Noreña

---

Revisor: Dr. Ismael Rivera León

---

Revisor: Dr. Daniel Jiménez García

---

Cuernavaca Morelos, a 30 de Octubre del 2018

## **AGRADECIMIENTOS**

Se agradece por su apoyo para realizar el presente trabajo al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el apoyo económico para realizar estudios de posgrado a IIRB (No. 260454), a los productores de nopal verdura de los municipios de Tlayacapan, Totolapan y Tlalnepantla de estado de Morelos, así como al Comité Estatal de Sanidad Vegetal del estado de Morelos (CESVMOR), a través del Ing. Eduardo Martínez Tenango y su equipo de trabajo.

A mi comité revisor, Dr. Víctor López Martínez, Dr. Porfirio Juárez López, Dr. Irán Alía Tejacal, Dr. Dagoberto Guillen Sánchez, Dr. Hugo Albeiro Saldarriaga Noreña, Dr. Daniel Jiménez García, Dr. Ismael Rivera León y Dr. Mario A. Murillo Tovar, por todo su apoyo, paciencia y dedicación.

## DEDICATORIAS

A mis padres Ofelia Bustos Bahena y Ramiro Ramírez Lucas, mis hermanos José Iván Ramírez Bustos, Elvira Ramírez Bustos, mi sobrina Maya Yamilet Rodríguez Ramírez, por su apoyo y comprensión, gracias mama por ti tengo un logro más en la vida.

A mis tutores Dr. Víctor López Martínez, Dr. Porfirio Juárez López, Dr. Irán Alia Tejacal, Dr. Dagoberto Guillen Sánchez, Dr. Hugo Albeiro Saldarriaga Noreña, Dr. Ismael Rivera León y Dr. Mario A. Murillo Tovar, por motivarme en cada momento y permitirme aprender de su experiencia para crecer profesionalmente, he terminado este ciclo de aprendizaje gracias a su apoyo y enseñanzas.

A mis amigos en especial Bélgica Pérez de la O, por sus consejos y acompañamiento en este camino.

## Índice General

<b>1. Introducción General</b> .....	1
<b>2. Objetivos</b> .....	4
2.1. Objetivo General .....	4
2.2. Objetivos Específicos .....	4
<b>3. Hipótesis</b> .....	4
4. Revisión de Literatura .....	5
4. 1. Producción de nopal verdura .....	5
4.2. Principales plagas y enfermedades en el cultivo de nopal verdura .....	5
4.3. Control de plagas y enfermedades en nopal verdura.....	7
4.4. Antecedentes del uso de plaguicidas .....	7
4.5. Metodología para la detección de plaguicidas en vegetales .....	8
5. Literatura citada .....	9
<b>6. Capítulo 1</b> .....	15
Identificación de envases vacíos de plaguicidas en plantaciones de nopal verdura, [ <i>Opuntia ficus-indica</i> (L.) Mill.] (Cactáceae), en Morelos, México.....	15
6.1. Resumen.....	15
6.2. Introducción.....	17
6.3. Materiales y métodos .....	18
6.4. Resultados y discusión.....	19
6.5. Conclusiones.....	25
6.6. Literatura citada .....	26
<b>7. Capítulo 2</b> .....	31
Uso y manejo de agroquímicos en producción de nopal verdura [ <i>Opuntia ficus- indica</i> (L.) Mill.] (Cactácea) en Morelos, México.....	31
7.1. Resumen.....	31
7.2. Introducción.....	33
7.3. Materiales y métodos .....	34
7.4. Resultados y discusión.....	36

7.5. Conclusiones.....	41
7.6. Literatura citada .....	42
<b>8. Capítulo 3</b> .....	<b>47</b>
Monitoreo de plaguicidas en el cultivo de nopal verdura, [ <i>Opuntia ficus-indica</i> (L.) Mill.], Morelos, México.....	47
8.1. Resumen.....	47
8.2. Introducción.....	50
8.3. Materiales y métodos .....	52
8.4. Resultados y discusión.....	55
8.5. Conclusiones.....	60
8.6. Literatura citada .....	61
<b>9. Capítulo 4</b> .....	<b>64</b>
Curvas de disipación de plaguicidas en nopal verdura [ <i>Opuntia ficus-indica</i> (L.) Mill.], en Morelos México.....	64
9.1. Resumen.....	64
9.2. Introducción.....	66
9.3. Materiales y métodos .....	67
9.4. Resultados y discusión.....	70
9.5. Conclusiones.....	74
9.6. Literatura citada .....	75

## Índice de Figuras

<b>Capítulo 3</b> .....	47
Monitoreo de plaguicidas en el cultivo de nopal verdura, [ <i>Opuntia ficus-indica</i> (L.) Mill.], Morelos, México.....	47
Figura 1. Frecuencia de detección de plaguicidas en nopal. ....	59
<b>Capítulo 4</b> .....	64
Curvas de disipación de plaguicidas en nopal verdura [ <i>Opuntia ficus-indica</i> (L.) Mill.], en Morelos México.....	64
Figura 2. Curvas de disipación para el par Malation, en nopal verdura (Dosis máximas y mínimas). ....	72
Figura 3. Curvas de disipación para el par Clorpirifos etil+permetrina, en nopal verdura (Dosis máximas y mínimas). ....	73
Figura 4. Curvas de disipación para el par Clorotalonil, en nopal verdura (Dosis máximas y mínimas). ....	74

## Índice de Cuadros

<b>Capítulo 1</b> .....	15
Identificación de envases vacíos de plaguicidas en plantaciones de nopal verdura, [ <i>Opuntia ficus-indica</i> (L.) Mill.] (Cactaceae), en Morelos, México.....	15
Cuadro 1. Distribución de envases de plaguicidas encontrados en la zona de producción de nopal verdura en Morelos, México.....	19
Cuadro 2. Clasificación de envases de insecticidas abandonados en parcelas de nopal verdura en Morelos, México. ....	21
Cuadro 3. Clasificación de envases de insecticidas/acaricidas abandonados en parcelas de nopal verdura en Morelos, México.....	22
Cuadro 4. Clasificación de envases de herbicidas abandonados en parcelas de nopal verdura en Morelos, México. ....	23
Cuadro 5. Clasificación de envases de fungicidas abandonados en parcelas de nopal verdura en Morelos, México. ....	24
<b>Capítulo 2</b> .....	31
Uso y manejo de agroquímicos en producción de nopal verdura [ <i>Opuntia ficus-indica</i> (L.) Mill.] (Cactácea) en Morelos, México.....	31
Cuadro 1. Características de cumplimiento en productores de nopal verdura.....	37
Cuadro 2. Relación de plaguicidas encontrados en almacenes.....	39
<b>Capítulo 3</b> .....	47
Monitoreo de plaguicidas en el cultivo de nopal verdura, [ <i>Opuntia ficus-indica</i> (L.) Mill.], Morelos, México.....	47

Cuadro 1. Modo de análisis, TR, LDI, LDM, % de recuperación y % de DRS de plaguicidas determinados en nopal.....	57
Cuadro 2. Concentraciones de residuos de plaguicidas observados en el centro de acopio abastecido por productores reconocidos.....	58
<b>Capítulo 4</b> .....	64
Curvas de disipación de plaguicidas en nopal verdura [ <i>Opuntia ficus-indica</i> (L.) Mill.], en Morelos México.....	64
Cuadro 1. Clasificación y características de los agroquímicos utilizados.....	68
Cuadro 2. Tratamientos realizados con tres aplicaciones (ingrediente activo y dosis). .....	68
Cuadro 3. Condiciones de análisis de plaguicidas para la determinación de curvas de disipación. ....	69

## 1. Introducción General

En México, en 2017, la superficie sembrada con nopal verdura [*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. (Cactácea)] fue de 11,583.56 ha con riego o como temporal; el Distrito Federal tuvo 4,337 ha (38 % del total) y Morelos 2,530 ha (22 %), lo cual fue 60 % del cultivo de nopal verdura (SIAP, 2018).

En Morelos, el municipio productor más importante es Tlalnepantla, con cerca de 350 ha y 450 productores registrados (Terán y Alcántara, 2009). En estudios de mercado del Sistema Producto Nopal de 2007 y 2008, se identificó un consumo de nopal verdura de 662,560 y 691,564 toneladas respectivamente, de los que 85% se consumió en fresco, 8% se destinó al consumo industrial y 7% se destinó a la exportación (Financiera Rural, 2011).

Como alimento funcional, los frutos y cladodios del nopal verdura son fuente importante de fibra, hidrocoloides (mucílagos), pigmentos (betalaínas y carotenoides), Ca, K y vitamina C; compuestos muy apreciados para una dieta saludable y como ingredientes para diseñar nuevos alimentos (Sáenz, 2004). Recientemente adquirió importancia en el mercado de exportación, principalmente a los Estados Unidos de Norteamérica, derivado de lo cual, el volumen exportado se incrementó en 128.6 % entre 2000 y 2005; este comportamiento se atribuye al aumento de la población latina y la aceptación de la comida mexicana en este país (Callejas-Juárez *et al.*, 2009).

Se considera que el manejo fitosanitario empleando plaguicidas sintéticos es necesario para aumentar la producción y dar mejor apariencia a todos los productos del campo (Zhang *et al.*, 2007); incluyendo el nopal verdura. Los plaguicidas son sustancias o mezcla de sustancias que se usan de manera intensiva para controlar plagas agrícolas (FAO, 2003), sin embargo, éstos poseen un riesgo potencial (Cortés *et al.*, 2006). Una de las causas más importantes que han alterado el medio ambiente de manera significativa es la acumulación en varios ecosistemas de sustancias de difícil degradación, las aplicaciones continuas del producto incrementan la posibilidad de residualidad al momento de la cosecha (Ferreira *et al.*, 1987).

El Servicio Nacional de Sanidad Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA) reportó en 2007 la presencia de residuos de Paratión metílico, Metamidofós y Ometoato, en nopal verdura de la Central de Abastos. En Abril del 2014, la Food and Drug Administration (FDA) reportó alerta sanitaria por residuos de monocrotofós en nopal verdura procedente de Tlayacapan y Tlalnepantla (FDA, 2014). Los residuos de Ometoato en cantidades bajas en agua, poseen una amenaza a la salud humana debido a su alta toxicidad (Qiang y Tian, 2013); El insecticida organofosforado Metamidofós es un acaricida de acción sistémica, de contacto y con alto poder residual (Wu *et al.*, 2001), es altamente tóxico para el hombre por vía oral, dérmica y por inhalación (Sosa, *et al.*, 2001), con prohibición de uso a nivel mundial al igual que Monocrotofós (Ramírez, *et al.*, 2018). Aunque los beneficios de los plaguicidas son claros en la producción agrícola, es necesario hacer un buen uso y manejo de los mismos, controlando los riesgos que se originan en todas las etapas de producción, transporte, almacenamiento y aplicación; esta última fase es la más importante por los riesgos de contaminación al medio ambiente, así como por los residuos que pueden quedar en los alimentos afectando gravemente la salud humana, a la vez que impiden su comercialización en diferentes mercados (Guerrero, 2003). Los agricultores no cuentan con ropa de protección y manipulan directamente los plaguicidas durante su preparación y aplicación; asimismo, muchas veces no toman medidas preventivas a pesar de conocer los riesgos relacionados (Montoro, *et al.*, 2009).

Los términos “Límite Máximo de Residuos de Plaguicidas” (LMR), “límite de tolerancia”, “cantidades residuales permisibles” o “nivel máximo permisible”, se pueden definir como la concentración máxima de residuos de un plaguicida o sus productos de degradación (metabolitos), o ambos, que se pueden tolerar en los alimentos sin esperar riesgos directos en la salud de los consumidores o en la de subsiguientes generaciones (García-González, 1992). Los LMR se emplean para analizar el contenido en residuos de la muestra final representativa del lote y de la porción de los productos básicos analizados (FAO/OMS, 1976). En caso de que una tolerancia doméstica o tolerancia de importación no se conozca, se deberá cumplir una situación de “cero residuos”, esto significa que ninguna cantidad de un plaguicida químico puede

permanecer sobre el producto hortofrutícola cuando éste es ofrecido para ser embarcado (Ortelli *et al.*, 2004).

En México no existen plaguicidas sintéticos autorizados para su uso en nopal verdura (CICOPLAFEST, 2004). En este caso los productores están obligados a seguir la normatividad promulgada por otros países que regulan los niveles de tolerancia de los contenidos máximos de plaguicidas (LMR) en los productos alimenticios (Ahmed, 2001). Son pocos los estudios realizados en el monitoreo de residuos de plaguicidas en el país, sin embargo, el Centro Nacional de Residuos y Contaminantes (CNRPYC) realiza un monitoreo anual desde 2005 en más de 40 cultivos comerciales, principalmente hortalizas y frutales, en 16 a 19 estados productores de la República Mexicana (Cortés *et al.*, 2006).

Cuando se quiere estudiar la confiabilidad de un producto en particular, el tipo de información que se puede recolectar, son los datos de la disipación física del producto como una función del tiempo (Lu *et al.*, 1997). Si se representa gráficamente la evolución en el tiempo de los residuos presentes en los vegetales tratados, obtenemos las llamadas curvas de degradación, eliminación o disipación de los residuos. Las curvas de disipación de los plaguicidas para cada cultivo permiten conocer cómo va variando el contenido de los residuos en el tiempo y, de este modo, determinar los intervalos de seguridad (FAO, 2009).

Por lo que el objetivo del presente trabajo fue identificar el uso de plaguicidas sintéticos en el cultivo de nopal verdura en Morelos, mediante la aplicación de entrevistas directas a productores; detectando las moléculas más usadas por su eficacia en el control de plagas y enfermedades; y el periodo de disipación en el cultivo; caracterizando así, el riesgo de contaminación química al productor agrícola, consumidor y medio ambiente.

## **2. Objetivos**

### **2.1. Objetivo General**

- ❖ Caracterizar el riesgo de contaminación al medio ambiente, consumidor y trabajador agrícola, por el uso de plaguicidas sintéticos, en el cultivo de nopal verdura [*Opuntia-ficus indica* (L.) Mill.], en Morelos México.

### **2.2. Objetivos Específicos**

- ❖ Colectar y clasificar envases de plaguicidas sintéticos desechados inadecuadamente en parcelas de cultivo de nopal verdura, como indicador de peligros de contaminación.
- ❖ Verificar las condiciones de uso y manejo de plaguicidas en el cultivo de nopal verdura, usando como herramienta la lista de verificación para el reconocimiento de áreas, en Sistemas de Reducción de Riesgos de Contaminación (SRRC), publicada por el Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria. (SENASICA).
- ❖ Realizar un monitoreo de plaguicidas en lotes de nopal verdura al momento de empaque para comercialización, con la finalidad de comparar la eficiencia de la implementación de los Sistemas de Reducción de Riesgos de Contaminación (SRRC).
- ❖ Determinar el periodo de tiempo de disipación, de los principales plaguicidas utilizados en el cultivo de nopal verdura.

## **3. Hipótesis**

El uso inadecuado de plaguicidas agrícolas en el cultivo de nopal verdura, favorece la presencia de peligros químicos por exposición a plaguicidas; contaminando el medio ambiente, poniendo en riesgo la salud del consumidor y el trabajador.

## 4. Revisión de Literatura

### 4.1. Producción de nopal verdura

El centro y sur de México son uno de los lugares de distribución y domesticación más importantes del nopal verdura [*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.] en el continente americano (Nobel, 2002; Griffith, 2004). Los principales estados productores en el país son: Aguascalientes, Baja California, Colima, Distrito Federal, Durango, Estado de México, Jalisco, Morelos y Puebla (SIAP, 2018).

Ésta es una de las cactáceas con una larga historia de domesticación y actualmente es la especie más importante en la economía nacional para la producción de nopal verdura para consumo en fresco (Mann, 1969; Nobel, 2002; Griffith, 2004).

En la época de los 1950s, los productores de Milpa Alta y Distrito Federal, seleccionaron las mejores variedades de sus huertos para plantarlas en sus parcelas agrícolas; así comenzó el sistema de plantaciones comerciales. Actualmente se distinguen dos variantes, sistema tradicional y sistema micro túnel (Blanco-Macías *et al.*, 2009). Existe una gran diversidad de tipos de nopal silvestre y cultivados, y en casi todos los casos, los brotes tiernos son comestibles (Rubén *et al.*, 2008), como alimento funcional, los frutos y cladodios del nopal verdura son fuente importante de fibra, hidrocoloides (mucílagos), pigmentos (betalaínas y carotenoides), calcio, potasio, y vitamina C; compuestos muy apreciados para una dieta saludable y como ingredientes para diseñar nuevos alimentos (Sáenz *et al.*, 2006).

El nopal verdura cultivado se desarrolla mejor en suelos de origen ígneo o calcáreo. Se ha observado que el nopal verdura crece y se desarrolla bien en suelos de textura franca en un 15-20% de arcilla, buena agregación o conformación de terrones, buen drenaje, una profundidad de 40 a 70 centímetros, y sin problemas de salinidad (Blanco *et al.*, 2009).

### 4.2. Principales plagas y enfermedades en el cultivo de nopal verdura

Las plagas de insectos son una de las limitantes bióticas más importantes en la producción de nopal verdura en México; en las dos zonas más importantes de producción, la cochinilla silvestre del nopal verdura, *Dactylopius* spp., (Hemiptera:

Dactylopiidae) y el picudo del nopal, *Metamasius spinolae* (Gyllenhal) (Coleoptera: Curculionidae) son plagas primarias (Vanegas-Rico *et al.*, 2010).

La cochinilla silvestre del nopal verdura causa un daño directo, al succionar la savia para alimentarse, esto ocasiona clorosis en cladodios y frutos, debilita la planta, y puede provocar la caída prematura tanto de frutos y cladodios, además de favorecer la infección por agentes patógenos (Pacheco-Rueda *et al.*, 2011).

El picudo del nopal es una de las plagas de mayor importancia en el norte de Morelos (Rodríguez-Leyva *et al.*, 2012). Las larvas con 25-35 mm de largo realizan galerías en la parte interna de los ejes principales, causando la desintegración de los tejidos del nopal verdura (Tafoya, 2001), los adultos, de 23-36 mm de largo, se localizan de mayo a septiembre, y se alimentan comúnmente de los bordes de pencas tiernas causando un daño adicional, los insectos adultos se presentan en campo durante junio y julio de manera natural se dan altos niveles de emergencia de estos (Cerón-González *et al.*, 2012). Las estrategias del control para *M. spinolae* dependen en gran medida del uso de insecticidas químicos de amplio espectro como Endosulfan, Malatión, y Paratión metílico (Borrego y Burgos, 1986).

La mancha negra del nopal verdura, una enfermedad que causa una severa reducción del área fotosintética y eventualmente la caída total o parcial de las plantas. La vida productiva de una plantación puede reducirse hasta en un 50 % ó más del periodo normal de cultivo (Saéñz *et al.*, 2006). En Tlalnepantla y otros adyacentes la mancha negra detectada en 1990, es la principal causa de la baja productividad y aún de la pérdida total en muchas huertas, se menciona como agente causal a *Colletotrichum gloeosporioides* y a *Fusarium solani* (Quezada-Salinas *et al.*, 2006).

Las condiciones ambientales que lo favorecen son cladodios sombreados, alta humedad relativa y temperatura moderadas (17°C), plantas cultivadas en terrenos planos o en terrazas con baja humedad relativa; la mancha negra en forma de mapa predomina en parcelas localizadas en lomerío con temperaturas frescas y humedad relativa alta (Ochoa, 2012).

### **4.3. Control de plagas y enfermedades en nopal verdura**

Existen pocas alternativas para combatir la cochinilla silvestre del nopal verdura: en poblaciones altas el control químico es mediante el uso de insecticidas organofosforados (Vanegas-Rico, *et al.*, 2010), señalan que los insecticidas más utilizados contra estos insectos son Malatión, Paratión metílico y Triclorfón. Para el combate del picudo se recomienda el control mediante la colecta manual en la temporada de emergencia del adulto, para el control químico los productores usan productos organosintéticos como Azinfós metílico, Endosulfán, Malatión, y Paratión metílico (Borrego *et al.*, 2000). En cuanto a la mancha negra o mancha bacteriana (*Bacterium* sp.) se recomienda su control químico mediante aplicaciones de Agrymicin 500 (Rosas *et al.*, 2009).

### **4.4. Antecedentes del uso de plaguicidas**

El uso de plaguicidas agrícolas en México se establece desde finales del siglo XIX (Albert, 2006), se estimó que en 1995 se utilizaron 54,600 toneladas de plaguicidas, lo que se ha traducido, por una parte, en un beneficio para las áreas agrícola, pecuaria y sanitaria; pero con repercusiones no siempre favorables para el ambiente y la salud humana (Palacios-Nava *et al.*, 1999). La gran diversidad de sustancias químicas que existe en la actualidad, si bien es cierto que ha servido para mejorar significativamente el nivel de vida de la población, también ha ejercido una presión importante sobre el medio ambiente y la salud humana (Tchobanoglous, 1994); este proceso se ha acompañado del inadecuado uso de estos compuestos (Kishi, 2001). La utilización de diversos productos químicos en la producción agrícola para controlar las plagas y enfermedades, así como para disminuir los riesgos y pérdidas de los sistemas agrícolas, ha sido un reto permanente (Sánchez, 2002); otro problema que se presenta por la mala utilización de los plaguicidas es la falta de inocuidad de los productos agrícolas; se debe prevenir la presencia de residuos en los frutos al momento de la cosecha o reducir su cantidad al mínimo posible, maximizando los plazos de seguridad y disminuyendo el uso de tratamientos muy cercanos a la cosecha y en la poscosecha (Skidmore y Ambrus, 2003).

La Ley General de Salud define plaguicida como: “cualquier sustancia o mezcla de sustancias que se destinan a controlar cualquier plaga, así como las sustancias

defoliantes y las desecantes” (DOF, 2011: artículo 278); pueden clasificarse de acuerdo al organismo que controlan, al modo en el cual actúan, a los usos a los que están destinados o a su composición química (Ortíz *et al.*, 2013). Los plaguicidas se consideran como residuos, de acuerdo a la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR) cuando son materiales o productos cuyo propietario o poseedor desecha y que se encuentran en estado sólido o semisólido, líquido o gaseoso y que se contienen en recipientes o depósitos; por lo que requieren sujetarse a tratamiento o disposición final conforme a lo dispuesto en la misma Ley (DOF, 2003).

#### **4.5. Metodología para la detección de plaguicidas en vegetales**

La cuantificación de plaguicidas en productos frescos supone por lo general dos etapas: extracción y limpieza de la muestra y separación en columna cromatográfica, con la posibilidad de utilizar diversas técnicas de detección (Fenik *et al.*, 2011). En 2003 buscando superar todos los inconvenientes prácticos de los métodos multiresiduo existentes de la época y aprovechando la selectividad de los espectrómetros de masas, se introdujo una nueva metodología de análisis de residuos de plaguicidas en material vegetal, denominada QuEChERS (acrónimo en inglés de Quick, Easy, Cheap, Effective, Rugged, y Safe) (Anastassiades, 2003). En esta técnica se emplea para la extracción acetonitrilo, sulfato de magnesio ( $MgSO_4$ ) y el cloruro de sodio ( $NaCl$ ), seguido de la limpieza mediante extracción en fase sólida dispersiva (Tuzimski, 2014). Para la determinación final, la cromatografía de gases con columna capilar acoplada a un detector de espectrometría de masas (GC-MS) y líquidos adaptada a espectrometría de masas, es la más utilizada para la detección, identificación y cuantificación de residuos de plaguicidas en muestras de productos frescos (Walorczyk, 2014).

## 5. Literatura citada

- Albert LA. 2006. Panorama de los plaguicidas en México. *RETEL Revista de toxicología en línea* 8: 1-17.
- Anastassiades M, Lehotay SJ, Štajnbaher D, Schenck FJ. (2003). Fast and easy multiresidue method employing acetonitrile extraction/partitioning and “dispersive solid-phase extraction” for the determination of pesticide residues in produce. *Journal of AOAC International* 86(2): 412-431.
- Ahmed FE. 2001. Analyses of pesticides and their metabolites in foods and drinks. *TRAC Trends in Analytical Chemistry* 20: 649-661.
- Borrego, J., Rodriguez, M. T., Martin, J., Chavez, J., Cabello, F., & Ibañez, J. (2000). Characterisation of the most important Spanish grape varieties through isozyme and microsatellite analysis. In *International Symposium on Molecular Markers for Characterizing Genotypes and Identifying Cultivars in Horticulture* 546 ( 371-375).
- Borrego E y Burgos V (1986). *El Nopal*. Editorial Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buena Vista Saltillo México, 202.
- Blanco-Macías F, Valdez-Cepeda RD, Vázquez-Alvarado RE, Almaguer-Sierra P. (2009). Establecimiento y manejo de nopalito para verdura. VII Simposium-Taller “Producción y Aprovechamiento del Nopal en el Noreste de México”. *Revista Salud Pública y Nutrición (RESPYN)*. Edición Especial 2: 1-17.
- Callejas-Juárez, N., Matus-Gardea, J. A., García-Salazar, J. A., Martínez-Damián, M. Á., & Salas-González, J. M. (2009). Situación actual y perspectivas de mercado para la tuna, el nopalito y derivados en el Estado de México, 2006. *Agrociencia*, 43(1), 73-82.
- Cerón-González, C., Rodríguez-Leyva, E., Lomeli-Flores, J. R., Hernández-Olmos, C. E., Peña-Martínez, R., & Mora-Aguilera, G. (2012). Evaluación de insecticidas sintéticos sobre adultos de *Metamasius spinolae* (Coleoptera: *Curculionidae*) procedentes de Tlalnepantla, Morelos. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 3(2), 217-229.

- Comisión Intersecretarial para el Control del Proceso y Uso de Plaguicidas, Fertilizantes y Sustancias Tóxicas, (CICOPLAFEST). (2004). Catálogo de Plaguicidas. México, D. F, 1.
- Cortés, J. M., Sánchez, R., Díaz-Plaza, E. M., Villén, J., & Vázquez, A. (2006). Large volume GC injection for the analysis of organophosphorus pesticides in vegetables using the through oven transfer adsorption desorption (TOTAD) interface. *Journal of agricultural and food chemistry*, 54(6), 1997-2002.
- Diario Oficial de la Federación (DOF). (2011). Ley General de Salud. Última reforma 07 Junio de 2011.
- Diario Oficial de la de la Federación (DOF). (2003). Ley general para la prevención y gestión integral de los residuos. Publicada el 8 de octubre del 2003.
- Fenik, J., Tankiewicz, M., y Biziuk, M. (2011). Propiedades y determinación de pesticidas en frutas y vegetales. *TRAC Trends in Analytical Chemistry*, 30 (6), 814-826.
- Ferreira, JR, Falcao, MM, y Tainha, A. (1987). Residuos de Dimetoato y Ometoato en melocotones y manzanas después de aplicaciones repetidas de Dimetoato. *Revista de química agrícola y de alimentos*, 35 (4), 506-508.
- Financiera Rural (FR). 2011. Monografía del nopal y la tuna. Dirección General Adjunta de Planeación Estratégica y Análisis Sectorial (consultado enero, 2017). [http://www.financierarural.gob.mx/informacionsectorrural/Documents/Monografias/MonografiaNopal-Tuna\(jul11\).pdf](http://www.financierarural.gob.mx/informacionsectorrural/Documents/Monografias/MonografiaNopal-Tuna(jul11).pdf)
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), (2003). Código Internacional de conducta para la distribución y utilización de plaguicidas. Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación. Roma, 40.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2009). Trabajo 145 de la División de Producción y Protección Vegetal, 1.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). World health organization. (OMS), (1976). Informe de la Reunión Conjunta de 1975 del Grupo de Trabajo de Expertos de la FAO sobre Residuos de Plaguicidas y del

- Comité de Expertos de la OMS en Residuos de Plaguicidas, colección FAO: Producción y protección vegetal No. 1. Serie de informes técnicos 592 p. 1-58.
- Food and Drug Administration (FDA) (2014). Alertas sanitarias en productos alimenticios, 5.
- García-González JE. 1992. Límites máximos de residuos de plaguicidas en productos alimenticios de origen vegetal. *Agronomía Costarricense* 16(2): 153-162.
- Guerrero, J. A. (2003). Estudio de residuos de plaguicidas en frutas y hortalizas en áreas específicas de Colombia. *Agronomía Colombiana*, 21(3), 198-209.
- Griffith, MP (2004). Los orígenes de un importante cultivo de nopal, *Opuntia ficus-indica* (Cactaceae): nueva evidencia molecular. *American Journal of Botany*, 91 (11), 1915-1921.
- Kishi, M. (2001). International pesticide use. Introduction. *Int J Occup Environ Health*, 7(4), 259-265.
- Límites de tolerancia para pesticidas (2014). Recuperado el 20 de noviembre del 2014, de [www.eppa.gov/pesticides/regulating/tolerances-sp.html](http://www.eppa.gov/pesticides/regulating/tolerances-sp.html).
- Lu, JC, Park, J., y Yang, Q. (1997). Inferencia estadística de una distribución de tiempo hasta fallas derivada de datos de degradación lineal. *Technometrics*, 39 (4), 391-400.
- Mann, J. (1969). Cactus-feeding insects and mites. United States National Museum Bulletin 256. Smithsonian Institution, Washington, DC, USA. 3:188
- Nobel, P. S. (Ed.). (2002). *Cacti: biology and uses*. University California Press, Berkeley, California.
- Montoro, Y., Moreno, R., Gomero, L., & Reyes, M. (2009). Características de uso de plaguicidas químicos y riesgos para la salud en agricultores de la sierra central del Perú. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 26(4), 466-472.
- Ochoa, M. J. Mancha Negra (2012). "*Pseudocercospora opuntiae*": una importante enfermedad en plantaciones de opuntias (tunas) para fruta, forraje y nopalitos. *CACTUSNET*, 63.

- Ortelli, D., Edder, P., & Corvi, C. (2004). Multiresidue analysis of 74 pesticides in fruits and vegetables by liquid chromatography–electrospray–tandem mass spectrometry. *Analytica Chimica Acta*, 520(1-2), 33-45.
- Ortíz, I., Ávila-Chávez, M. A., & Torres, L. G. (2013). Plaguicidas en México: usos, riesgos y marco regulatorio. *Revista Latinoamericana de Biotecnología Ambiental y Algal* 4(1): 1-21.
- Pacheco-Rueda, I., Lomelí-Flores, J. R., Rodríguez-Leyva, E., & Ramírez-Delgado, M. (2011). Ciclo de vida y parámetros poblacionales de *Symphorobius barberi* Banks (Neuroptera: *Hemerobiidae*) criado con *Dactylopius opuntiae* Cockerell (Hemiptera: Dactylopiidae). *Acta zoológica mexicana*, 27(2), 325-340.
- Palacios-Nava M.E., Paz-Román P., Hernández-Robles S. y Mendoza-Alvarado L. (1999). Sintomatología persistente en trabajadores industrialmente expuestos a plaguicidas organofosforados. *Salud Pública Méx.* 41, 55-61.
- 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.
- Qiang, Z., Ling, W., & Tian, F. (2013). Kinetics and mechanism for Omethoate degradation by catalytic ozonation with Fe (III)-loaded activated carbon in water. *Chemosphere*, 90(6), 1966-1972.
- Quezada Salinas, A., Sandoval Islas, J. S., Alvarado Rosales, D., & Cárdenas Soriano, E. (2006). Etiología de la mancha negra del nopal (*Opuntia ficus-indica* Mill) en Tlalnepantla, Morelos, México. *Agrociencia*, 40(5).
- Ramírez-Bustos, I. I., Martínez, V. L., Juárez-López, P., Guillén-Sánchez, D., Alia-Tejacal, I., Rivera-León, I., & Jiménez-García, D. (2018). Identificación de envases vacíos de plaguicidas en plantaciones de nopal verdura, *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. (Cactaceae), en Morelos, México. *Acta Agrícola y Pecuaria*, 4(1), 18-25.
- Rodríguez-Leyva, E., Lomelí-Flores, J. R., Romero-Nápoles, J., & Valdez-Carrasco, J. M. (2012). *Bothriдерes cactophagi* Schwarz (Coleóptera: *Bothriдерidae*),

- parasitoide del picudo del nopal en México. *Acta zoológica mexicana*, 28(1), 218-221.
- Rosas, M., Contreras, E. R., López, M. E. C., Estrada, M. E. L., & Martínez, M. (2009). Diagnóstico de plagas y enfermedades en nopal verdura (*Opuntia ficus-indica* L.) en Tlalnepantla, Morelos. (Primera parte).
- Rubén, M. D., Fabián, R. C., & Leonel, G. C. R. (2008). Tecnología de producción de nopal verdura para el noroeste de Sonora.
- Sáenz, C. (2004). Compuestos funcionales y alimentos derivados de *Opuntia spp.* El Nopal, Tópicos de actualidad. Universidad Autónoma de Chapingo, México, 211-222.
- Sáenz, C., & Berger, H. (2006). Utilización agroindustrial del nopal (Vol. 162). Food & Agriculture Org.
- Saézn H. C. Esparza F. G., R. D. Valdez C., y G. Méndez S. (2006). Compuestos funcionales y alimentos derivados de *Opuntia spp.* El Nopal. Tópicos de Actualidad. Colegio de Postgraduados, Universidad Autónoma de Chapingo. México, 211-221.
- Sánchez R. A. J. (2002). Plaguicidas y fitosanitarios. Memorias. XIII Congreso Nacional Farmacéutico. Granada, España. 15-18 de octubre, 2002.
- Servicio Nacional de Sanidad Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA) (2017). Procedimiento por el que se establecen los Criterios y requisitos para el reconocimiento de la competencia técnica de Laboratorios de análisis de residuos de plaguicidas, de detección de organismos patógenos y otros contaminantes en vegetales, 26:27.
- Sosa-Gómez, D. R., Corso, I. C., & Morales, L. (2001). Insecticide resistance to endosulfan, monocrotophos and metamidophos in the neotropical brown stink bug, *Euschistus heros* (F.). *Neotropical Entomology*, 30(2), 317-320.
- Skidmore, M. W., & Ambrus, Á. (2003). Pesticide metabolism in crops and livestock. *Pesticide residues in food and drinking water: human exposure and risks*, 63-120.

- Tafoya, F. (2001). Manejo del picudo del nopal *metamasius spinolae* (coleóptera: *curculionidae*) con feromonas. Trampas y atrayentes en detección, monitoreo y control de plagas de importancia económica, 27.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, (SIAP), (2018). Anuario agrícola. 1997-2007. México. En línea: <https://www.gob.mx/siap>. Fecha de consulta: junio-agosto 2018).
- Tchobanoglous, G.; Theisen, H.; Vigil, S. (1994). Gestión integral de residuos sólidos. Madrid: McGraw Hill volumen 1, 1-107.
- Terán-Varela, O. M., & Alcántara Hernández, B. D. (2009). Estrategias de comercialización para los productores de nopal verdura. Instituto Politécnico Nacional (IPN). 19 p. <http://cocytch.hidalgo.gob.mx/descargables/ponencias/Mesa%20I/9.pdf>.(consultado mayo, 2016).
- Tuzimski T.(2014). New trends in pesticide residue analysis in various sample matrixes. *Journal of AOAC International* 97(4): 963-964.
- Vanegas-Rico, J. M., Lomeli-Flores, J. R., Rodríguez-Leyva, E., Mora-Aguilera, G., & Valdez, J. M. (2010). Enemigos naturales de *Dactylopius opuntiae* (Cockerell) en *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller en el centro de México. *Acta zoológica mexicana*, 26(2), 415-433.
- Walorczyk S. (2014). Validación y uso de un método de espectrometría de masas en tándem cromatográfico de gas basado en QuEChERS para el análisis de plaguicidas multiresiduos en grosellas negras, incluidos los estudios de los efectos de la matriz y la estimación de la incertidumbre de la medición. *Talanta* 120: 106-113.
- Wu, M. L., Deng, J. F., Tsai, W. J., Ger, J., Wong, S. S., & Li, H. P. (2001). Food poisoning due to methamidophos-contaminated vegetables. *Journal of Toxicology: Clinical Toxicology*, 39(4), 333-336.
- Zhang, Z. Y., Liu, X. J., Yu, X. Y., Zhang, C. Z., & Hong, X. Y. (2007). Pesticide residues in the spring cabbage (*Brassica oleracea* L. var. capitata) grown in open field. *Food Control*, 18(6), 723-730.

## 6. Capítulo 1

### Identificación de envases vacíos de plaguicidas en plantaciones de nopal verdura, [*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.] (Cactácea), en Morelos, México<sup>1</sup>

Empty pesticide containers in prickly pear cactus, *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.  
(Cactaceae), from Morelos state, Mexico

Irene Iliana Ramírez-Bustos, Víctor López-Martínez, Porfirio Juárez-López, Dagoberto Guillén-Sánchez, Irán Alia-Tejacal, Ismael Rivera-León, Hugo Albeiro Saldarriaga-Noreña, Daniel Jiménez-García

#### 6.1. Resumen

Los envases de plaguicidas vacíos desechados inadecuadamente, representan un peligro de contaminación química en la producción de alimentos. Por lo que con la finalidad de determinar si los envases de plaguicidas son manejados de manera inapropiada en la región productora de nopal verdura, [*Opuntia-ficus indica* (L.) Mill.] (Cactácea), en Morelos, México; se realizaron recorridos en los municipios de Tepoztlán, Tlalnepantla, Tlayacapan y Totolapan, para coleccionar, identificar, contabilizar y clasificar envases. Se determinó la presencia de 729 envases en 227 puntos de muestreo, con incidencia mayor en Tlalnepantla; los envases se clasificaron como insecticidas, insecticidas/acaricidas, herbicidas, fungicidas, y bactericidas. Se determinaron plaguicidas altamente y extremadamente peligrosos (organofosforados), y/o con prohibición de uso a nivel mundial (metamidofós, monocrotofós). Ninguno de los insumos fitosanitarios encontrados contó con autorización oficial para uso en el cultivo. En la producción de nopal verdura de Morelos, no se realiza el desecho

---

<sup>1</sup> Este capítulo fue publicado en la revista Acta Agrícola y Pecuaria:

Ramírez-Bustos II, López-Martínez V, Juárez-López P, Guillén-Sánchez D, Alia-Tejacal I, Rivera-León I, Saldarriaga-Noreña HA, Jiménez-García D. 2018. Identificación de envases vacíos de plaguicidas en plantaciones de nopal verdura, *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. (Cactácea), en Morelos, México. Acta Agrícola y Pecuaria 4(1): 18-25. <https://doi.org/10.30973/aap/2018.4.1/3>

adecuado de envases de plaguicidas, lo que representa peligro de contaminación química al trabajador agrícola, al consumidor final y al medio ambiente.

**Palabras clave:** Inocuidad, reducción de riesgos, organofosforados, organoclorados, glifosato.

### **Abstract**

Inadequately discarded empty pesticide containers, represents a chemical contamination risk in vegetable food production. With the objective to determine if empty pesticide containers are incorrectly manipulated in the prickly pear cactus [*Opuntia ficus indica* (L.) Mill.], (Cactaceae) production region from Morelos, Mexico; surveys were conducted in the municipalities of Tepoztlan, Tlalnepantla, Tlayacapan, and Totolapan. 729 empty pesticide containers in 227 sampling points were detected, major incidence occurred in Tlalnepantla; and were classified as insecticides, insecticides/acaricides, herbicides, fungicides, and bactericides. Highly and extremely dangerous (organophosphorates), and/or banned worldwide (metamidophos, monocrotophos) were observed. All phytosanitary supplies determined in this study are officially accepted for its use in prickly pear cactus crop. In local prickly pear cactus commercial area, pesticides containers are improperly discarded, increasing chemical contamination risk for agricultural workers, final consumers, and environment.

**Key words:** Food safety, risks reduction, organophosphates, organochlorines, glifosate.

## 6.2. Introducción

El nopal verdura, [*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.] (Cactácea), es uno de los principales elementos de la dieta del consumidor mexicano con alto valor nutritivo (Stintzing y Carle 2005). En 2017, se cultivaron 12,620.4 ha en 26 estados de la República Mexicana, con un volumen de 810,938.99 t (SIAP 2018). El 30.94 % de la superficie cultivada nacional (3,905 ha) y el 45.35 % (367,826 t) del volumen total se producen en cuatro municipios del estado de Morelos (Tepoztlán, Tlalnepantla, Tlayacapan y Totolapan) (SIAP, 2018).

En este cultivo, el uso de plaguicidas sintéticos es la técnica más empleada para el control de poblaciones de insectos plaga (Aldana *et al.*, 2008; Cerón-González *et al.*, 2012); muchos de éstos representan efectividad alta para el control de plagas (Cano y Mendoza 2017). El uso inapropiado de estos insumos representa la posibilidad de presencia de residuos en el cultivo (Aldana *et al.*, 2008; Ángeles-Núñez *et al.*, 2014), lo que provoca altos costos económicos, contaminación ambiental, disminución de organismos benéficos y especies silvestres, intoxicaciones, efectos negativos sobre aplicadores y personas relacionadas con el manejo de plaguicidas (Gutiérrez-Ramírez *et al.*, 2013).

El buen uso y manejo seguro de plaguicidas en México recomienda la eliminación apropiada de los envases de insumos fitosanitarios, con la responsabilidad compartida de los integrantes en la producción (FAO, 2008) en los procedimientos recomendados: selección de productos autorizados y vigentes; transporte y almacenamiento adecuados; calibración de equipos de aspersión, manejo de caldos sobrantes, y manejo adecuado de envases vacíos son los más importantes (O'Connor 2000). Debe considerarse que un envase vacío nunca podrá limpiarse por completo, por lo que debe eliminarse mediante procedimientos que garanticen su inutilización ya que los residuos presentes en el contenedor son fuente potencial de contaminación (FAO, 2006).

Por lo anteriormente expuesto, el objetivo del presente trabajo fue documentar la presencia de envases de insumos fitosanitarios en la región productora de nopal verdura en Morelos, México, con la finalidad de identificar, contabilizar y clasificar los envases, en relación con los peligros que representan para la salud del trabajador agrícola, el consumidor y el medio ambiente.

### 6.3. Materiales y métodos

**Lugar de estudio.** Se realizaron recorridos de enero a diciembre de 2016, en zonas de producción de nopal verdura en los municipios de Tepoztlán, Tlalnepantla, Tlayacapan y Totolapan, estos se encuentran ubicados al noroeste y centro del estado de Morelos; cuentan con un clima templado-subhúmedo con una temperatura promedio de 16° C y precipitación pluvial promedio de 913 milímetros al año (INAFED, 2010). Las parcelas fueron seleccionadas al azar y se visitaron una vez durante el período de muestreo.

Durante los recorridos se inspeccionaron visualmente las parcelas cada tres surcos hasta finalizar la plantación. Se geoposicionó el punto de colecta para su identificación por cada envase o grupo de envases encontrados con un sistema de posicionamiento global Mapsource® Cartography (Garmin®, Olathe, USA). Los envases detectados se manipularon con equipo de protección (guantes de plástico, mascarilla con filtros de carbón activado y lentes de protección), almacenados temporalmente en bolsas transparentes de plástico (1.0 x 0.50 m) y transportados al centro de acopio temporal, ubicado en la localidad de Xalostoc, Municipio de Ayala, Estado de Morelos. Se documentó la existencia de envases con fotografía mediante cámara digital (Sony®, Cyber shot, modelo W320) y se clasificaron de acuerdo con el grupo de plaguicidas al que pertenecían.

**Clasificación de agroquímicos.** La clasificación se realizó a partir de la información presente en la etiqueta del envase de acuerdo al modo de acción, grupo químico, ingrediente activo, nombre comercial, clasificación toxicológica y vigencia. Para insecticidas, se consideró lo propuesto por Sparks y Nauen (2015); para herbicidas, lo indicado por el comité de resistencia a herbicidas, y para fungicidas, lo señalado por el comité de resistencia a fungicidas, consultado en la página de la Fungicide Resistance Action Committee (FRAC, 2017). La clasificación por categoría toxicológica y vigencia de los agroquímicos se basó en lo propuesto por la Organización Mundial de la Salud (WHO, 2010). Se consultaron los registros sanitarios de los insumos, autorizados por la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS, 2017).

## 6.4. Resultados y discusión

**Distribución de envases.** Se ubicaron 227 puntos en la zona de estudio con un total de 729 envases, considerando la superficie por municipio: Tlalnepantla (2,802 ha), Totolapan (548 ha), Tlayacapan (505 ha) y Tepoztlán (50 ha) (SIAP, 2018). Coincide de mayor a menor el número de envases encontrados y puntos de colecta realizados (Cuadro 1), por lo que podemos inferir que éste dependió de la superficie en producción del cultivo. Productores con conocimientos o capacitación reducida en el buen uso y manejo de agroquímicos, no eliminan de manera apropiada los contenedores vacíos, sino que los desechan dentro de la unidad de producción, los queman o los arrojan a canales de riego o cuerpos de agua (Montoro *et al.*, 2009). La presencia de envases de plaguicidas abandonados en las parcelas de cultivo es resultado de la suma de diversos factores, como falta de capacitación y espacios para almacenamiento temporal definitivo de envases. En la región de producción de nopal verdura sólo se encuentran cuatro centros de acopio temporales (comúnmente llamados "jaulas"), ubicados en Tlalnepantla, de donde se transportan a un punto para disposición final, ubicado en la localidad de Xalostoc, municipio de Ayala (observación en campo). Posiblemente, el incremento y distribución adecuada de estos centros de acopio facilitará a mediano y largo plazo, la correcta eliminación de los envases.

**Cuadro 1.** Distribución de envases de plaguicidas encontrados en la zona de producción de nopal verdura en Morelos, México.

Municipio	Número de envases	Número de envases
Tepoztlán	17	4
Tlalnepantla	429	133
Tlayacapan	258	80
Totolapan	25	10

**Insecticidas.** Fueron de mayor presencia envases de organofosforados (131), en comparación con organoclorados (40), carbamatos (36) y piretroides (31); aunque la diversidad de ingredientes activos fue igual entre organoclorados y organofosforados, por lo que ocho ingredientes activos concentraron el 72.08% de envases de esta

categoría (Cuadro 2). De este grupo debido a su espectro de distribución y difícil biodegradación los organoclorados representan una seria amenaza; siendo compuestos altamente tóxicos que inducen mutagénesis (alteración del ADN o de los cromosomas), teratogénesis (malformaciones en el embrión) y alteraciones sobre una gran variedad de funciones metabólicas y de reproducción (Goldberg, 1995). Los efectos en humanos pueden ser perinatales, ya que estos productos pueden atravesar la barrera placentaria (Zaragoza y Bastida *et al.*, 2016). Sus propiedades fisicoquímicas los hacen muy resistentes a la degradación biológica, por lo que son altamente persistentes (Iwata *et al.*, 1994).

El uso de insecticidas con categoría I que son reconocidos por el color rojo en la etiqueta y considerados extremadamente peligrosos, representaron el 15.77% de los envases detectados; 64 envases fueron de metamidofós y monocrotofos, ingredientes activos prohibidos para su uso por la Convención de Rotterdam (FAO, 2015) y representan un peligro de toxicidad aguda, por lo que se debe impulsar su prohibición total en la agricultura regional.

Por su parte el 72.7% de los productos encontrados pertenecen a plaguicidas considerados altamente peligrosos (PAN, 2016), la necesidad de emplear esta cantidad y variedad de insecticidas obedece principalmente a la diversidad de insectos plaga y la falta de alternativas de manejo; más de diez insectos son considerados como plaga en nopal verdura en México (Badii y Flores 2001; De Jesús *et al.*, 2016; Reyes-Pérez *et al.*, 2013; Vargas *et al.*, 2008).

El picudo del nopal, *Cactophagus spinolae* (Gyllenhal) (Coleoptera: Curculionidae), es una de las plagas más importantes en el país (López *et al.*, 2016), con severo daño infringido por larvas y adultos (Cerón *et al.*, 2012), los hábitos crípticos de la larva condicionan a la aplicación continua de insecticidas contra la fase adulta. Otra plaga secundaria que obliga a la aplicación regular de agroquímicos es la cochinilla silvestre, *Dactylopius opuntiae* (Cockerell) (Hemiptera: Coccidae), en el país afecta a 17 especies cultivadas y silvestres (Chávez *et al.*, 2011), la alimentación causa clorosis en cladodios y frutos y en altas densidades matan a la planta infestada (Vanegas *et al.*, 2010).

**Cuadro 2.** Clasificación de envases de insecticidas abandonados en parcelas de nopal verdura en Morelos, México.

Grupo químico	Ingrediente activo	Núm. de envases	Nombre comercial	Clasificación toxicológica
Carbamatos	Metomilo <sup>1</sup>	28	Lanate®	II
	Oxamil <sup>1</sup>	8	Vydate L® CE	II
Organoclorados	Dicofol	4	AK-20®	IV
	Dimetoato <sup>1</sup>	10	Micuate® 600	III
Organofosforados	Clorpirifós etil <sup>1</sup>	12	Libero® 480	III
	Diclorvos <sup>1</sup>	14	Luzaphos® 50	II
	Metamidofós <sup>2</sup>	22	Mataqu® 600	I
	Metidatió <sup>1</sup>	51	Suprathion® 40 CE	I
	Monocrotofós <sup>2</sup>	42	Monocron® 600, Monocrotofós® 600, Monoupe <sup>l</sup> ® 60% SL	I
	Ometoato <sup>1</sup>	16	Vanucron® 600, Velcron® 60, Folimat®	II
Piretroides	Permetrina <sup>1</sup>	31	Matagus® 34	III

<sup>1</sup>Productos considerados altamente peligrosos (PAN, 2016).

<sup>2</sup>Ingredientes activos sujetos a la Convención de Rotterdam debido a que están prohibidos o están severamente restringidos (FAO, 2015).

**Insecticidas/acaricidas.** Este grupo fue representado por 199 envases, tres grupos toxicológicos y un producto que combina dos ingredientes activos de dos grupos toxicológicos (clorpirifós etil + permetrina); en este grupo de envases se observó mayor diversidad de ingredientes activos (14) y nombres comerciales (28) con respecto al grupo de insecticidas. De los ingredientes activos aquí reportados, sólo uno (cipermetrina) no es considerado altamente peligroso (FAO 2015), el 94.97% de los ingredientes restantes están prohibidos a nivel internacional o es clasificado como altamente peligroso (Cuadro 3). El uso de productos con efecto insecticida y acaricida, puede deberse a la necesidad de combatir problemas por ácaros fitófagos en la producción, además de que al mismo tiempo se pretenda controlar otras plagas insectiles. *Tetranychus merganser* Boudreaux (Acari: Tetranychidae) es un ácaro que afecta cladodios tiernos (5-7 cm de longitud) al alimentarse y provocar lesiones en forma de círculos blancos en la superficie del cladodio, lo que afecta la calidad comercial del producto (Lomeli *et al.*, 2008). En México, *T. merganser* tiene desarrollo óptimo entre los 23 y 27 °C (Reyes *et al.*, 2013) y el daño más severo ocurre en temporada de sequía, principalmente de febrero-abril (Lomeli *et al.*, 2008). Proteger la

sanidad de los cladodios inmaduros se reflejará en la calidad y precio en cosecha, así que la infestación por este ácaro y el control en poblaciones iniciales obligan al productor a la aplicación de estos productos.

**Cuadro 3.** Clasificación de envases de insecticidas/acaricidas abandonados en parcelas de nopal verdura en Morelos, México.

Grupo químico	Ingrediente activo	No. de envases	Nombre comercial	Clasificación toxicológica
Avermectinas	Abamectina <sup>1</sup>	10	Minatrin®	NA
Carbamatos	Carbofurán <sup>1</sup>	10	Furadan® 5G	III
	Metomilo <sup>1</sup>	15	Kuik® 90 PS	II
Organofosforados	Acefate <sup>1</sup>	30	Unifate®, Ultra® 97 DF	IV
	Clorpirifós etil <sup>1</sup>	19	Carioca® 48 CE, Clorver® 480, Gard® 480, Lorsban® 480 Em, Ventax® 480 CE	III
	Diazión <sup>1</sup>	18	Diazinon Dragon® 25 E	IV
	Dimetoato <sup>1</sup>	12	Danadim Progress® 400 CE, Dimetoato® 400 CE, Dimetri® 400, Perfekthion®, Scudetto®, Tridente®	III
	Malatión <sup>1</sup>	10	Malathion 1000 E	IV
	Monocrotofós <sup>2</sup>	12	Monocotrofos® 600, Monocron® 600, Vanucron® 600 LM, Velcron® 60	II
	Oxidimetón metil <sup>1</sup>	10	Metasystox® R25	III
Organofosforados + Piretroides	Clorpirifós etil + permetrina <sup>1</sup>	12	Disparo®, Flash Ultra®, Foley Rey®	III
	Cipermetrina	10	Arrivo® 200CE, Siroco® 20 Diablo	IV
Piretroides	Permetrina <sup>1</sup>	12		III

<sup>1</sup>Productos considerados altamente peligrosos (PAN, 2016).

<sup>2</sup>Ingredientes activos sujetos a la Convención de Rotterdam debido a que están prohibidos o están severamente restringidos (FAO, 2015).

**Herbicidas.** El tercer grupo en importancia por el (28) con respecto al grupo de insecticidas. De los ingredientes activos aquí reportados, sólo uno (cipermetrina) no es considerado altamente peligroso (FAO, 2015); 94.97% de los ingredientes restantes está prohibido a nivel internacional o es clasificado como altamente peligroso (Cuadro 3). El uso de productos con efecto insecticida y acaricida, puede deberse a la necesidad de combatir problemas por ácaros fitófagos en la producción, además de que al mismo tiempo se pretenda controlar otras plagas insectiles. *Tetranychus*

*merganser* Boudreaux (Acari: Tetranychidae) es un ácaro que afecta cladodios tiernos (5-7 cm de longitud) al alimentarse, y provocar lesiones en forma de círculos blancos en la superficie del cladodio, lo que afecta el número de envases encontrados fue el de herbicidas: 142 envases fueron clasificados en cuatro grupos químicos, más un producto que incluye dos ingredientes activos de dos grupos químicos distintos (Cuadro 4). El 58.10% de los envases perteneció a glifosato pero, en combinación con carfentrazone etil, fue encontrado en 16 envases. Glifosato es un herbicida de amplio espectro y afecta malezas de hoja ancha y angosta (Cox, 1998), de ahí que sea atractivo para los productores usarlo; sin embargo, este ingrediente activo es considerado como altamente peligroso para su uso en la agricultura (PAN, 2016), al igual que otros tres de los ingredientes activos de herbicidas detectados (Cuadro 4). Se ha considerado que un uso excesivo de glifosato en el cultivo de nopal verdura en Morelos representa riesgos de efectos de resistencia, intoxicación y residualidad en el producto cosechado (Aguilar *et al.*, 2016). El descubrimiento e identificación del patógeno causante de la sintomatología es reciente (Ayala *et al.*, 2006) y quizá no haya permeado entre productores la opción más adecuada de manejo. De los ingredientes activos de fungicidas identificados, 100% es considerado altamente peligroso (PAN, 2016), por lo que deberá impulsarse el uso de alternativas a estos fungicidas (Hernández *et al.*, 2014).

**Cuadro 4.** Clasificación de envases de herbicidas abandonados en parcelas de nopal verdura en Morelos, México.

Grupo químico	Ingrediente activo	No. de envases	Nombre comercial	Clasificación toxicológica
Fenóxidos	2,4-D <sup>1</sup>	18	Amina 4 Diablo®, Desmonte® 4EB, Esteron® 47-M	III
Bipiridilos	Paraquat <sup>1</sup>	7	Lucaquat® 25% S.A.	III
Glicinas	Glifosato <sup>1</sup>	96	Altanizan®, Catire® 41 %, Diablosato®, Faena®, Herbipol®, Glifosato®, Glyfos®, Lafam®, Machete®, Newcap®, Rudo Machete®, Takle®, Yerbimat® 360 SL	III
Triazinas	Atrazina <sup>1</sup>	17	Atraplex® 90, Gesaprim Calibre® 90 GDA, Itertrazina®	
Triazolinona/Glicina	Carfentrazone etil + glifosato <sup>1</sup>	19	Candela Super®	IV

<sup>1</sup>Productos considerados altamente peligrosos (PAN, 2016).

**Fungicidas.** El uso de fungicidas en el cultivo de nopal verdura es menor en comparación con insecticidas, ya que sólo se encontraron 81 envases, con cinco grupos químicos, seis ingredientes activos y clasificación toxicológica cuatro (Cuadro 5). La mancha negra *Pseudocercospora opuntiae* (Ayala *et al.*, 2006) es una enfermedad fungosa que afecta a plantaciones ubicadas en las regiones con mayor altitud en Morelos, llega a causar la pérdida total cuando existe mal manejo de la enfermedad (Quezada *et al.*, 2006); el descubrimiento e identificación del patógeno causante de la sintomatología es reciente (Ayala *et al.*, 2006) y quizá no ha permeado entre productores la opción más adecuada de manejo. 100% de los ingredientes activos de fungicidas identificados son considerado altamente peligrosos (PAN, 2016), por lo que deberá impulsarse el uso de alternativas a estos fungicidas (Hernández *et al.*, 2014).

**Cuadro 5.** Clasificación de envases de fungicidas abandonados en parcelas de nopal verdura en Morelos, México.

Grupo químico	Ingrediente activo	No. de envases	Nombre comercial	Clasificación toxicológica
Benzimidazoles	Benomilo <sup>1</sup>	16	Promyl® 50 PH	IV
Inorgánico	Oxicloruro de cobre	24	Oxicu®	IV
Cloronitrilos	Clorotalonil <sup>1</sup>	10	Conan® 720 SC, Talonil® 75	IV
Ditio-carbamatos y relativos	Mancozeb <sup>1</sup>	22	Manzate® 200 WP, Mancozeb®	IV
Ftalamidas	Captán <sup>1</sup>	5	Captan Ultra® 50 WP	IV
	Folpet <sup>1</sup>	4	Folpet® 80 WDG	IV

<sup>1</sup>Productos considerados altamente peligrosos (PAN, 2016).

## **6.5. Conclusiones**

En el cultivo de nopal verdura, los envases de insumos fitosanitarios encontrados y clasificados en las parcelas son evidencia del peligro de contaminación química que representan una de las causas de este uso indiscriminado. Es la incidencia de plagas y enfermedades para las cuales no existen productos autorizados para uso en el cultivo que garanticen el control y que adviertan sobre la clasificación toxicológica, las precauciones durante el manejo del producto y las medidas para protección al ambiente, lo que pone en riesgo el equilibrio del medio ambiente, la salud del trabajador y el productor agrícola.

Reforzar programas regionales sobre el buen uso y manejo de agroquímicos a nivel regional por parte de autoridades estatales y federales sin lugar a dudas disminuirá el riesgo de contaminación.

## 6.6. Literatura citada

- Aguilar-Carpio C, Rangel-Estrada SE, Sánchez-Mendoza SM, Pérez-Ramírez A. (2016). Control químico de maleza en nopal verdura [*Opuntia ficus-indica* (L.) Miller]. Acta Agrícola y Pecuaria 2(1): 12-16.
- Aldana ML, García MC, Rodríguez G, Silveira MI, Valenzuela AI. (2008). Determinación de insecticidas organofosforados en nopal fresco y deshidratado. Revista Fitotecnia Mexicana 31(2): 133-139.
- Amaya EF; Roa AM, Camacho JE, Meneses S. (2008). Valoración de factores de riesgo asociados a los hábitos de manejo y exposición a organofosforados y carbamatos en habitantes y trabajadores de la vereda de Bateas del municipio de Tibacuy, Cundinamarca, Colombia. NOVA Publicación Científica en Ciencias Biomédicas. 6(10):155-236.
- Ángeles-Núñez JG, Anaya-López JL, Arévalo-Galarza ML, Leyva-Ruelas G, Anaya S, Martínez-Martínez TO. (2014). Análisis de la calidad sanitaria de nopal verdura en Otumba, Estado de México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 5(1): 129-141.
- Ayala-Escobar V, Yáñez-Morales MJ, Braun U, Groenewald JZ, Craus PW. (2006). *Pseudocercospora opuntiae* sp. nov, the causal organism of cactus leaf spot in Mexico. Fungal Diversity 21: 1-9.
- Badii MH, Flores AE. (2001). Prickly pear cacti pests and their control in Mexico. Florida Entomologist 84(4): 503-505. <http://dx.doi.org/10.2307/3496379>
- Bernardino H, Mariaca R, Nazar A, Álvarez JD, Torres A, Herrera C. (2016). Factores socioeconómicos y tecnológicos en el uso de agroquímicos en tres sistemas agrícolas en los altos de Chiapas, México. Interciencia 41(6): 382-392.
- Cano FK, Mendoza A. (2017). Nanoplaguicidas, ¿un verdadero avance para la agricultura? Revista Bio Ciencias 4(3): 164-178. <https://dx.doi.org/10.15741/231>
- Cerón-González C, Rodríguez-Leyva E, Lomeli-Flores JR, Hernández-Olmos CE, Peña-Martínez R, Mora-Aguilera G. (2012). Evaluación de insecticidas sintéticos sobre adultos de *Metamasius spinolae* (Coleóptera: Curculionidae) procedentes de Tlalnepantla, Morelos. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 3: 217-229.

- Chávez-Moreno CK, Tecante A, Casas A, Claps LE. (2011). Distribution and habitat in Mexico of *Dactylopius* Costas (Hemiptera: Dactylopiidae) and their cacti hosts (Cactaceae: Opuntioideae). *Neotropical Entomology* 40(1): 62-71. <http://dx.doi.org/10.1590/S1519-566X2011000100009>
- Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS) (2017). Consulta de registros sanitarios de Plaguicidas y Nutrientes Vegetales. [Cited 2017 Dic 15] Disponible en: <http://189.254.115.250/Resoluciones/Consultas/ConWebRegPlaguicida.asp>
- Colegio de Postgraduados. (Colpos) (2005). Diagnóstico Fitosanitario del Nopal Verdura (*Opuntia ficus-indica*) en Tlalnepantla, Morelos. Documento de trabajo "Primera Reunión del Grupo Interdisciplinario de Investigación del Nopal". Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Cox C. 1998. Glyphosate (Roundup). *Journal of Pesticide Reform* 18(3): 3-17.
- De Jesús AB, Aragón A, López JF, Rivera A, López V. (2016). Entomofauna asociada al nopal verdura (*Opuntia ficusindica* Miller) en San Andrés Cholula, Puebla, México. *Southwestern Entomologist* 41(1): 259-265. <https://doi.org/10.3958/059.041.0123>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (FAO) (2006). Código Internacional de Conducta para la Distribución y Utilización de Plaguicidas. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [internet]. (FAO) (2008). Directrices sobre opciones de manejo de envases vacíos de plaguicidas. [cited 2018 Jan 13]. Disponible en: [http://www.fao.org/fileadmin/templates/agphome/documents/Pests\\_Pesticides/Code/Containers08SP.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/templates/agphome/documents/Pests_Pesticides/Code/Containers08SP.pdf)
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (FAO) (2015). Convenio de Rotterdam. Sobre el Procedimiento de Consentimiento Fundamentado previo aplicable a ciertos plaguicidas y productos químicos peligrosos objeto de comercio internacional. Roma, Italia.

- Fungicide Resistance Action Committee [internet]. (2017). FRAC Code List© (FRAC) (2017): Fungicides sorted by mode of action (including FRAC Code numbering). [cited 2018 Jan 13]. Disponible en: [http://www.frac.info/docs/default-source/publications/frac-code-list/frac-code-list-2017-final.pdf?sfvrsn=fab94a9a\\_2](http://www.frac.info/docs/default-source/publications/frac-code-list/frac-code-list-2017-final.pdf?sfvrsn=fab94a9a_2)
- García-Gutiérrez C, Rodríguez-Meza GD. (2012). Sinaloa México. Problemática y riesgo ambiental por el uso de plaguicidas en Sinaloa. *Ra Ximhai*. 8(1):1-10.
- Goldberg ED. (1995). Emerging problems in the coastal zone for the twenty-first century. *Marine Pollution Bulletin* 31: 152-158. [https://doi.org/10.1016/0025-326X\(95\)00102-S](https://doi.org/10.1016/0025-326X(95)00102-S)
- Gutiérrez-Ramírez A, Robles-Bermúdez A, Santillán-Ortega C, Ortíz-Catón M, Cambero-Campos OJ. (2013). Control biológico como herramienta sustentable en el manejo de plagas y su uso en el estado de Nayarit, México. *Revista Bio Ciencias* 2(3): 102-112.
- Hernández-Sánchez E, Mora-Aguilera G, Tlapal B, Rodríguez-Leyva E, Alvarado D. (2014). Efecto de la intensidad inicial de enfermedad en la caracterización temporal y espacial de la mancha negra del nopal (*Opuntia ficus-indica*). *Revista Mexicana de Fitopatología* 32: 132-146.
- Iwata H, Tanabe S, Sakai N, Nishimura A, Tatsukawa R. (1994). Geographical distribution of persistent organochlorines in air, water and sediments from Asia and Oceania, and their implications for global redistribution from lower latitudes. *Environmental Pollution* 85: 15-33.
- Instituto para el Federalismo y el Desarrollo Municipal [internet]. (INAFED) (2010). Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México. Morelos. [cited 2017 Dec 21]. Disponible en: <http://inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM17morelos/index.html>
- Lomeli-Flores JR, Rodríguez-Leyva E, Otero-Colina G, Mora-Aguilera G, Esquivel-Chávez F. (2008). Primer reporte de *Tetranychus merganser* (Acari: Tetranychidae) sobre *Opuntia ficus indica* L. en Tlalnepantla, Morelos. *Entomología Mexicana* 7: 21-25.

- López-Martínez V, Pérez-De la O NB, Ramírez-Bustos I, Alía-Tejacal I, Jiménez-García D. (2016). Current and potential distribution of the cactus weevil, *Cactophagus spinolae* (Coleoptera: Curculionidae), in Mexico. *The Coleopterist Bulletin* 70(2): 327-334. <https://doi.org/10.1649/0010-065X-70.2.327>
- Maki-Díaz G, Peña-Valdivia CB, García-Nava R, Arévalo-Galarza ML, Calderón-Zavala G, Anaya-Rosales S. (2015). Características físicas y químicas de nopal verdura (*Opuntia ficus-indica*) para exportación y consumo nacional. *Agrociencia* 49(1): 31-51.
- Montoro Y, Moreno R, Gomero L, Reyes M. (2009). Características de uso de plaguicidas químicos y riesgos para la salud en agricultores de la sierra central de Perú. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública* 26(4): 466-472.
- O'Connor PJ. (2000). *The Safe and Effective Use of Pesticides*. Oakland, USA.
- [PAN] Pesticide Action Network International. (2016). PAN International List of Highly Hazardous Pesticides. PAN International. Hamburg, Germany.
- Quezada-Salinas A, Sandoval-Islas JS, Alvarado-Rosales D, Cárdenas-Soriano E. (2006). Etiología de la mancha del nopal (*Opuntia ficus-indica* Mill) en Tlalnepantla, Morelos, México. *Agrociencia* 40(5): 641-653.
- Reyes-Pérez N, Villanueva-Jiménez JA, Vargas-Mendoza MC, Cabrera-Mireles H, Otero-Colina G. (2013). Parámetros poblacionales de *Tetranychus merganser* Boudreaux (Acari: Tetranychidae) en papayo (*Carica papaya* L.) a diferentes temperaturas. *Agrociencia* 40(2): 641-653.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural. (SAGARPA) (2000). NOM-EM-034-FITO-2000. Norma Oficial Mexicana (con carácter de emergencia), requisitos y especificaciones para la aplicación y certificación de buenas prácticas agrícolas en los procesos de producción de frutas y hortalizas frescas. Diario Oficial de la Federación. México, D.F.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (SIAP) (2017). Atlas Agroalimentario [internet]. 2018. México. [cited 2018 March 16]. Disponible en: [http://nube.siap.gob.mx/gobmx\\_publicaciones\\_siap/pag/2016/Atlas Agroalimentario-2016](http://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap/pag/2016/Atlas_Agroalimentario-2016)

- Siller J, Báez M, Cháidez C, Gardea A. (2007). Producción y Manejo Poscosecha en la Industria Frutícola. In: Gardea AA, González GA, Higuera-Ciapara I, Cuamea F, editors. Buenas Prácticas en la Producción de Alimentos. Productos Pecuarios. Productos Agrícolas. Productos Acuícolas. Procesamiento de Alimentos. Editorial Trillas. p: 171-221.
- Sparks T, Nauen R. (2015). IRAC: Mode of action classification and insecticide resistance management. *Pesticide Biochemistry and Physiology* 121: 122-128. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2014.11.014>.
- Stintzing FC, Carle R. (2005). Cactus stems (*Opuntia* spp.) a review on their chemistry, technology, and uses. *Molecular Nutrition Food Research* 49(2): 175-194.
- Torres-Bojórquez AI, Cervantes-Díaz L, Núñez-Ramírez F, Morales-Maza A, Samaniego-Gómez BY. (2016). Primer reporte de *Pectobacterium* spp. asociada a *Opuntia ficus* en Baja California, México. *IDESIA* 34(4): 69-71.
- Vanegas-Rico JM, Lomeli-Flores JR, Rodríguez-Leyva E, Mora-Aguilera G, Valdez JM. (2010). Enemigos naturales de *Dactylopius opuntiae* (Cockerell) en *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller en el centro de México. *Acta Zoológica Mexicana* (n.s.) 26(2): 415-433.
- Vargas A, Flores A, Basaldua JF. (2008). Dinámica poblacional de las principales plagas de nopal *Opuntia* spp. en la zona semiárida de Querétaro. *Revista Chapingo Zonas Áridas* 7(1): 21-27.
- World Health Organization. (WHO) (2010). The WHO Recommended Classification of Pesticides by Hazard. World Health Organization. Geneva, Switzerland.
- Zaragoza-Bastida A, Valladares-Carranza B, Ortega-Santana C, Zamora-Espinosa J, Velázquez-Ordoñez V, Aparicio-Burgos J. (2016). Repercusiones del uso de organoclorados sobre el ambiente y salud pública. *Abanico Veterinario* 6(1): 43-55.

## 7. Capítulo 2

### **Uso y manejo de agroquímicos en producción de nopal verdura [*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.] (Cactácea) en Morelos, México<sup>2</sup>**

Irene Iliana Ramírez-Bustos, Víctor López-Martínez, Porfirio Juárez-López, Dagoberto Guillén-Sánchez, Irán Alia-Tejacal, Ismael Rivera-León, Hugo Albeiro Saldarriaga-Noreña, Daniel Jiménez-García

#### **7.1. Resumen**

El uso y manejo de agroquímicos en el cultivo de nopal verdura, [*Opuntia-ficus indica* (L.) Mill.] implica riesgos de contaminación química para el trabajador, el consumidor y medio ambiente. El objetivo del presente trabajo fue verificar las prácticas de uso y manejo de agroquímicos, en unidades de producción del sistema producto nopal verdura en Morelos, México. Este es un estudio transversal, descriptivo, observacional, realizado de enero a diciembre del 2016, en el que se llevó a cabo el análisis del proceso de uso de agroquímicos, considerando el cumplimiento de la normativa nacional, mediante la aplicación de cuestionarios y entrevistas abiertas. Los resultados revelaron que el 100% de los productores han recibido capacitación para conocer los riesgos asociados con el uso de agroquímicos, sin embargo el factor determinante que les obliga a usarlos y manejarlos adecuadamente, es la exigencia del mercado de exportación, siempre y cuando tengan la superficie igual o mayor a 2.7 hectáreas que les permita cubrir los gastos que genera implementar el sistema de la normativa nacional. Los productores se caracterizaron por estar 57 reconocidos y 43 no reconocidos, por SENASICA. En la sección de uso y manejo de agroquímicos se verificó que no hay plaguicidas sintéticos autorizados para uso en el cultivo de nopal verdura en México, el 100% de los productores utilizan plaguicidas no recomendados para el cultivo, esto implica que por muchos esfuerzos de capacitación y exigencia del mercado de exportación, el riesgo de contaminación química al producto se encuentra

---

<sup>2</sup> Este capítulo fue enviado para su publicación a Revista Biociencias y sigue el formato de dicha revista:

latente, lo cual potencialmente es un riesgo para la salud de los consumidores de nopal verdura.

**Palabras clave:** buenas prácticas agrícolas, contaminación, inocuidad, [*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.]

### **Abstract**

Use and handling of agrochemicals in the prickly pear cactus, [*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.] (Cactaceae), involves risks of chemical contamination for farm workers, consumers and environment. The objective of this work is to verify practices of use and handling of agrochemicals in the prickly pear cactus production area the Mexican Morelos state. This study is a cross-sectional, descriptive, and observational study carried out from January to December 2016. Analysis process was carried out considering the fulfillment of national regulations standards, through the application of questionnaires and open interviews. The results revealed that 100% of the producers have received training to know the associated risks; however, the determining factor that producer requires to use and manage them properly, is the demand of the export market, as long as the area is equal or more than of 2.7 hectares that allow covering the expenses that generate implement the system according with national standards. Although 100% of the producers reported having training on agrochemical risks, the determinant factors to use and manage them properly are the requirements for export market, and holding cultivated surface equal or greater than 2.7 hectares for covering costs generated by implementing system for reducing agrochemical risks. 57 producers had recognition in Good Use and Management of Agrochemicals, while 43 lacked of such recognition by SENASICA. 100% of the interviewed producers use pesticides not recommended for prickly pear cactus, so the risk of chemical contamination for this vegetable, and consumers is latent.

**Key words:** Good agricultural practices, pesticides, pollution, food safety, [*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.]

## 7.2. Introducción

La importancia económica y social del cultivo de nopal verdura, [*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.], en México radica en la gran superficie ocupada por nopaleras, tanto silvestres como cultivadas, así como en la diversidad de los productos generados (Badii y Flores 2001a), que se produce y consume en el país (Maki-Díaz *et al.*, 2015). En el estado de Morelos el nopal verdura, cuenta con una superficie total de 3,905 ha, una producción anual de 367,826 t·ha<sup>-1</sup>, distribuidas en los municipios de Tlalnepantla (2800 ha), Totolapan (545 ha), Tlayacapan (500 ha) y Tepoztlán (50 ha) (SIAP, 2017); su importancia económica radica en las ventas a Estados Unidos de América, que han incrementado de 4.1 a 12.7 % en el periodo 2011-2015, exportando 42 mil 563 ton (SIAP, 2017).

Las plantaciones de nopal verdura, al igual que otros sistemas agrícolas, son atacadas por diferentes plagas (Hernández *et al.*, 2014), los plaguicidas han sido el medio más utilizado para el control (Pérez *et al.*, 2013); sin embargo, la manipulación y aplicación inadecuada puede implicar riesgos para el humano, ya sea como usuario o consumidor (Fenik *et al.*, 2011). La presencia de residuos en vegetales puede ser una vía significativa de contaminación a la exposición humana (European Council, 1984). En las últimas dos décadas la incidencia de intoxicaciones por el consumo de vegetales se ha incrementado considerablemente, debido a la presencia de contaminantes químicos (Johnston *et al.*, 2006 Tzschope *et al.*, 2012); de la cantidad total de plaguicidas aplicados, un gran porcentaje no alcanza el sitio blanco, ya que pueden degradarse, volatilizarse o lixiviarse, dando como resultado serios problemas ambientales (Ortiz-Hernández *et al.*, 2013). En los últimos dos decenios en los países en desarrollo, se han realizado muchas actividades de capacitación en manejo seguro de plaguicidas; pero no se logra un cambio de actitud significativo (García, 1999). Los agricultores que están al tanto de los efectos dañinos de los plaguicidas en ocasiones no pueden traducir esta conciencia a la práctica (Damalas *et al.*, 2006; Isin y Yildirim, 2007). Debido a esto se han desarrollado e implementado iniciativas gubernamentales, como los modelos de producción basados en las “buenas prácticas agrícolas” e “Inocuidad Alimentaria” (Pérez *et al.*, 2013).

Para la exportación de nopal verdura, México debe cumplir con los requisitos sanitarios de cada país, una forma de garantizar la inocuidad de este producto es implementar buenas prácticas agrícolas (Ángeles-Núñez *et al.*, 2014). El servicio Nacional de Sanidad Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA) promueve la implementación en buen uso y manejo de agroquímicos (BUMA), con la finalidad de reducir el riesgo de contaminación en la producción de vegetales. En febrero de 2015 en Morelos se reconocieron en el cultivo 94 productores con 146 unidades de producción distribuidas en 185 ha (SAGARPA, 2017). Se prevé, que la implementación de BUMA en las unidades de producción, reduzcan los riesgos de contaminación químicos al trabajador, consumidor y medio ambiente, permitiendo el cumplimiento de la normatividad nacional e internacional. Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue verificar las prácticas de uso y manejo de agroquímicos, en unidades de producción del sistema producto nopal verdura en el estado de Morelos, México.

### 7.3. Materiales y métodos

La investigación se realizó en plantaciones comerciales, áreas de almacenamiento de agroquímicos y equipo, con productores pertenecientes a la organización del sistema producto nopal verdura, ubicadas en los municipios de Tlalnepantla, Tlayacapan, Totolapan y Tepoztlán, Morelos, México, las visitas se realizaron de enero a diciembre del 2016, de acuerdo a la disponibilidad de los productores para ser visitados. La información presentada en este documento se obtuvo mediante el método de muestreo aleatorio simple, estudiándose una muestra de 100 productores, a partir de una población de 300 productores de nopal. El tamaño de la muestra se determinó mediante la fórmula (01) establecida para tal propósito por Scheafer *et al.*, 1987.

$$n = \frac{Npq}{(N-1)D} + pq \quad (01)$$

En donde N=300 se consideró como el tamaño de la población o censo de productores p=0.5, fue el promedio de la proporción poblacional de los valores 0 y 1 de la población;

$q=1-p=0.5$  que indica la proporción poblacional;  $n=56.54$  se consideró el tamaño de la muestra;  $D=0.12$  precisión (02):

$$D = \frac{B^2}{4} \quad (02)$$

En donde  $B=0.05$  que es el límite para el error de estimación; sustituyendo tenemos (03):

$$D = \frac{(0.12)^2}{4} = 0.0036 \quad (03)$$

Sustituyendo los valores en la ecuación (01) tenemos:

$$n = \frac{Npq}{(N-1)D} + pq = n = \frac{(300)(0.50)(0.50)}{(299-1)(0.0036)+(0.05*0.05)} = \frac{75}{1.3264} = 56.54$$

Debido a la disponibilidad de los productores se aplicaron cien cuestionarios y entrevistas abiertas, cuarenta y tres más de los determinados por el método de muestreo, como herramienta de un proceso descriptivo transversal y observacional de forma voluntaria y consentimiento firmado, considerando el cumplimiento o no cumplimiento, de la lista de verificación para el reconocimiento de áreas, con aplicación de buen uso y manejo de agroquímicos en la producción primaria de vegetales (BUMA), publicadas por SENASICA 2017.

El cuestionario se estructuró con 41 preguntas distribuidas en ocho secciones: información general, infraestructura, productos agroquímicos, equipos de protección personal y aspersion, preparación de mezclas de productos agroquímicos y eliminación de caldos sobrantes, uso y manejo de plaguicidas y manejo de envases vacíos.

La información obtenida se capturó en una hoja de cálculo Microsoft Excel® 2010, donde se exportó al programa Statgraphics Centurión XV (2009) para su análisis mediante la prueba chi-cuadrado, con la finalidad de conocer la independencia estadística en las variables de estudio.

#### **7.4. Resultados y discusión**

Se caracterizaron 57 y 43 productores reconocidos y no reconocidos en BUMA por SENASICA; los productores no reconocidos han recibido capacitación pero no han invertido en infraestructura y pago del proceso de reconocimiento.

En cuanto a la distribución de cien parcelas, ochenta estaban ubicadas en los municipios de Tlalnepantla, quince en Tlayacapan, y cinco en Totolapan; por superficie en producción los productores reconocidos reportaron 2.7 ha en promedio, distribuidas en dos o tres parcelas con mercado de exportación, los productores no reconocidos registraron una superficie promedio de una hectárea y mercado nacional, lo que sugiere que a mayor superficie y mercado de exportación, mayor grado de cumplimiento en la normativa nacional. Al cuestionar por qué decidieron implementar el sistema BUMA, los productores reconocidos afirmaron que el mercado de exportación tiene esta exigencia, además de garantizar mejor precio; los productores no reconocidos, contestaron que la superficie de producción no les pagaba todos los gastos que genera implementar el sistema y su producto es vendido en el mercado nacional que no exige estar reconocidos.

Se observó diferencia significativa ( $p=0.05$ ) entre la superficie cultivada, tipo de mercado y nivel de reconocimiento entre los productores de nopal verdura entrevistados (Cuadro 1). Cultivar superficies mayores a 2.7 ha, con destino de exportación del producto y con reconocimiento en BUMA, garantizo el cumplimiento de 57%, de los productores en los rubros generales aplicados.

**Cuadro 1.** Características de cumplimiento en productores de nopal verdura

Secciones	Superficie (<2.7 ha)		Mercado de exportación		Productores reconocidos	
	sí	no	sí	no	sí	no
Infraestructura	46	54	45	55	57	43
Productos agroquímicos	42	58	40	60	42	55
Preparación de mezclas	58	43	57	43	57	43
Uso y manejo de plaguicidas	0	100	0	100	0	100
Manejo de envases vacíos	46	54	57	43	57	43

n=100, \* $p = 0.0000 < 0.05$  para todos los casos.

**Infraestructura.** Se verificó que contaran con la infraestructura básica necesaria para implementar BUMA. Los productores reconocidos 100 % (57), en infraestructura documental, cuentan con un manual de procedimientos que describe las medidas de control que aplican 100% (57), en infraestructura física, designan áreas de almacenamiento de equipos de protección personal, área de disposición de envases vacíos y área de almacenamiento de equipos de aplicación de plaguicidas, dentro de la bodega designada como área de almacén de plaguicidas 80% (46), implementaron un área de preparación de mezclas de plaguicidas y área de eliminación de caldos sobrantes 100% (57); y 93% (53), presentaron un plan de mantenimiento con firma de responsables y registros de dosis de productos correctos. Los productores no reconocidos contaron con almacén de plaguicidas 38%, área de almacenamiento de equipos de protección personal 19% y área de almacenamiento de equipos de aplicación 41%, en condiciones deficientes en base a la normativa nacional.

**Productos agroquímicos, equipos de protección personal y aspersion.** Los productores reconocidos designaron espacios para el almacenamiento de sustancias agroquímicas con separación entre plaguicidas y fertilizantes 91%, construidos con material no absorbente, no flamables, bien ventilados y con buena iluminación 87%; y cerrada con llave bajo resguardo de un adulto 86%, los equipos de aspersion de plaguicidas y los equipos de protección personal utilizados durante las actividades de aplicación, se encontraron en áreas seguras, no representando riesgos a la salud de trabajadores y de contaminación al producto, en 74% de los productores entrevistados.

Entre los daños a la salud causados por los plaguicidas, sobresalen las intoxicaciones agudas (Hernández-González *et al.*, 2007).

Las intoxicaciones y muertes (de trabajadores agrícolas) se deben en gran medida a la carencia de equipos de protección y aplicación (Arroyo *et al.*, 2013, Guzmán *et al.*, 2016) inapropiado uso (Cárdenas *et al.*, 2010) y mal manejo de los plaguicidas durante su preparación, mezcla y aplicación (Kreuger, 1998 y Neumann *et al.*, 2002). Los productores no acreditados presentaron estas características, la cual pone en riesgo la salud del trabajador agrícola.

**Preparación de mezclas de productos agroquímicos y eliminación de caldos sobrantes.** En cuanto a localización y diseño; se obtuvo que el 100% de productores reconocidos diseñaron para la preparación de plaguicidas y enjuague de envases, áreas separadas de fuentes de agua para evitar derrames que contaminaran al manto freático. Estas áreas se caracterizaron por tener fosa de contención y retención de derrames, con piso firme que aseguró la evaporación del líquido en caso de derrames, con protección contra ingreso de animales domésticos y silvestres. Los productores no reconocidos, no contaron con estas áreas (53). La preparación de sus mezclas se realiza en tambos de 200 L, sobre asperjando los caldos sobrantes en el cultivo u orillas de la parcela, en este contexto, los plaguicidas son un foco de contaminación (Chiron *et al.*, 2000), ya que alcanzan a cuerpos de agua por escurrimiento, infiltración y erosión de los suelos (Hernández–Antonio y Hansen 2011).

**Uso y manejo de plaguicidas.** Los productores de nopal verdura en Morelos, utilizaron plaguicidas sintéticos registrados ante la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS, 2017), pero no autorizados para el cultivo; se encontraron en los almacenes verificados, diecisiete ingredientes activos con diferentes nombres comerciales en condición de autorización indeterminada o vigente, en los cuales prevaleció la categoría toxicológica IV, seguido de la categoría III, y por ultimo II, siendo la clase predominante la presencia de insecticidas (Cuadro 2). El productor debe acatar el cumplimiento de leyes, normas y técnicas durante el manejo

de plaguicidas (Mejía *et al.*, 2011), y la presencia de los productos no autorizados para el cultivo implica el desconocimiento de la legislación del país.

**Cuadro 2.** Relación de plaguicidas encontrados en almacenes

Ingrediente activo	Categoría toxicológica	Clase	Nombres comerciales
Abamectina	III	Insecticida/acaricida	Agrimec® 1.8% CE*, Agriver® 1.8 CE*
Amitraz	IV	Acaricida	Mitoff*, Teracix*
Benomilo	IV	Fungicida	Promyl 50 P. H.*
Carbendazim	IV	Fungicida	Prozycar 500 F**
Captan	IV	Fungicida	Captan 50 plus*
Cipermetrina	IV	Insecticida	Cipermetrina 20 CE*
Cymoxanil	IV	Fungicida	Curzate 60 DF*
Clorpirifos	III	Insecticida	Cyren 480***, Carioca**
Clorpirifos etil+permetrina	III	Insecticida	Disparo*, Ventax*
Carbofuran	II	Insecticida	Furadan 5 G*
Diazinon	IV	Insecticida	Diazinon-bio 25*
Fipronil	IV	Insecticida/acaricida	Regent MG-20 GR*
Glifosfato	IV	Herbicida	Faena full*
Metidation	III	Insecticida	Suprathion 40 EC*
Monocotrofos	II	Insecticida	Zucron*, Bazucron 60*, Dicron*
Paration metilico	III	Insecticida	Foley 2%*
Permetrina	III	Insecticida	Ambush 34 CE*, Matagus 34*

\* Autorización indeterminada, \*\* Registro vigente.

El uso de estos productos fue sustentado por las recomendaciones de casas comercializadoras de agroquímicos, procurando que no fuesen aplicados en la época de corte. Los productos agroquímicos en general son sustancias que deben ser manejadas responsablemente; ya que gran proporción de la ocurrencia de contaminaciones involuntarias, son debidas a mala utilización de estos (Farrera *et al.*, 2002), con la posibilidad de acumulación de residuos en el producto cosechado, lo que afecta negativamente su calidad alimenticia y seguridad toxicológica (Pierre y Betancourt 2007).

**Manejo de envases vacíos.** Todos los productores reportaron capacitación técnica para realizar actividades de manejo de envases vacíos, esto se reflejó en 80% (46) de los productores con reconocimiento, contaron con área de acopio temporal con envases triplemente lavados y perforados, con evidencia documental de haber enviado anteriormente envases a centros de acopio autorizados. Mientras que los productores no reconocidos reportaron no realizar esta actividad. En la agricultura en general se generan siete mil toneladas anuales de residuos de envases, de las cuales la mayoría quedan dispersos en los campos (Albert, 1996); el desecho de envases vacíos es un serio problema que deriva de la agricultura y representa un alto riesgo ambiental y de salud (García *et al.*, 2012).

Los resultados indican que los procesos de capacitación, exigencia del mercado y normativa nacional, no han sido suficientes para la concientización de los riesgos de contaminación química que representa el uso y manejo de plaguicidas sintéticos, aunado a la falta de productos autorizados para uso en el cultivo. El principal riesgo es para el consumidor nacional, quienes consumen producto distribuido por productores no reconocidos. El uso de plaguicidas ha sido determinante para el control de plagas; sin embargo, estos agentes químicos empleados de forma inadecuada, se refleja en los efectos nocivos a la salud (Amaya *et al.*, 2008), la utilización inadecuada y excesiva ha traído como consecuencia la contaminación de los cuerpos de aguas superficiales (Díaz y Contreras, 2013). Lo anterior se ha reportado también en el cultivo de tomate donde hay un interés económico, que no les permite reflexionar sobre el daño que pueden causar sus cosechas al consumidor final (Reinoso, 2015), por lo que se requiere mayor vigilancia y monitoreo de zonas de gran actividad agrícola sobre los productos y dosis empleados (Badii y Valera, 2015b), es necesario que se implementen acciones para desarrollar estrategias que promuevan la reconversión a sistemas de bajos insumos, e incluso sustentables, para disminuir los riesgos a la salud y el impacto ambiental (Hernández *et al.*, 2016).

## **7.5. Conclusiones**

La presencia de envases vacíos desechados inadecuadamente en las parcelas de cultivo de nopal verdura, es un indicador de peligros de contaminación química, uso de moléculas no autorizadas e incluso prohibidas por la normativa nacional. La implementación del sistema en buen uso y manejo de agroquímicos (BUMA), al incluir capacitación en triple lavado, perforado y desecho en centros de acopio temporales, reducen los riesgos de contaminación. El incumplimiento en uso de plaguicidas sintéticos no autorizados para el cultivo, favorece la presencia de residuos químicos en el producto al momento del consumo, poniendo en riesgo la salud del consumidor al no conocerse el periodo de tiempo que debe respetarse entre la aplicación y cosecha. Es necesario que los productores reconozcan la importancia de implementar el sistema, asumiendo la responsabilidad que les confiere como productores primarios de alimentos.

## 7.6. Literatura citada

- Albert, L. A. (1996). Plaguicidas persistentes en México. En Revisión de contaminación ambiental y toxicología (pp. 1-44). Springer, Nueva York, NY.
- Amaya, E., Kurmen, J. E. C., Meneses, S., & Roa, A. M. (2008). Valoración de factores de riesgo asociados a los hábitos de manejo y exposición a organofosforados y carbamatos en habitantes y trabajadores de la vereda de Bateas del municipio de Tibacuy, Cundinamarca, Colombia. *NOVA Publicación en Ciencias Biomédicas*, 6(10), 147-155.
- Ángeles-Núñez, J. G., Anaya-López, J. L., Arévalo-Galarza, M., Leyva-Ruelas, G., Anaya Rosales, S., & Martínez-Martínez, T. O. (2014). Análisis de la calidad sanitaria de nopal verdura en Otumba, Estado de México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 5(1), 129-141.
- Arroyo, S. G.; Valenzuela, C. M.; López, Y. C.; Arroyo, A. M.; Segura, M. E. C.; Pietrini, R. V. y Waliszewski, S. M. (2013). Riesgo genotóxico por la exposición ocupacional a plaguicidas en América Latina. México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 29:159-180.
- Badii, MH y Flores, AE (2001). Las plagas de cactus espinosos y su control en México. *Entomólogo de Florida*, 503-505.
- Badii, M. H., & Varela, S. (2015). Insecticidas organofosforados: efectos sobre la salud y el ambiente. *CULCyT, Toxicología de Insecticidas* (28).
- Cárdenas, O., Silva, E., & Ortiz, J. E. (2010). Uso de plaguicidas inhibidores de acetilcolinesterasa en once entidades territoriales de salud en Colombia, 2002-2005. *Biomédica*, 30(1), 95-106.
- Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS) (2017). Registro de plaguicidas y nutrientes vegetales. <http://www.gob.mx/cofepris/>. Consultado en abril de 2017.
- Chiron, S.; Fernández-Alba, A.; Rodríguez, A. y García-Calvo, E. (2000). Oxidación química de pesticidas: el estado de la técnica. *European Union. Water Research*. 34(2):366-377.

- Damalas, C. A.; Georgiou, E. B. and Theodorou, M. G. (2006). Pesticide use and safety practices among Greek tobacco farmers: A survey. Reino Unido. *International Journal of Environmental Health Research*. 16(5):339-348.
- Díaz, P. B. y Contreras, L. M. (2013). Contaminación de aguas superficiales por residuos de plaguicidas en Venezuela y otros países de Latinoamérica. México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 29:7-23.
- European Council. (1984). Pesticide-advice and recommendations to be used by national and other authorities as well as manufactures concerned with the registration of agricultural and nonagricultural pesticides. 6th ed., Strasburg, German 40 pp.
- Farrera, R.; Barroso, J.; Silva, I.; Armas, W. y Serrano, G. (2002). Educación para el manejo y uso de plaguicidas en los municipios rurales: Jáuregui y Vargas, Táchira. *Venezuela Geoenseñanza*. 7(1-2):38-53.
- Fenik, J.; Tankiewicz, M., y Biziuk, M. (2011). Propiedades y determinación de pesticidas en frutas y verduras. *TRAC Tendencias en la Química Analítica*, 30 (6): 814-826.
- García-Gutiérrez, C.; y Rodríguez-Meza, G. D. (2012). Sinaloa México. Problemática y riesgo ambiental por el uso de plaguicidas en Sinaloa. México. *Ra Ximhai*. 8(1):1-10.
- García, J. E. (1999). El mito del manejo seguro de los plaguicidas en los países en desarrollo. Costa Rica. *Revista Manejo Integrado de Plagas*. 52:25-41.
- Guzmán-Plazola, P.; Guevara-Gutiérrez, R. D.; Olguín-López, J. L.; y Mancilla-Villa, O. R. (2016). Perspectiva campesina, intoxicaciones por plaguicidas y uso de agroquímicos. Chile. *Idesia (Arica)*. 34(3):69-80.
- Hernández-Antonio, A. y Hansen, A. M. (2011). Uso de plaguicidas en dos zonas agrícolas de México y evaluación de la contaminación de agua y sedimentos. México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 27(2):115-127.
- Hernández-Cárdenas, R. A.; Cerros-Tlatilpa, R. y Flores-Morales, A. (2014). Las plantas vasculares y vegetación de la barranca Tepecapa en el municipio de Tlayacapan, Morelos, México. *México. Acta Botánica Mexicana*. 108:11-38.

- Hernández-González, M. M.; Jiménez-Garcés, C.; Jiménez-Albarrán, F. R. y Arceo Guzmán, M. E. (2007). Caracterización de las intoxicaciones agudas por plaguicidas: perfil ocupacional y conductas de uso de agroquímicos en una zona agrícola del Estado de México, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 23(4):159-167.
- Hernández, H. U. B.; Méndez, R. M.; Beutelspacher, A. N., Solís, J. D. Á.; Dosal, A. T. y Portugal, C. H. (2016). Factores socioeconómicos y tecnológicos en el uso de agroquímicos en tres sistemas agrícolas en los altos de Chiapas, México. *Venezuela. Interciencia*. 41(6): 382.
- Isin, S. and I. Yildirim. (2007). Fruit-growers' perceptions on the harmful effects of pesticides and their reflection on practices: The case of Kemalpaşa, Turkey. *Australia. Crop Protection*. 26:917-922.
- Johnston, L. M.; Jaykus, L. A. and Moll, D. (2006). A field study of the microbiological quality of fresh produce of domestic and Mexican origin. Italy. *International Journal of Food Microbiology*. 112(2):83-95.
- Kreuger, J. (1998). Pesticides in stream water within an agricultural catchment in southern Sweden, 1990–1996. España. *The Science of the Total Environment*. 216(3):227-251.
- Maki-Díaz, G.; Peña-Valdivia, C. B.; García-Nava, R.; Arévalo-Galarza, M. L.; Calderón-Zavala, G. y Anaya-Rosales, S. (2015). Características físicas y químicas de nopal verdura (*Opuntia ficus-indica*) para exportación y consumo nacional. México. *Agrociencia*. 49(1):31-51.
- Mejía, P. A.; Montoya, M. L.; Restrepo, F. M. y Moreno, N. (2011). Impacto del manejo de agroquímicos, parte alta de la microcuenca Chorro Hondo, Marinilla. Colombia. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*. 32(2):25-34.
- Neumann, M.; Schulz, R.; Schäfer, K.; Müller, W.; Mannheller, W. and Liess, M. (2002). The significance of entry routes as point and non-point sources of pesticides in small streams. European Union. *Water Research*. 36(4):835-842.
- Ortiz-Hernández, M. L.; Sánchez-Salinas, E.; Castrejón-Godínez, M. L.; Dantan-González, E. y Popoca-Ursino, E. C. (2013). Mechanisms and strategies for

- pesticide biodegradation: opportunity for waste, soils and water cleaning. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. (29):85-104.
- Pérez, M. A.; Navarro, H. y Miranda, E. (2013). Residuos de plaguicidas en hortalizas: Problemática y riesgo en México. México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. (29):45-64.
- Pierre, F. y Betancourt, P. (2007). Residuos de plaguicidas organoclorados y organofosforados en el cultivo de cebolla en la depresión de Quíbor, Venezuela. Venezuela. *Bioagro*. 19(2):69-78.
- Reinoso, J. (2015). Diagnóstico del uso de plaguicidas en el cultivo de tomate riñón en el Cantón Paute. Ecuador. *Maskana*, 6(2):147-154.
- Secretaría de Agricultura Ganadería Desarrollo Rural Pesca y Alimentación (SAGARPA). (2017). Reconocimiento de productores de nopal verdura, <http://www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones/morelos/boletines/Paginas/2015B205B.aspx>, consultado en enero de 2017.
- Servicio Nacional de Sanidad Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA). (2017). Listas de verificación en buen uso y manejo de agroquímicos (BUMA) en línea: [www.sagarpa.gob.mx](http://www.sagarpa.gob.mx), consultado en febrero del 2017.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2017). Atlas Agroalimentario (2016). México. En línea: [http://nube.siap.gob.mx/gobmx\\_publicaciones\\_siap/pag/2016/Atlas Agroalimentario-2016](http://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap/pag/2016/Atlas_Agroalimentario-2016). Consultado en febrero del 2017.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2016). Cierre de la producción agrícola por estado. Morelos, nopalitas, 2016. En línea: [http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola\\_siap\\_gobmx/ResumenProducto](http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/ResumenProducto) Consultado en enero del 2018.
- Scheafer, R. L. Mendohall, W. y Ott, L. (1987). Elementos de muestreo. Traducción al español de Rendón, S. G. y Gómez, A. J. R. Grupo Editorial Iberoamérica. México, D. F. 395 p.
- Statgraphics Centurion, X. V. I. (2009). Statpoint technologies. INC, versión, (16):17.
- Tzschope, M.; Martin, A. and Beutin, L. (2012). A rapid procedure for the detection and isolation of enterohaemorrhagic *Escherichia coli* (EHEC) serogroup O26,

O103, O111, O118, O121, O145 and O157 strains and the aggregative EHEC O104:H4 strain from ready-to-eat vegetables. Torino, Italy. Italy. International Journal of Food Microbiology. 152(1-2):19-30.

## 8. Capítulo 3

### Monitoreo de plaguicidas en el cultivo de nopal verdura, [*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.], Morelos, México<sup>3</sup>

Irene Iliana Ramírez-Bustos, Víctor López-Martínez, Porfirio Juárez-López, Dagoberto Guillén-Sánchez, Irán Alía-Tejacal, Ismael Rivera-León, Hugo Albeiro Saldarriaga-Noreña, Daniel Jiménez-García

#### 8.1. Resumen

La presencia de residuos de plaguicidas en productos vegetales y frutas, como consecuencia de la aplicación inadecuado en algunos casos, constituye un riesgo para la salud de la población; en México la norma oficial NOM-003-STPS-1999 sólo permite el uso de plaguicidas con registro fitosanitarios ante la Comisión estatal responsable para el control del proceso y uso de plaguicidas y sustancias tóxicas, que recomienda dosis permitidas en cultivos. A pesar de lo anterior, es todavía común encontrar residuos de plaguicidas en algunos productos vegetales. En este estudio fueron detectados Clorpirifos, Dimetomorf I, Malatión Ometoate, Carbendazim, e Imidacloprid en Nopal. El estudio se llevó a cabo en dos centros de acopio ubicados en el estado de Morelos. En total se tomaron sesenta muestras, treinta para cada centro de acopio, para un período de diez meses, con la finalidad de determinar los residuos de plaguicidas, se utilizó la metodología analítica, según la guía SANCO/12571/2013; en un laboratorio acreditado por la entidad de acreditación mexicana A. C. en la Norma NMX-EC-17025-IMNC-15 2006. El procedimiento para la extracción de los analitos se llevó a cabo utilizando el método europeo QuEChERS; se detectaron Clorpirifos, Dimetomorf I y Malatión mediante la técnica de cromatografía de gases acoplada espectrometría de masas y cromatografía líquida acoplada a espectrometría de masas, para determinar, Ometoate, Carbendazim e Imidacloprid. La mayor

---

<sup>3</sup> Este capítulo fue aceptado para su publicación en Agriculture, y sigue el formato de esta revista:

Ramírez-Bustos II, López-Martínez V, Juárez-López P, Alía-Tejacal I, Guillén-Sánchez D, Saldarriaga-Noreña H, León-Rivera I. Monitoring of pesticides in the cultivation of Nopal vegetable [*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill, Morelos, México. Agriculture (Agriculture-359431).

concentración de los plaguicidas, detectados fueron las muestras obtenidas del centro de acopio no reconocido, Clorpirifos 0,309 mg/kg (MRL 21 0.05), Dimetomorf I 0,029 mg/kg (LMR 0,05), Malatión 0,155 mg/kg (LMR 0,05), Ometoate 0.032 mg/kg (LMR 0,05), Carbendazim 0,090 mg/kg (LMR 0,05), Imidacloprid 0,058 mg/kg (LMR 0,05). Treinta por ciento de las muestras analizadas presentaron residuos de plaguicidas; siendo la más frecuente Carbendazim. Los resultados de consumo diario Estimado (EDI) oscilaron entre 6.5E-05 y 1.3E-04, para el cultivo de Nopal.

**Palabras claves:** Residuos de plaguicidas, QuEChERS, [*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.], consumo, riesgo.

### **Abstract**

The presence of pesticide residues in vegetable and fruit products, as a consequence of inappropriate application in some cases, constitutes a risk to the health of the exposed population. 6 In Mexico the official norm *NOM-003-STPS-1999* only allows the use of pesticides with 7 phytosanitary registry, buckskin the responsible state commission for the control of the process and use of pesticides and toxic substances, which recommends doses and permitted crops. Despite the above, it is still common to find pesticide residues in some vegetable products. In this study were detected Chlorpyrifos, Dimetomorph I, Malathion, Omethoate, Carbendazim and Imidacloprid in Nopal. The study was carried out in two collection centers located in the state of Morelos. In total 12 sixty samples were taken, thirty for each collection center, for a period of ten months. To determine 13 the pesticide residues it was used the analytical methodology, according to the guide 14 SANCO/12571/2013; a laboratory accredited by the Mexican Accreditation Entity A. C. in the norm 15 NMX-EC-17025-IMNC-2006. The procedure for extracting analytes was carried out using the 16 method *QuEChERS* European; Chlorpyrifos, Dimetomorph I and Malathion were detected, by the 17 gas chromatography coupled mass spectrometry and liquid chromatography coupled to 18 electrospray ionisation and quadrupole time-of-flight mass spectrometry were used to determine 19 Omethoate, Carbendazim and Imidacloprid. The highest concentration of the pesticides detected in 20 the samples obtained from the non-Certified Supply Center were, Chlorpyrifos 0.309 mg/kg (MRL 21 0.05), Dimetomorf I 0.029 mg/kg (MRL

0.05), Malathion 0.155 mg/kg (MRL 0.05), Omethoate 0.032 22 (MRL 0.05), Carbendazim 0.090 mg/kg (MRL 0.05), Imidacloprid 0.058 mg/kg (MRL 0.05). Thirty 23 percent of the samples analyzed showed pesticide residues; being the most frequent Carbendazim.

The results for Estimated Daily Intake (EDI) oscillated between 6.5E-05 y 1.3E-04, for the vegetable Nopal.

**Keywords:** Pesticide residues, *QuEChERS*, [*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill, Risk intake

## 8.2. Introducción

El uso de plaguicidas genera residuos, que representa un riesgo para el medio ambiente y la salud humana (PA, 2005). Para garantizar la seguridad de los productos agrícolas y sus derivados, los límites máximos de residuos (LMR) han sido establecidos en todo el mundo (SANCO, 2013).

En México la norma oficial NOM-003-STPS-1999 sólo permite el uso de plaguicidas con registro fitosanitario, ante la Comisión estatal responsable para el control del proceso y uso de plaguicidas y sustancias tóxicas, el uso inadecuado puede implicar riesgos para la salud, contaminación ambiental e interferir con el comercio internacional (Winter, 2012). Si un exportador de vegetales no es lo suficientemente cuidadoso en cumplir con los diferentes estándares en diversos países, tales errores podrían conducir a la detección de plaguicidas, para los que no se han establecido niveles máximos permitidos, dando por resultado violaciones (CESVMOR, 2015). Por lo tanto, es importante analizar y controlar los plaguicidas en los alimentos; para la evaluación precisa de los riesgos a la salud por exposición, son necesarios resultados analíticos precisos (Otake *et al.*, 2011).

Recientemente el nopal adquirió importancia en el mercado internacional, principalmente en los Estados Unidos de Norte América, donde el consumo aumentó en 128.0%, este comportamiento se atribuye al aumento de la población latina y la aceptación de la comida mexicana en este país (Callejas *et al.*, 2006, Winter, 2012). Según el monitoreo nacional llevado a cabo cada año por el Servicio Nacional de Sanidad Inocuidad y Calidad (SENASICA), donde se informó en 2007 la presencia de residuos de Paratión metílico, Metamidofós y Ometoate en nopal (SENASICA, 2014a). Los plaguicidas son ampliamente utilizados para proteger los alimentos contra las plagas y enfermedades, por esta razón, se implementó a través del Comité Estatal de Sanidad Vegetal del estado de Morelos en el año 2016, un programa de capacitación para obtener la acreditación de unidades de producción, en la aplicación de buen uso y manejo de agroquímicos (BUMA) (SENASICA, 2014b).

Actualmente los laboratorios que realizan análisis de plaguicidas, deben cumplir con una serie de pautas que aseguren la calidad de sus resultados, según ISO-17025 (Chen *et al.*, 2014). Para la determinación de plaguicidas en matrices muy complejas, es necesario la aplicación de métodos multiresiduos; estos métodos requieren de una validación analítica rigurosa. Conscientes de esta necesidad, la Dirección General de salud y los consumidores mediante la guía SANCO, estableció las directrices para la validación de un método analítico y los procedimientos de control de calidad que deben realizarse para el análisis de pesticidas residuos en productos agrícolas y sus derivados. Los criterios de aceptación para cada uno de los parámetros de validación incluyen la repetibilidad del método como un porcentaje del coeficiente de variación (20%) y porcentajes de recuperación entre 70-120% (SENASICA, 2017). En este sentido, el documento de orientación publicados por la organización para la cooperación económica y desarrollo (OCDE), establece que cualquier método analítico utilizado para analizar los residuos de plaguicidas en matrices complejas, tales como extractos obtenidos de productos vegetales, requiere el desarrollo de la química analítica de los métodos que demuestren que funcionan bien para el objetivo (OCD, 2017). Las técnicas analíticas que han mostrado que los mejores resultados para este tipo de compuestos son la cromatografía de gases y cromatografía líquida, ambos acoplados a espectrometría de masas, dada su alta sensibilidad y selectividad. Antes del análisis cromatográfico, se requiere la depuración exhaustiva de los extractos, especialmente en matrices complejas, con la intención de eliminar los efectos de la matriz, causada por la extracción conjunta de otros compuestos, que pueden interferir en la respuesta real de los compuestos de interés. Una de las técnicas más utilizadas de extracción para la determinación de plaguicidas en productos vegetales es la extracción líquido-líquido, seguida de una limpieza con extracción en fase sólida. Recientemente, se ha implementado un procedimiento de extracción general llamado "QuEChERS" (rápido, fácil, barato, eficaz, robusto, seguro) debido a su simplicidad, requiere pocas etapas, cantidad de muestra, procesamiento y es eficiente para la eliminación de impurezas en muestras complejas (Hou *et al.*, OMS, 1999). En el presente estudio, la determinación de residuos de plaguicidas en nopal fue validada en dos centros de acopio, uno de los cuales recibe unidades de producción

reconocidas y el otro de unidades de producción no reconocidas. Los plaguicidas detectados fueron Carbendazim, Clorpirifos, Dimetomorf I, Imidacloprid, Malatión y Ometoate; como estándar interno se utilizó Atrazina. Para la extracción y limpieza, se adaptó el método "QuEChERS". La calibración se realizó con la adición de múltiples estándares de los diferentes pesticidas en nopal, en seis niveles de concentración. Asimismo, los porcentajes de recuperación fueron evaluados, mediante la adición de concentraciones conocidas a muestras blancas de nopal.

### **8.3. Materiales y métodos**

#### **Reactivos y solventes**

Los plaguicidas analizados fueron Carbendazim (99,2), Clorpirifos (99.1%), Dimetomorf (99.5%), Imidacloprid (99.1%), Malatión (97,8%), Ometoate (99.1%) y Atrazina (99.2%) de la marca AccuStandar®, Inc. Los solventes utilizados fueron grado absolv. (Tolueno, acetonitrilo, metanol, ácido acético, ácido fórmico y agua, marca TEDIA®).

#### **Curvas de calibración**

Las curvas de calibración se realizaron con seis puntos; cada punto de calibración se preparó, pesando 10 g de nopal (previamente triturado) en tubos plásticos de 50 mL, para ser fortificado con mezclas de estándares en seis niveles de concentración, en un rango de concentración entre 0.107 y 21.748 ng/mL; como estándar interno se utilizó Atrazina en una concentración de 133 ng/mL. Las relaciones de la concentración de cada compuesto en la concentración del patrón interno se usaron versus las relaciones de las áreas de cada estándar sobre el área del estándar interno, para realizar gráficos de regresión lineal, donde se obtuvieron las ecuaciones de regresión para cada uno de los gráficos de regresión lineal.

#### **Colecta de muestras**

Se realizó en dos centros de acopio ubicados en el estado de Morelos, el primero de ellos "San José", ubicado en Tlayacapan (18.971059 E, -98.98835 N), que es abastecido por productores acreditados en Buen Uso y Manejo de Agroquímicos, el

otro sitio "La Espina Verde SPR de RL" ubicado en Tlalnepantla (18.971059 E, - 98.98835 N), que es suministrado por productores no acreditados. La metodología establecida por el Codex Alimentarius para la determinación de residuos de plaguicidas (CAC / GL 33-1999), establece que con un mínimo de 45 y 59 muestras por año, garantiza entre el 90 y el 95% de confianza, con lo cual se detecta al menos una incidencia de 5%. En este estudio, en total se tomaron sesenta muestras, treinta para cada centro de reunión durante diez meses, tomando tres muestras por mes.

En el laboratorio, las muestras se trataron con procedimientos estandarizados, basados en el documento guía sobre procedimientos de validación y control de calidad de métodos analíticos para la determinación de residuos de plaguicidas en alimentos y piensos (SANCO / 12571/2013 implementado el primero de enero de 2014). De cada centro de reunión, se seleccionaron aleatoriamente 1,5 kg (10 piezas) de nopal, se colocaron dentro de bolsas estériles de polietileno, se refrigeraron y se transportaron al laboratorio para su análisis.

Las muestras fueron procesadas y analizadas en el Centro Nacional de Referencia de Plaguicidas y Contaminantes (CNRPC), que pertenece al Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA), laboratorio acreditado en la norma NMX-EC-17025-IMNC-2006 / ISO / IEC17025: 2005, que establece los requisitos que los laboratorios de prueba y calibración que deben cumplir.

### **Preparación y limpieza de muestras**

El procedimiento de extracción de los plaguicidas de las muestras de Nopal utilizadas, fue mediante el método "QuEChERS". Después de la homogenización de la muestra en una licuadora, se pesaron 10 g en un tubo de centrifuga de PTFE de 50 ml, se agregaron 10 ml de solución de Atrazina como estándar interno (EI, 133 ng / ml), 1 g de citrato de sodio ( $\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$ ) y 1 g de Cloruro de Sodio ( $\text{NaCl}$ ), se agregaron 4 g de Sulfato de Magnesio ( $\text{MgSO}_4$ ) a cada tubo, se agitó vigorosamente durante 2 minutos, se llevó a un baño de ultrasonido durante 5 minutos y finalmente, las muestras agitadas se centrifugaron a 3.500 rpm durante 2 minutos.

De la solución anterior, se tomó una alícuota de 3 ml en un tubo de plástico, que contenía 900 mg de sulfato de magnesio ( $\text{MgSO}_4$ ), 150 mg de PSA (amina primaria y

secundaria), 150 mg de resina C18 y 80 g de carbón activado, se agitó durante un minuto en un vórtice, se centrifugó a 3.500 rpm durante dos minutos. El sobrenadante se filtró a través de una membrana de nylon (0,2  $\mu\text{m}$ ), el filtrado se dividió en dos viales iguales de 2.5 ml, uno se usó para el análisis por cromatografía de gases y el otro para la cromatografía líquida.

### **Análisis por cromatografía de gases**

El análisis de Malathion, Clorpirifos y Dimetomorph I, se realizó en un cromatógrafo de gases en tándem con espectrometría de masas, modelo triple cuadrupolo 7000 C (Agilent), equipado con una columna 1909 1 S-431UI, HP-5MS UI (15 mx 250  $\mu\text{m}$  x 0.25  $\mu\text{m}$ ) (Agilent). El programa de temperatura del horno se estableció de la siguiente manera: inicialmente 80 ° C durante 1 minuto, con incrementos de 15 °C min<sup>-1</sup> hasta 180 ° C (allí permaneció durante 2 min), posteriormente se aumentaron 5 ° C min<sup>-1</sup> hasta que alcanzar 330 ° C (por 5 min). El helio se usó como gas portador y nitrógeno como gas de colisión, ambos grado masas (99,9999%).

### **Análisis por cromatografía líquida**

El análisis de Ometoate, Carbendazim e Imidacloprid fue realizado por UPLC TQ MS, Mass Lynx V4.1 (Waters). Para la separación de los compuestos se utilizó un gradiente de 0 min: 20% A, 80% B 2.30 min: 0% A, 80% B, 2.80 min: 20% A, 80% B, la fase móvil "A" constituida por una mezcla de agua: metanol al 0,1% en ácido fórmico (98: 2), por otro lado, la fase móvil "B" era una mezcla de metanol al 0,1% en ácido fórmico, a un flujo constante de 0,35 ml / min. Se usó una columna cromatográfica C18 (Acquity, UPLC BEH C18 1,7  $\mu\text{m}$ , 2,1x100 mm). El voltaje capilar fue 1.0 kV, el gas de solvatación utilizado fue nitrógeno, 1000 L / h (500 °C), mientras que el argón se usó como gas de colisión, a un flujo de 0.15 ml / min, durante un tiempo de ejecución de 4.5 minutos.

### **Evaluación de porcentajes de recobro**

La eficiencia de la metodología se evaluó mediante el enriquecimiento de tres muestras de nopal, cada una de 10 g, con una mezcla en solución de los seis

plaguicidas a una concentración de 5,0 ng/ml, extraída bajo las mismas condiciones que las muestras, con los valores de concentración observados después de la extracción y la concentración añadida, se calcularon los porcentajes de recuperación para cada compuesto; la precisión del método se calculó, expresada como desviación estándar relativa (% DSR).

### **Evaluación del riesgo dietético en la salud humana**

El riesgo para la salud humana se evaluó en función de la concentración de residuos de plaguicidas en nopal. La ingesta diaria estimada (IDE) se encontró al multiplicar la concentración de pesticida residual ( $\text{mg/kg } 165^1$ ) por la tasa de consumo de alimentos ( $\text{kg día}^{-1}$ ) y dividir por un peso corporal de 60 kg para la población adulta 166. El consumo promedio diario de vegetales para adultos se consideró  $0.025 \text{ kg/persona/día}$  167 según el atlas agroalimentario de México (SIAP, 2017).

$$EDI = \frac{LP*HR}{bw} \quad (1)$$

#### **Dónde:**

**LP:** La porción más alta reportada (97.5 percentil de comedores), en kg de alimento por día.

**HR:** El mayor residuo en la muestra compuesta de porción comestible encontrada en los ensayos supervisados y utilizados para estimar el nivel máximo de residuos, en  $\text{mg/kg}$  174.

**bw:** peso corporal.

## **8.4. Resultados y discusión**

### **Optimización de las condiciones analíticas**

La identificación y cuantificación de los plaguicidas se basó en el criterio especificado en la decisión 178 de la Comisión Europea 2002/657/CE (SANCO 12571/2013). El tiempo de retención de 179 del analito extraído debe corresponderse con el del estándar de calibración con una tolerancia de  $\pm 0.2 \text{ min}$ .

La intensidad relativa de los iones debe cumplir con una tolerancia permitida de  $\pm 30\%$ .

El límite de detección instrumental se calculó de acuerdo con Miller y Miller 2005 (James y Jane, 2014), utilizando la concentración 183 que proporciona una señal que es igual a la señal correspondiente al blanco ( $YB = S_{y/x}$ ) 184 más tres veces la desviación estándar del blanco ( $SB = a$ ).

$$LDI = YB + 3 * SB \quad (2)$$

El límite de detección del método (LDM) se define como la concentración mínima de un compuesto que se puede determinar en una matriz específica con un método de análisis particular, dependiendo de la LDI y la recuperación de un analito por el método desarrollado.

El LDM para cada uno de los pesticidas identificados en nopal, se calculó de la siguiente manera:

$$MDL = IDL * V * 100 / M * \%R \quad (3)$$

**LDI:** Límite de detección instrumental

**V:** Volumen final, mL

**M:** Peso de muestra, kg

**% R:** Porcentaje de recuperación para cada analito

La cuantificación de los plaguicidas se realizó mediante el método estándar interno, teniendo en cuenta las áreas Cuadro 1, relativas de los picos de cada uno de los plaguicidas en el área del estándar interno. 1 muestra el modo de análisis, los tiempos de retención, LDI, LDM, porcentaje de recuperación y precisión como desviación estándar relativa (DSR) para el plaguicida analizado; Clorpirifos, Dimethomorph I y Malatión se detectaron mediante cromatografía de gases, mientras que Ometoate Carbendazim e Imidacloprid se determinaron mediante cromatografía líquida, ambas técnicas acopladas a espectrometría de masas.

**Cuadro 1.** Modo de análisis, TR, LDI, LDM, % de recuperación y % de DRS de plaguicidas determinados en nopal.

Analito	Técnica	RT (min)	LDI	LDM	% Recobro	% DRS
			ng/mL	mg/Kg		
Ometoate	UPLC	1.760	0.0630	0.000016	85.4	7.45
Carbendazim	UPLC	2.200	0.0193	0.000005	86.4	7.35
Imidacloprid	UPLC	3.080	0.0053	0.000001	87.3	6.42
Malatión	GC	9.772	0.0234	0.000006	88.3	6.82
Clorpirifos	GC	9.776	0.0167	0.000004	84.8	9.94
Dimetomorph I	GC	18.279	0.0749	0.000019	86.6	7.05

Los porcentajes de recuperación variaron entre 84.8 y 88.3%, para Clorpirifos y Malatión respectivamente. Por otro lado, las LDM estaban entre 0.000001 y 0.000002 mg/kg para Imidacloprid y Dimetomorf I, respectivamente. Mientras tanto, todos los coeficientes de correlación para todos los compuestos analizados fueron mayores que 0,991. Todos los LDM estaban por debajo de los Residuos Límite Máximos (MLR) establecidos por el CODEX para productos vegetales (OMS, 1999).

### **Concentraciones de residuos de plaguicidas**

De las sesenta muestras de nopal analizadas, se encontraron residuos de plaguicidas en dieciocho de ellas (30%), que corresponden al Centro de Acopio Espina Verde SPR de RL, el cual se abastece de parcelas no reconocidas en Buen Uso y Manejo de Agroquímicos (BUMA). El plaguicida que se presentó en un mayor número de muestras fue Carbendazim (18), seguido de Clorpirifos e Imidacloprid (15), Malatión (4), Dimetomorf I (2) y Ometoate (1), respectivamente (Figura 1). La mayor concentración de pesticidas detectada en las muestras obtenidas de las parcelas no reconocidas fueron, Clorpirifos 0,309 mg/kg (MRL 0,05), Dimetomorf I 0,029 mg/kg (MRL 0,05), Malatión 0.155 mg/kg (MRL 0.05), Ometoate 0.032 (LMR, 0.05), Carbendazim 0.090 mg/kg (LMR 0.05) e Imidacloprid 0.058 mg/kg (LMR 0.05). La norma mexicana establece un LMR de 0.05 mg/kg para aquellos productos para los

cuales no hay información al respecto (SENASICA, 2017). Considerado este criterio, encontramos que Clorpirifos, Malatión, Carbendazim e Imidacloprid rebasan los límites permitidos.

**Cuadro 2.** Concentraciones de residuos de plaguicidas observados en el centro de acopio abastecido por productores reconocidos.

Muestra	Plaguicidas detectados por cromatografía de gases (mg/kg)			Plaguicidas detectados por cromatografía de líquidos (mg/kg)		
	Clorpirifos	Dimetomorf I	Malatión	Ometoato	Carbendazim	Imidacloprid
1	0.002	0.029	0.086	0.032	0.033	0.027
2	0.309	0.014	0.081	N D	0.037	0.027
3	0.003	N D	0.091	N D	0.037	0.027
4	0.004	N D	0.155	N D	0.033	0.027
5	0.003	N D	N D	N D	0.037	0.031
6	0.002	N D	N D	N D	0.035	0.027
7	0.002	N D	N D	N D	0.053	0.027
8	0.003	N D	N D	N D	0.032	0.039
9	0.219	N D	N D	N D	0.033	0.058
10	0.003	N D	N D	N D	0.045	0.027
11	0.209	N D	N D	N D	0.090	0.027
12	0.030	N D	N D	N D	0.033	0.037
13	0.028	N D	N D	N D	0.033	N.D.
14	0.059	N D	N D	N D	0.033	N.D.
15	0.040	N D	N D	N D	0.087	N.D.
16	N D	N D	N D	N D	0.051	N.D.
17	N D	N D	N D	N D	0.033	N.D.
18	N D	N D	N D	N D	0.049	N.D.

ND: no detectado

Valores de LMRs en mg/kg: Clorpirifos 0.01, Ometoate 0.01, Malatión 0.01, Carbendazim 0.01, 236 Dimetomorf I (0.01)

**Figura1.** Frecuencia de detección de plaguicidas en nopal.



Los resultados obtenidos revelan la presencia de residuos de plaguicidas en el vegetal nopal, en las muestras tomadas en el centro de acopio no reconocido, lo que indica que las medidas de control que se implementaron en el Uso y Manejo de Agroquímicos en 243 fue efectivo, si se toma en cuenta que en el centro de acopio reconocido no se detectaron residuos de plaguicidas. La Organización Mundial de la Salud considera que Carbendazim, Clorpirifos y Dimetomorph I, como no muy tóxicos; Imidacloprid y Malathion como moderadamente tóxicos, mientras que Ometoato se considera altamente tóxico y disruptor endocrino (OMS, 1999). Aunque algunos de estos compuestos están prohibidos en muchos países, todavía se usan clandestinamente (Briones, 2012). El consumo continuo de alimentos contaminados con este tipo de sustancias produce efectos negativos a largo plazo en la salud humana ya que los plaguicidas tienden a acumularse en los tejidos de los organismos vivos (Badii, 2015).

### **Evaluación de la salud humana con riesgo dietético**

Los resultados para EDI oscilaron entre  $6.5E-05$  y  $1.3E-04$ , para el Nopal vegetal, no existe un valor EDI con el que se puedan contrastar los valores obtenidos en este estudio, en principio se podría considerar que las concentraciones residuales observadas no representa ningún riesgo para la salud humana, sin embargo sigue siendo un riesgo ya que este vegetal es básico en la dieta diaria de la población mexicana, esto aunado a la ingesta de otros vegetales y frutas, que podrían presentar algunos otros residuos de plaguicidas.

## 8.5. Conclusiones

El método analítico desarrollado permitió determinar la cantidad de residuos de seis plaguicidas en nopal; la etapa de limpieza utilizando el método QuEChERS permitió obtener buenas eficiencias en la recuperación de los compuestos, los porcentajes de recuperación de todos los plaguicidas analizados fueron superiores al 86.3% con coeficientes de variación por debajo del 10%, lo que indica una buena repetibilidad de la metodología optimizada, también se puede mencionar que todas las concentraciones de pesticidas estuvieron dentro de los límites máximos permitidos; finalmente, solo se observaron residuos de plaguicidas en el centro de acopio que no estaba reconocido en el Buen Uso y Manejo de Agroquímicos.

La presencia de residuos de plaguicidas en algunas de las muestras analizadas es consecuencia de la aplicación de diferentes tipos de plaguicidas para proteger los cultivos de las diferentes plagas y enfermedades que los atacan. Los resultados obtenidos indican que los agricultores no tienen en cuenta las precauciones con respecto al uso adecuado de los plaguicidas, que pueden causar problemas de salud tanto para los agricultores como para los consumidores de los productos.

La frecuencia de aplicación de pesticidas en productos vegetales puede ser dos veces al mes o una vez por semana, dependiendo del tipo de cultivo; este problema se magnifica cuando los agricultores tienen poco conocimiento sobre el manejo de pesticidas.

Actualmente una de las prioridades es el desarrollo de estrategias para reducir el uso de plaguicidas, el desarrollo de programas de capacitación que permitan a los agricultores utilizar de manera adecuada estas sustancias, así como la búsqueda de alternativas químicas o biológicas para el control de plagas. En este sentido, es importante apoyar con las entidades reguladoras, que son las que establecen las pautas para la gestión y distribución de plaguicidas; los consumidores de productos agrícolas deben conocer las medidas prácticas que deben tomarse en cuenta para reducir la contaminación por plaguicidas en productos agrícolas frescos, especialmente frutas y verduras que pueden consumirse crudas.

## 8.6. Literatura citada

- European Commission. (2013). Guidance document on analytical quality control and validation procedures for pesticide residues analysis in food and feed. Directorate General Health and Consumer Protection. SANCO/12571/2013, 3:39.
- Badii, M. H., & Landeros, J. (2015). Plaguicidas que afectan a la salud humana y la sustentabilidad. CULCyT, Toxicología de Plaguicidas (19).
- Briones-Salas, M. (2012). Mamíferos de Oaxaca. *Therya*, 3(3), 273-275.
- Callejas J. N., Matus G. J., García S., Martínez D., Salas G., (2006) Current situation and market outlook for tuna, nopalito and derivatives in the State of Mexico. *Agrociencia*. 43(1), 73-82.
- Comité Estatal de Sanidad e Inocuidad del Estado de Morelos (CESVMOR) (2015) consultado en Noviembre del 2015, <http://www.cesvmor.org.mx/index.php/ia>. Accessed January 20, 2018.
- Chen, H., Yin, P., Wang, Q., Jiang, Y., & Liu, X. (2014). A modified QuEChERS sample preparation method for the analysis of 70 pesticide residues in tea using gas chromatography-tandem mass spectrometry. *Food Analytical Methods*, 7(8), 1577–1587.
- Hou, R. Y., Jiao, W. T., Xiao, Y., Guo, J. G., Lv, Y. N., Tan, H. R., et al. (2015). Novel use of PVPP in a modified QuEChERS extraction for UPLC–MS/MS analysis of neonicotinoid insecticides in tea. *Analytical Methods*, 7, 5521–5529.
- James N. Miller and Jane C. Miller. (2004). *Statistics and Chemometrics for Analytical Chemistry*. Fourth Edition. Pearson Education. New York.
- Norma Oficial Mexicana NOM-003-STPS-1999. Actividades agrícolas-Uso de insumos fitosanitarios o plaguicidas e insumos de nutrición vegetal o fertilizantes- Condiciones de seguridad e higiene. (2002) 3 (3). [http://www.respyn.uanl.mx/iii/3/contexto/norma\\_agricola.html](http://www.respyn.uanl.mx/iii/3/contexto/norma_agricola.html) Accessed January 15, 2018.
- Organization for Economic Co-operation and Development (OECD) (2007), Environment, Health and Safety Publications, Series on Testing and

- Assessment No.72 and No. 39. Guidance document on pesticide residue analytical methods ENV/JM/MONO (2007) Accessed December 21, 2017.
- Organización mundial de la salud (OMS) (1999), Organización de las Naciones unidas para la Alimentación y la Agricultura, (FAO). Métodos de muestreo recomendados para la determinación de residuos de plaguicidas a efectos del cumplimiento de los LMR, Codex Alimentarius, Normas Internacionales de los alimentos. CXG 033.
- Organización mundial de la salud (OMS) (1999). Organización de las Naciones unidas para la Alimentación y la Agricultura, (FAO). Métodos de muestreo recomendados para la determinación de residuos de plaguicidas a efectos del cumplimiento de los LMR, Codex Alimentarius, Normas Internacionales de los alimentos. CXG 033.
- Organización mundial de la salud (OMS) (1999), Organización de las Naciones unidas para la Alimentación y la Agricultura, (FAO). Métodos de muestreo recomendados para la determinación de residuos de plaguicidas a efectos del cumplimiento de los LMR, Codex Alimentarius, Normas Internacionales de los alimentos. CXG 033.
- Otake, T., Yarita, T., Aoyagi, Y., Kuroda, Y., Numata, M., Iwata, H., & Fujikawa, T. (2011). Development of green onion and cabbage certified reference materials for quantification of organophosphorus and pyrethroid pesticides. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59 (16), 8568-8574.
- Regulation EC/396/2005 of the European Parliament and of the Council of February 23, on Maximum Residue Levels of Pesticides in or on Food and Feed of Plant and Animal Origin and Amending Council Directive 91/414/EEC., Strasbourg, (2005).
- Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA) (2014) Plan de acción preventivo Nopal; Acciones para reducir los riesgos de contaminación por plaguicidas durante el proceso productivo, empaclado, transporte y distribución de nopal dentro y fuera del país, 39-44.
- Servicio Nacional de Sanidad Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA) (2017). Procedimiento por el que se establecen los Criterios y requisitos para

el reconocimiento de la competencia técnica de Laboratorios de análisis de residuos de plaguicidas, de detección de organismos patógenos y otros contaminantes en vegetales, 26:27.

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) (2017). Atlas Agroalimentario 2017., <http://online.pubhtml5.com/clsi/ibhs/#p=122>, 120-121. Accessed August 15, 2018.

Servicio Nacional de Sanidad e Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA) (2017). Procedimiento por el que se establecen los criterios y requisitos para el reconocimiento de la competencia técnica de Laboratorios de análisis de residuos de plaguicidas, de detección de organismos patógenos y otros contaminantes vegetales. Anexo 6. Especificaciones de desempeño de los métodos de análisis de los laboratorios coadyuvantes del SENASICA en el “Plan de acción para la prevención de Contaminación Química por residuos de plaguicidas durante la producción primaria de Aguacate” y análisis Multiresidual de plaguicidas en productos vegetales.

Winter, C. K. (2012). Pesticide residues in imported, organic, and “suspect” fruits and vegetables. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60 (18), 4425-4429.

Winter, C. K. (2012). Pesticide residues in imported, organic, and “suspect” fruits and vegetables. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60 (18), 4425-4429.

## 9. Capítulo 4

### **Curvas de disipación de cuatro plaguicidas en nopal verdura [*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.], en Morelos México**

Dissipation curves of four pesticides in nopal vegetable [*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.], in Morelos México

Irene Iliana Ramírez-Bustos, Víctor López-Martínez, Porfirio Juárez-López, Dagoberto Guillén-Sánchez, Irán Alía-Tejacal, Ismael Rivera-León, Hugo Albeiro Saldarriaga-Noreña, Daniel Jiménez-García

#### **9.1. Resumen**

En este trabajo se evaluó el periodo de carencia mediante la representación gráfica en curvas de disipación de cuatro ingredientes activos Cipermetrina, Malation, Clorpirifos y Clorotalonil, en el cultivo de nopal verdura [*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.]. El ensayo se llevó a cabo en el municipio de Cuernavaca, campo experimental de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos. La detección de los plaguicidas se realizó mediante la técnica de extracción QuEChERS Europeo, en un cromatógrafo de gases en tándem con espectrometría de masas. Los resultados que se obtuvieron para determinar los periodos de carencia de cuatro ingredientes activos, para las aplicaciones de dosis mínimas, coincidieron en disiparse a los diez días para Cipermetrina, Malation, Clorpirifos, y Clorotalonil. Para el caso de las aplicaciones de dosis máximas, Cipermetrina, Malation y Clorpirifos se disiparon a los quince días, en Clorotalonil se detectó  $0.002 \text{ mg/kg}^{-1}$ .

**Palabras claves:** Disipación, QuEChERS, [*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.], periodo de carencia.

## **Abstract**

In this work, evaluated the period by means of the graphic representation in dissipation curves of four active ingredients Cipermetrin, Malation, Chlorpyrifos and Chlorothalonil, in the cultivation of nopal vegetable, [*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.]. The trial was conducted in the municipality of Cuernavaca, experimental field of the Faculty of Agricultural Sciences of the Autonomous University of the State of Morelos. The detection of pesticides gave carried out using the extraction technique QuEChERS European, in a tandem gas chromatograph with mass spectrometry. The results that were obtained to determine the periods of lack of four active ingredients, for the applications of minimum doses, they agreed to dissipate after ten days for Cipermetrina, Malation, Chlorpyrifos, and Chlorothalonil. For the case of maximum dose applications, Cypermethrin, Malation and Chlorpyrifos dissipated after fifteen days, in Chlorothalonil it was detected  $0.002 \text{ mg/kg}^{-1}$ .

**Kay words:** Dissipation, QuEChERS, [*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.], lack period.

## 9.2. Introducción

La especie cactácea con mayor importancia económica en el mundo es el nopal verdura [*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.] (Kiesling, 1999), en 2017, se cultivaron 12,620.4 ha en 26 estados de la República Mexicana, con un volumen de 810,938.99 t (SIAP 2018). A este cultivo le afecta una gran cantidad de plagas y enfermedades, donde destacan el picudo [*Metamasius spinolae* (Gyllenhal)] (García, 1965; Mann, 1969; Badii y Flores, 2001), la cochinilla o grana (*Dactylopius indicus* Cockerell), la chinche gris [*Chelinidea tabulata* (Burmeister)]. A pesar de que no existen plaguicidas autorizados en México para su control, este hecho no limita a los productores para el uso de productos químicos (Cerón-González *et al.*, 2012).

Los plaguicidas son uno de los mayores contaminantes de origen antrópico en los ambientes naturales, al aplicarse frecuentemente en la actividad agrícola (Konstantinou *et al.*, 2006), generan como consecuencia la posibilidad de encontrar residuos en los alimentos y los seres humanos pueden estar expuestos a dichas sustancias al consumirlos (Valencia y Guerrero, 2008). Los factores naturales como la biodegradación, la fotodegradación y la hidrólisis química disminuyen su persistencia (Narváez *et al.*, 2012). Estos procesos favorecen la excitación, ruptura y/o reacomodamiento de enlaces químicos, que llevan a la transformación parcial de los compuestos parentales (Belfroid *et al.*, 1998). Solo su mineralización, en la que se produce H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub> y otros minerales, asegura la reducción o eliminación de los efectos tóxicos de los plaguicidas (Raymond *et al.*, 2001), su persistencia está relacionada con la eficiencia de los procesos de transformación en condiciones naturales (Reemtsma y Jekel, 2006), siendo la transformación un factor determinante en la dispersión (Arias-Estévez *et al.*, 2008).

El análisis de residuos de plaguicidas en matrices vegetales, se hace por medio de técnicas instrumentales en cromatografía de gases y cromatografía líquida de alta eficiencia, éstas deben ser de carácter multiresidual, deben tener altas recuperaciones y elevada robustez (Tekel & Hatrík, 1996). En la actualidad, el avance de estas técnicas de análisis químico y de los equipos analíticos precisos permite detectar concentraciones muy bajas de plaguicidas o de sus metabolitos (Pérez *et al.*, 2013).

En el cultivo de nopal verdura no se cuentan con agroquímicos autorizados, por lo que se desconoce el periodo que debe transcurrir entre la aplicación y la cosecha; considerando que la cantidad de plaguicida que queda sobre un vegetal después de una aplicación, depende, entre otros factores, de la dosis, es necesario conocer como varían estos residuos en función del tiempo, para determinar el período de “tolerancia” y así determinar el “plazo de seguridad” (Coscollá, 1993). Las curvas de disipación son representaciones gráficas de la evolución de las cantidades de residuos de un plaguicida o fungicida en función del tiempo (Delgado *et al.*, 2011), con esto es posible recomendar un período de seguridad para un determinado plaguicida o fungicida y la cosecha, que permita respetar el límite máximo de residuos (LMR) previamente establecido o que va a establecerse (Yagüe, 1990). Por lo que el objetivo del presente trabajo es obtener experimentalmente las curvas de disipación de Clorpirifos etil, Malatión, Cipermetrina y Clorotalonil, para las dosis máximas y mínimas utilizadas comúnmente por los productores de nopal verdura en el estado de Morelos, México.

### 9.3. Materiales y métodos

**Lugar de estudio.** El ensayo se llevó a cabo en el municipio de Cuernavaca, campo experimental de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos (18.7317 N, -98.9182 O); suelo tipo andosol vítrico (TV 14-2b) (UNESCO, 1975); clima templado (Atkinson *et al.*, 1986), temperatura promedio de 28°C, humedad relativa de 65% y una iluminancia de 10,752 lux.

**Manejo del cultivo.** Previo a la siembra y primer cosecha de pencas, se realizó análisis multiresidual de plaguicidas en suelo y cladodios; no se detectó ningún tipo de ingredientes activos de plaguicidas o fungicidas (las muestras fueron analizadas en Agrolab S.A. de C.V., ubicado en Actopan, Pachuca, México). Se sembraron pencas de nopal verdura variedad Milpa Alta, (variedad que se cultiva en la región productora de Morelos) en una superficie de 500 m<sup>2</sup>, la distancia entre pencas fue de 40 cm y entre surcos de 1.4 m, un mes posterior al trasplante se aplicó abono orgánico de vaca composteado, el manejo agronómico fue el recomendado por INEGI (2007), llevando mediante podas hasta un tercer nivel la plantación para cosecha, (no se aplicaron

agroquímicos para la protección del cultivo) el riego se realizó por gravedad semanalmente.

**Ingredientes activos.** Se utilizaron los productos comerciales indicados en el Cuadro 1, dos insecticidas-acaricidas organofosforados, un insecticida piretroide, y un fungicida de contacto y amplio espectro del grupo químico Cloronitrilo; todos productos ampliamente empleados en la región nopalera de Morelos (Ramírez-Bustos *et al.*, 2018a).

**Cuadro 1.** Clasificación y características\* de los agroquímicos utilizados.

Nombre Comercial	Ingrediente activo	Modo de acción	Grupo químico	Fórmula molecular
Disparo®	Clorpirifos etil	Insecticida/ acaricida	Organofosforado/ Piretroide	C <sub>7</sub> H <sub>7</sub> Cl <sub>3</sub> NO <sub>3</sub> PS C <sub>22</sub> H <sub>19</sub> Cl <sub>2</sub> NO <sub>3</sub>
Malathion® 1000	Malatión	Insecticida/ acaricida	Organofosforado	C <sub>10</sub> H <sub>19</sub> O <sub>6</sub> PS <sub>2</sub>
Siroco® 20 EC	Cipermetrina	Insecticida	Piretroide	C <sub>21</sub> H <sub>20</sub> Cl <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Talonil® 75	Clorotalonil	Fungicida	Cloronitrilo	C <sub>8</sub> Cl <sub>4</sub> N <sub>2</sub>

\*Adaptado de EURL-Data pool (<https://www.eurl-pesticides-datapool.eu/>).

Los plaguicidas se aplicaron en dosis máxima y mínima, de acuerdo a lo utilizado por los productores de manera local (Ramírez-Bustos, datos sin publicar). Las aplicaciones de los productos se realizaron a partir del tercer nivel de pencas, utilizando aspensor manual con presión constante de 40 libras (360/min), boquilla de pulverización de cono huevo VisiFlo® TXA8001VK (Conejet®); cada tratamiento fue aplicado en tres ocasiones con intervalo de una semana.

**Diseño experimental.** Se realizó en bloques completamente al azar, con nueve tratamientos y cuatro repeticiones (Cuadro 2); cada unidad experimental tuvo un área de 1.20 x 5 m<sup>2</sup>, donde se seleccionaron seis plantas centrales para la colecta de muestras.

**Cuadro 2.** Tratamientos realizados con tres aplicaciones (ingrediente activo y dosis).

No. Tratamiento	Ingrediente activo	Dosis
-----------------	--------------------	-------

T <sub>1</sub>	Cipermetrina	3 mL/L
T <sub>2</sub>	Cipermetrina	5 mL/L
T <sub>3</sub>	Malation	1.5 mL/L
T <sub>4</sub>	Malation	3 mL/L
T <sub>5</sub>	Clorpirifos etil	1.5 mL/L
T <sub>6</sub>	Clorpirifos etil	3 mL/L
T <sub>7</sub>	Clorotalonil	1.5 mL/L
T <sub>8</sub>	Clorotalonil	3 mL/L
T <sub>9</sub>	Testigo	Sin aplicaciones

Los tamaños cosechados se basaron en la NMX-FF-068-1998, con un tamaño “B” que corresponde a un tamaño de 21 a 24 cm, en función de la longitud para nopal verdura con espinas, de cada repetición se cosecharon 15 cladodios al azar, estas se analizaron individualmente y se cosecharon a las 24 horas posteriores al último día de aplicación, tres, seis, diez y quince días; manteniendo buenas prácticas de colecta en la preservación y transporte del material vegetativo (SENASICA, 2012).

**Análisis de muestras.** Las muestras fueron procesadas y analizadas en el Centro Nacional de Referencias de Plaguicidas y Contaminantes (CNRCP), (Laboratorio acreditado en la norma NMX-EC-17025-IMNC-2006/ISO/IEC17025: 2005, y la Entidad Mexica de Acreditación) mediante la técnica de extracción QuEChERS Europeo, en un cromatógrafo de gases en tándem con espectrometría de masas, modelo triple cuadrupolo 7000 C (Agilent), equipado con una columna 1909 1 S-431UI, HP-5MS UI (15 mx 250 µm x 0.25 µm) (Agilent).

**Procesamiento de datos para las curvas de disipación.** Una vez obtenidos los datos por tratamiento y sus respectivas repeticiones, se procesaron calculando la media de los resultados; para obtener un valor por tratamiento y día de colecta, los residuos de plaguicidas se expresan cuantitativamente en miligramos del residuo por kilogramos del producto vegetal (mg/kg-1) (Coscolla, 1993); esto se graficó individualmente por cada ingrediente activo con su correspondiente dosis máxima y mínima en Excel office 2010.

#### 9.4. Resultados y discusión

En el cultivo de nopal verdura no existen reportes de periodo de disipación de los cuatro ingredientes activos objeto de este estudio, por lo que se tomó como referencia trabajos realizados en diferentes matrices; considerando que el periodo de carencia es el tiempo mínimo, expresado en días, que debe transcurrir entre la última aplicación de un agroquímico y la cosecha del producto, para garantizar que el plaguicida aplicado se haya disipado (CASAFE, 2011).

**Cipermetrina.** Es uno de los piretroides más usados en el control de vectores a causa de su alta selectividad y efecto triatómico (Moncayo, 1992; Zerba, 1988), está compuesto por ocho isómeros distintos, (WHO, 1998). La sensibilidad del pesticida a la luz y a ciertas temperaturas son los dos factores más importantes que determinan la duración residual, por lo que su degradación es relativamente rápida (Bonansea, 2013, Perruzo *et al.*, 2003), su vida media en el suelo puede oscilar en tres dos y ocho semanas dependiendo de las condiciones climáticas y biológicas (Esteban, 2016), de acuerdo a la etiqueta del producto comercial, se recomiendan los siguientes intervalos por cultivo: frijol (30 días), maíz (1 día) y soya (7 días), el periodo de disipación encontrado para la dosis mínima (Figura 1) en este ingrediente activo es intermedio, en relación al periodo recomendado para frijol. En unidades de  $\text{mg/kg}^{-1}$ , el comportamiento grafico de la disipación de la dosis máxima referente a la dosis mínima, fue similar (Figura 1), disminuyendo proporcionalmente, en concentraciones que iniciaron en  $1.638 \text{ mg/kg}^{-1}$  dosis mínima, hasta disiparse por completo en diez días; para el caso de la dosis máxima inicio con una concentración máxima de  $1.861 \text{ mg/kg}^{-1}$ , por lo que el periodo de carencia fue de 15 días.

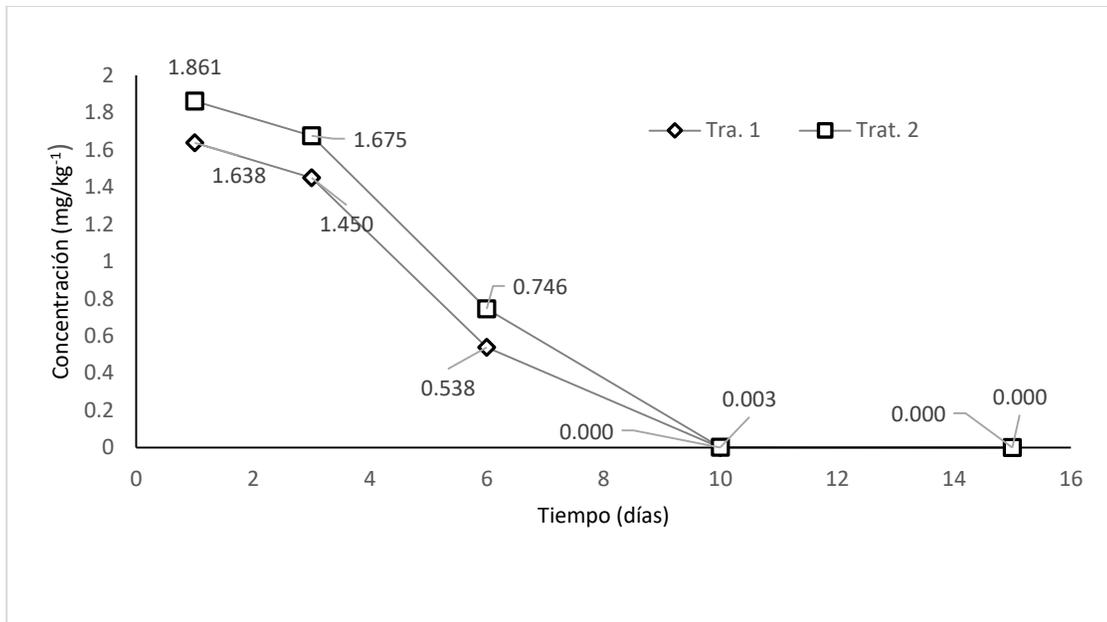


Figura 1. Curvas de disipación para dos dosis de aplicación (máxima y mínima) de Cipermetrina, en nopal verdura en Morelos, México.

**Malatión.** Es un plaguicida organofosforado de contacto, usado para combatir insectos succionadores en cultivos como frutales, y verduras (Ayala, 2000), se puede degradar en presencia de la luz solar en un periodo no muy largo (Murcia *et al.*, 2008), en el cultivo de tomate (*Solanum Lycopersicum*) Lapis *et al.*, (1994) reporta que se disipa debido a su característica de volatilización; en el cultivo de guayaba (*Psidium guajava* L.) Sánchez *et al.*, (2005) lo describe como no detectable a los tres días de aplicación a una dosis de 1.5 L/ha. En la dosis mínima para nopal verdura a los tres días se detectó una concentración de 0.160 mg/kg<sup>-1</sup> y para la dosis máxima de 0.347 mg/kg<sup>-1</sup>, por lo que para la dosis mínima el periodo de disipación fue a los diez días, en este periodo la dosis máxima presento una concentración de 0.0035 mg/kg<sup>-1</sup>, siendo no detectable a los quince días.

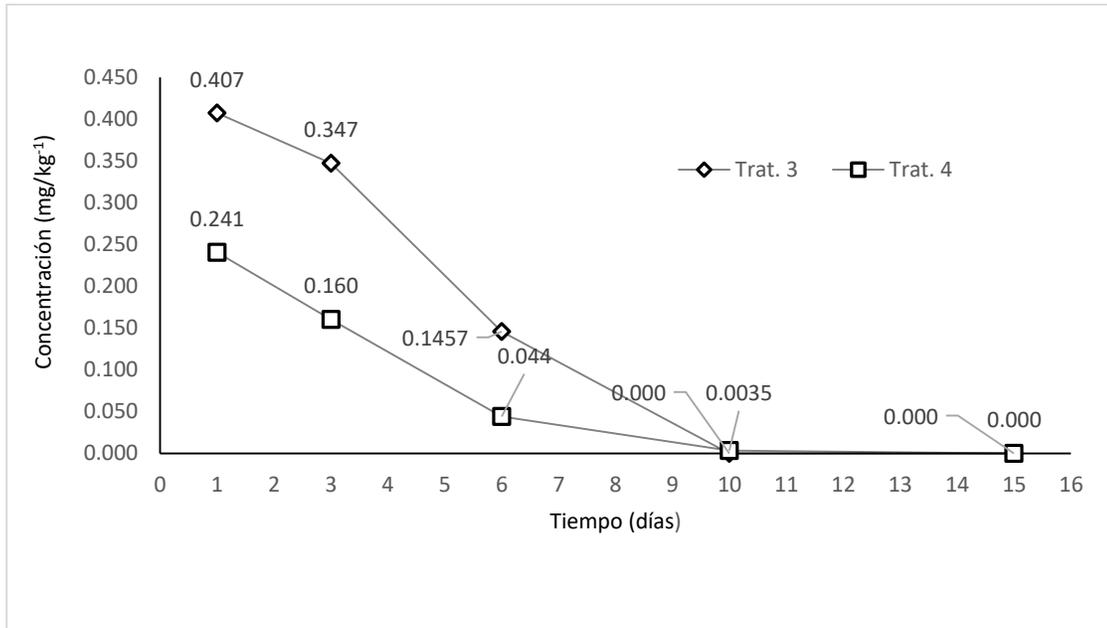


Figura 2. Curvas de disipación para dos dosis de aplicación (máxima y mínima) de malatión, en nopal verdura en Morelos, México.

**Clorpirifos.** Es un compuesto organofosforado (Garcia *et al.*, 2005), de amplio espectro que controla activamente insectos chupadores y masticadores en numerosos cultivos, actúa por contacto, ingestión e inhalación (Cucchi y Becerra, 2009). Es empleado en los programas sanitarios de control de artrópodos, ya que muchos de éstos se comportan como vectores u hospederos (Cox, 1994); posee un coeficiente de partición alto y una baja solubilidad (Mc Farlane y Trapp, 1995). En mandarinas (*Citrus reticulata*), Kulczycki *et al.*, (2012) reporta un periodo de disipación de 65 días, y Alister *et al.*, (2013), en uvas (*Vitis vinífera*), de 15 días; en nopal verdura (Figura 3) para la dosis mínima se disipo a los diez días y para la dosis máxima supero los quince días presentando una concentración de 0.002 mg/kg<sup>-1</sup>, en este intervalo de tiempo, por lo que se podría suponer que se disipa por completo a los 20 días.

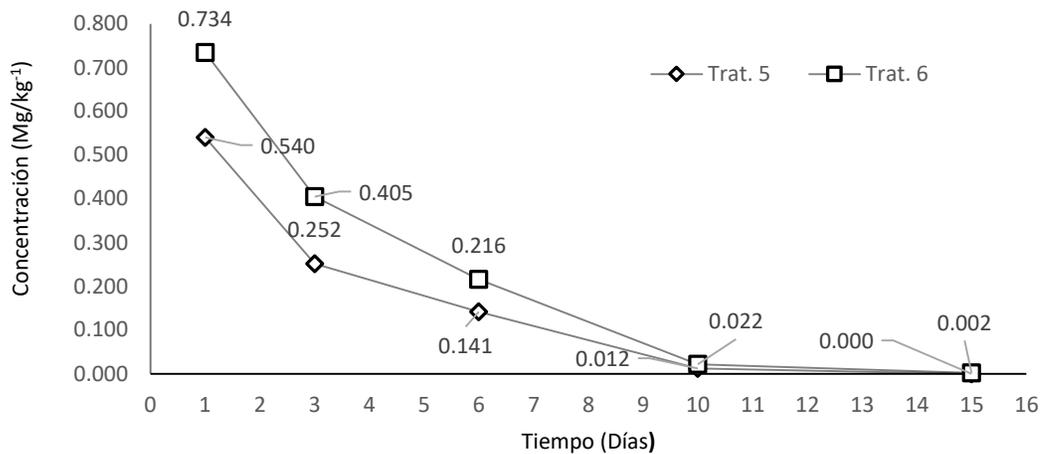


Figura 3. Curvas de dicipación para el par Clorpirifos, en nopal verdura (Dosis máximas y mínimas).

**Clorotalonil.** Fungicida foliar no sistémico de amplio espectro, es uno de los ingredientes activos más utilizados para el control del tizón (Garron *et al.*, 2012). El Clorotalonil presenta una vida media de 10 a 40 días en suelos aireados y de 5 a 15 días en suelos inundados (Inquiport S. A., 2018).

El periodo de carencia para la dosis minima se presento a los quince días, donde la dosis maxima presento una concentración de 0.002 mg/kg<sup>-1</sup>, siendo el ultimo periodo de colecta de muestra, se puede suponer que el periodo de carencia es a los 20 días.

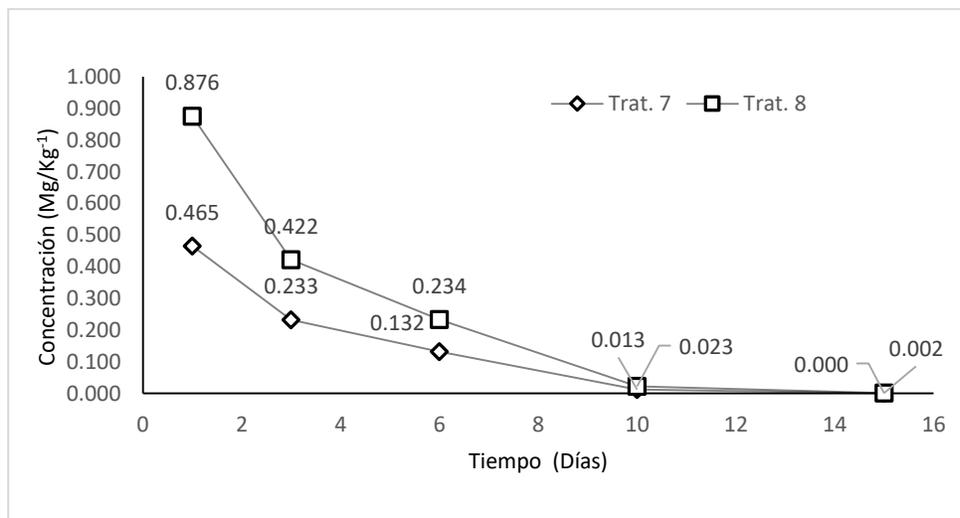


Figura 4. Curvas de disipación para dos dosis de aplicación (máxima y mínima) de clorotalonil, en nopal verdura en Morelos, México.

## 9.5. Conclusiones

Los periodos de corte del nopal verdura [*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.], en la época de mayor precio son semanales, debido a los periodos de carencia detectados, las aplicaciones para las dosis mínimas en el caso de Cipermetrina, Malation, Clorpirifos y Clorotalonil deberán realizarse a los diez días, en las dosis máximas a los quince días a excepción de Clorotalonil que deberá considerarse un periodo de 20 días previo a la cosecha, para garantizar que no se presenten residuos de estos plaguicidas.

## 9.6. Literatura citada

- Alister, C., Araya, M., Morandé, J., & Volosky, C. M. Kogan (2013), "Disipación de plaguicidas utilizados en uva vinífera y traspaso de sus residuos al vino". Revista Redágricola.
- Anastassiades M, Lehotay SJ, Štajnbaher D, Schenck FJ. (2003). Fast and easy multiresidue method employing acetonitrile extraction/partitioning and "dispersive solid-phase extraction" for the determination of pesticide residues in produce. *Journal of AOAC International* 86(2): 412-431.
- Arias-Estévez, M., López-Periago, E., Martínez-Carballo, E., Simal-Gándara, J., Mejuto, JC, y García-Río, L. (2008). La movilidad y la degradación de los pesticidas en los suelos y la contaminación de los recursos de agua subterránea. *Agricultura, Ecosistemas y Medio Ambiente*, 123 (4): 247-260.
- Atkinson, T. H., Saucedo-Céspedes, E., Martínez-Fernández, E., & Burgos-Solorio, A. (1986). Coleópteros Scolytidae y Platypodidae asociados con las comunidades vegetales de clima templado y frío en el estado de Morelos, México. *Acta Zoológica Mexicana* (ns), 17, 1-58.
- Badii, M. H., & Flores, A. E. (2001). Prickly pear cacti pests and their control in México. *Florida Entomologist*, 503-505.
- Badii, M. H., & Varela, S. (2015). Insecticidas organofosforados: efectos sobre la salud y el ambiente. *CULCyT, Toxicología de insecticidas* (28).
- Belfroid, AC, Van Drunen, M., Beek, MA, Schrap, SM, Van Gestel, CAM, y Van Hattum, B. (1998). Riesgos relativos de productos de transformación de plaguicidas para ecosistemas acuáticos. *Ciencia del medio ambiente total*, 222 (3): 167-183.
- Bonansea, R. I., Amé, M. V., & Wunderlin, D. A. (2013). Determination of priority pesticides in water samples combining SPE and SPME coupled to GC-MS. A case study: Suquía River basin (Argentina). *Chemosphere*, 90(6), 1860-1869.

- Cámara de Sanidad Agropecuaria y Fertilizantes, C. D. S. A. de la República Argentina (CASAFE) (1999) Guía de Productos Fitosanitarios para la República Argentina. Buenos Aires, 343.
- Cerón-González, C., Rodríguez-Leyva, E., Lomeli-Flores, J. R., Hernández-Olmos, C. E., Peña-Martínez, R., & Mora-Aguilera, G. (2012). Evaluación de insecticidas sintéticos sobre adultos de *Metamasius spinolae* (Coleóptera: Curculionidae) procedentes de Tlalnepantla, Morelos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(2): 217-229.
- Coscollá, R. (1993). Residuos de Plaguicidas en Alimentos Vegetales. Editor Mundi Prensa Libros. Madrid, España.
- Cucchi, N. J. A., & Becerra, V. C. (2009). Manual de tratamientos fitosanitarios para cultivos de clima templado bajo riego. Sección III: vid.
- Cox, C. (1995). Chlorpyrifos, part 2: human exposure. *Journal of Pesticide Reform*, Spring, 15, 14-20.
- Delgado, N.C.; Palarea, D.E.; Piedra Buena, A.; Yanes, M.D.; Torres, J.M.; Oramas, J.; Pereyra, J.; Lobo, G.; Hernández, J.; Díaz, R. y Perera, S. (2011). Determinación de la curva de disipación del Imazalil en postcosecha del plátano. Proyecto MAC/I, Vol. 54, p 10.
- Dirección general de normas. (1998). NMX-FF-068-1988. Productos alimenticios hortaliza fresca. Nopal verdura con espinas. (*opuntia spp*) especificaciones. Food products fresh vegetable. prickly pear (*opuntia spp*). specifications. Normas mexicanas. Diario Oficial de la Federación (DOF).
- European Commission (EC) (2003). Guidance document on analytical quality control and validation procedures for pesticide residues analysis in food and feed. SANCO/12571/2013. Health and Consumer Protection Directorate-General. 42 p.
- European Comisión (EU). EURL-Data pool, References Laboratories for residues of pesticidas. [https://www.eurl-pesticides-datapool.eu\(member/compound](https://www.eurl-pesticides-datapool.eu(member/compound). Consultado el 10 de septiembre del 2018.

- Esteban, I. P. R. (2016). Diseño, desarrollo y evaluación de una formulación de microcápsulas del piretroide cipermetrina (Doctoral dissertation, Universidad Complutense de Madrid).
- Filigenzi, M. S., Ehrke, N., Aston, L. S., & Poppenga, R. H. (2011). Evaluation of a rapid screening method for chemical contaminants of concern in four food-related matrices using QuEChERS extraction, UHPLC and high resolution mass spectrometry. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 28(10), 1324-1339.
- Flores, C. (2001). Producción, Industrialización y Comercialización de Nopalitos. Centro de Investigaciones Económicas, Sociales y Tecnológicas de la Agroindustria y la Agricultura Mundial, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo. México. 27.
- García, M. T. (1965). Problemas entomológicos del nopal en el valle de México. *Rev. FITOFILO*, 47, 15-28.
- Garcia, S. J., Seidler, F. J., & Slotkin, T. A. (2005). Developmental neurotoxicity of chlorpyrifos: targeting glial cells. *Environmental toxicology and pharmacology*, 19(3), 455-461.
- Garron, C., Knopper, LD, Ernst, WR, y Mineau, P. (2012). Evaluación del potencial genotóxico de la deriva del clorotalonil de los campos de papa en la Isla Príncipe Eduardo, Canadá. *Archivos de contaminación ambiental y toxicología*, 62 (2), 222-232.
- Garron, C., Knopper, L., Ernst, W., & Mineau, P., link.springer.com. Obtenido de <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs00244-011-9699-2>, (consultado, septiembre 2018)
- González Machín, D. (CEPIS); Simposium: "Sustancias Peligrosas para la Salud Ambiental", Colegio Médico del Perú Mayo 2001.
- Instituto Nacional de Estadísticas y Geografía (INEGI). (2007). Características principales del cultivo de Nopal en el Distrito Federal: Caso Milpa Alta. INEGI. México, D. F. p. 68.
- Instituto Mexicano de Normalización y Certificación A. C. (2005). Norma Mexicana 17025:2005, Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración, segunda edición México, D.F. 1-32.

- InquiportSA. (2017). Inquiport. Obtenido de hoja de datos de seguridad de los materiales: <http://www.inquiport.net/files/msds/fungicidas/Pugil.pdf>
- James N. Miller and Jane C. Miller. (2004). *Statistics and Chemometrics for Analytical Chemistry*. Fourth Edition. Pearson Education. New York.
- Kiesling, R. (1999). Nuevos sinónimos de *Opuntia ficus-indica* (Cactaceae). Nuevos sinónimos de *Opuntia ficus-indica* (Cactaceae). , 2 (66), 309-314.
- Kiesling, R. (1998). Origen, domesticación y distribución de *Opuntia ficus-indica*. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*, 3, 50-59.
- Konstantinou, IK, Hela, DG, y Albanis, TA (2006). El estado de la contaminación por plaguicidas en las aguas superficiales (ríos y lagos) de Grecia. Parte I. Revisión de ocurrencia y niveles. *Contaminación ambiental*, 141 (3): 555-570.
- Kulczycki, C., Navarro, R., Turaglio, E., Becerra, V., & Sosa, A. (2012). Cinética de degradación y persistencia de clorpirifos en mandarinas y naranjas del Noreste argentino (NEA). *RIA. Revista de investigaciones agropecuarias*, 38(3), 282-288.
- Liapis, K. S., Miliadis, G. E., & Aplada-Sarlis, P. (1994). Persistence of monocrotophos residues in greenhouse tomatoes. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, 53(2), 303-308.
- Mc Farlane, C., & Trapp, S. (1994). *Plant contamination: modeling and simulation of organic chemical processes*. CRC Press.
- Mann, J. (1969). *Cactus-feeding insects and mites*. United States National Museum Bulletin 256. Smithsonian Institution, Washington, DC, USA.
- Moncayo, A. (1992). Chagas disease: epidemiology and prospects for interruption of transmission in the Americas. *World health statistics quarterly. Rapport trimestriel de statistiques sanitaires mondiales*, 45(2-3), 276-279.
- Murcia, A. M., & Stashenko, E. (2008). Determinación de plaguicidas organofosforados en vegetales producidos en Colombia. *Agro sur*, 36(2), 71-81.
- Narváez, J. F., Palacio, J. A., & Molina, F. J. (2012). Persistencia de plaguicidas en el ambiente y su ecotoxicidad: Una revisión de los procesos de degradación natural. *Gestión y Ambiente* 15(3): 27-37.

- Navarro, B. R. G. (2014). Comportamiento de los residuos de clorpirifos en uvas y vinos.
- Organización mundial de la salud (OMS) (1999), Organización de las Naciones unidas para la Alimentación y la Agricultura, (FAO). Métodos de muestreo recomendados para la determinación de residuos de plaguicidas a efectos del cumplimiento de los LMR, Codex Alimentarius, Normas Internacionales de los alimentos. CXG 033.
- Peruzzo, P., Marino, D., Cremonese, C., Da Silva, M., Porta, A., Ronco, A., & International Water Association. (2003). Impacto de pesticidas en aguas superficiales y sedimentos asociado a cultivos por siembra directa. In Agua 2003: Usos Múltiples del Agua, para la Vida y el Desarrollo Sostenible (pp. 1-8). IWA.
- Pérez, M. A., Navarro, H., & Miranda, E. (2013). Residuos de plaguicidas en hortalizas: problemática y riesgo en México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 29, 45-64.
- Ramírez-Bustos II, López-Martínez V, Juárez-López P, Guillén-Sánchez D, Alía-Tejacal I, Rivera-León I, Saldarriaga-Noreña HA, Jiménez-García D. (2018). Identificación de envases vacíos de plaguicidas en plantaciones de nopal verdura, *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. (Cactaceae), en Morelos, México. *Acta Agrícola y Pecuaria* 4(1): 18-25.
- Ramírez-Bustos II, López-Martínez V, Juárez-López P, Alía-Tejacal I, Guillén-Sánchez D, Saldarriaga-Noreña H, León-Rivera I. 2018. Monitoring of pesticides in the cultivation of Nopal vegetable (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill, Morelos, Mexico. *Agriculture* 8: In press.
- Raymond, J. W., Rogers, T. N., Shonnard, D. R., & Kline, A. A. (2001). A review of structure-based biodegradation estimation methods. *Journal of hazardous materials*, 84(2-3):189-215.
- Reemtsma, T., y Jekel, M. (Eds.). (2006). Organic Pollutants in the water cycle: Properties, Occurrence, Analysis and Environmental Relevance of Polar compounds. John Wiley & Sons.

- Sánchez, J., Ettiene, G., Buscema, I., & Medina, D. (2005). Persistencia de los insecticidas organofosforados malathion y chlorpiryphos en guayaba (*Psidium guajava* L.). *Revista de la Facultad de Agronomía*, 22(1).
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA), (2012). Manual técnico de muestreo de productos agrícolas para la determinación de plaguicidas, 3-16.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (SIAP) (2017). Atlas Agroalimentario [internet]. 2018. México. [cited 2018 March 16]. Disponible en: [http://nube.siap.gob.mx/gobmx\\_publicaciones\\_siap/pag/2016/Atlas Agroalimentario-2016](http://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap/pag/2016/Atlas_Agroalimentario-2016)
- Tekel, J., & Hatrík, Š. (1996). Pesticide residue analyses in plant material by chromatographic methods: clean-up procedures and selective detectors. *Journal of Chromatography A*, 754(1-2): 397-410.
- United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO). 1975. Soil map of the world. 1:5 000 000. Volume III. Mexico and Central America. Paris, France. 96 p.
- Valencia, E. M., & Guerrero, J. A. (2008). Limpieza por cromatografía de permeación por gel en la determinación de residuos de n-metilcarbamatos en fresa. *Revista Colombiana de Química*, 37(2): 161-172.
- Yagüe, A. (1990). Los residuos de plaguicidas y la exportación, una preocupación nacional. En *Problemática sobre residuos de plaguicidas: actas del I Seminario Internacional sobre Residuos de Plaguicidas: Almería, 29 y 30 de noviembre de 1989* (pp. 9-24). Instituto de Estudios Almerienses.
- World Health Organization (WHO) (1989). Cypermethrin, Insecticidal activity of pyrethroids on insects of medical importance. *Parasitology today*, 4(7), S3-S7.