

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



PATRÓN DE USO E IMPACTO AMBIENTAL DE PLAGUICIDAS APLICADOS
AL CULTIVO DE MELÓN EN LA COMARCA LAGUNERA

Tesis

Que presenta GABRIELA VARGAS GONZÁLEZ
Como requisito parcial para obtener el Grado de
DOCTOR EN CIENCIAS AGRARIAS

Torreón, Coahuila

Septiembre 2022

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO


SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO




PATRÓN DE USO E IMPACTO AMBIENTAL DE PLAGUICIDAS APLICADOS
AL CULTIVO DE MELÓN EN LA COMARCA LAGUNERA

Tesis

Que presenta GABRIELA VARGAS GONZÁLEZ
Como requisito parcial para obtener el Grado de
DOCTOR EN CIENCIAS AGRARIAS



Dr. Vicente de Paul Alvarez Reyna
Director UAAAN



Dr. César Guigón López
Director Externo

Torreón, Coahuila

Septiembre 2022


PATRÓN DE USO E IMPACTO AMBIENTAL DE PLAGUICIDAS APLICADOS
AL CULTIVO DE MELÓN EN LA COMARCA LAGUNERA

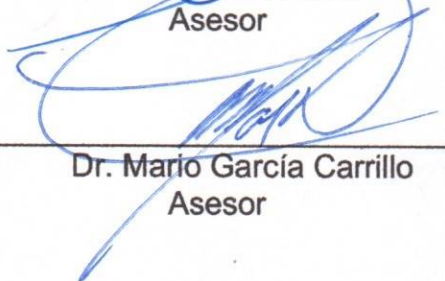
Tesis


Elaborada por GABRIELA VARGAS GONZÁLEZ como requisito parcial para
obtener el grado de Doctor en Ciencias Agrarias con la supervisión y
aprobación del Comité de Asesoría



Dr. Vicente de Paul Alvarez Reyna
Asesor Principal


Dr. Pedro Cano Ríos
Asesor

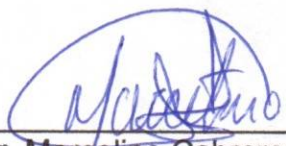

Dr. Florencio Jiménez Díaz
Asesor


Dr. Mario García Carrillo
Asesor


Dr. Jesús Vásquez Arroyo
Asesor


Dr. César Guigón López
Asesor


Dra. Leticia Romana Gaytán Alemán
Jefe del Departamento de Postgrado


Dr. Marcelino Cabrera De la Fuente
Subdirector de Posgrado

Torreón, Coahuila

Septiembre 2022

AGRADECIMIENTOS

A Dios por su amor y misericordia infinitos, por colmar mi vida de bendiciones y las lecciones de vida que han forjado mi carácter y me han hecho mejorar como persona. Gracias infinitas por darme la capacidad de obtener un logro más en mi formación profesional.

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro en la Unidad Laguna (UAAAN-UL) por la formación académica y en investigación que recibí en mis estudios de Doctorado, y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por otorgarme la beca para realizar dichos estudios.

A mi Comité de Tesis; PhD. Vicente de Paul Alvarez Reyna, PhD. Pedro Cano Ríos, PhD. Florencio Jiménez Díaz, Dr. Mario García Carrillo, Dr. Jesús Vásquez Arroyo y Dr. César Guigón López por la confianza, conocimientos, orientación y apoyo que me dieron en la realización de este trabajo de tesis y los artículos de investigación derivados del mismo. Muchas gracias por su amistad y ayudarme a superar las adversidades que se presentaron en este largo trayecto.

A la Dra. Gabriela Ramos Clamont Montfort por sus valiosas aportaciones y sugerencias en la redacción de esta tesis y los artículos de investigación. Muchas gracias por su amistad, disposición y generosidad para ayudarme a cerrar ciclos.

Al personal de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, Región Laguna que contribuyeron en el logro de este proyecto profesional, muchas gracias.

A la Dra. Leticia Romana Gaytán Alemán por facilitar los trámites administrativos en la UAAAN-UL para concluir este trabajo de tesis y por su gran calidad humana.

A mis queridas amigas Brenda, Victoria, Mónica, Karina, Cinthya y Ana por brindarme su amistad desde que nos conocimos cuando iniciamos nuestros estudios de posgrado. Muchas gracias por tantas anécdotas, alegrías y algunos sinsabores que hemos compartido y seguimos compartiendo con mucho cariño.

DEDICATORIA

A la memoria de mis padres José Félix Vargas Unzueta (†) y María Catalina González Rueda (†) por su amor incondicional que vive en mí sin agotarse, por darme todo para salir adelante en la vida, ejemplo de trabajo duro y honesto. Mi amor, respeto, admiración y gratitud por siempre.

A mi esposo Sergio Alberto Cenicerros Mesta, mi hija Paola Gabriela Cenicerros Vargas y mi hijo Sergio Alberto Cenicerros Vargas por amarme, comprenderme, apoyarme en todo lo que hago y darme las más grandes alegrías de la vida. También dedico este logro a mi hermoso nieto Esteban De Santiago Cenicerros que, con su llegada revivió en mí el amor más tierno y dulce que existe. Amada familia, son lo más maravilloso y valioso que tengo.

A mi hermana Laura Isabel Vargas González y mi cuñado Carlos Arturo Guerrero Rodríguez por quererme como su hija, apoyarme incondicionalmente en todos mis proyectos de vida y profesionales, y alegrarse tanto como yo por mis logros. Gracias por tanto amor, soy muy afortunada de tenerlos.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. El cultivo de melón.....	3
2.1.1. Clasificación taxonómica e intraespecífica	3
2.1.2. Origen y distribución.....	4
2.1.3. Descripción morfológica de la planta.....	5
2.1.4. Propiedades nutritivas y bioactivas del fruto	6
2.1.5. Producción mundial, nacional y regional	8
2.2. Sistemas de producción de melón en la Comarca Lagunera	9
2.3. Control fitosanitario del cultivo de melón en la Comarca Lagunera	12
2.3.1. Plagas	12
2.3.2. Enfermedades	14
2.3.3. Maleza.....	18
2.4. Plaguicidas	19
2.4.1. Definiciones legales.....	19
2.4.2. Contexto histórico de su uso	21
2.4.3. Clasificaciones	26
2.5. Marco normativo del uso de plaguicidas agrícolas	53
2.5.1. Panorama global sobre el control y regulación de plaguicidas.....	53
2.5.2. Regulación internacional	54
3. ARTÍCULOS	67
3.1. Patrón de uso de plaguicidas de alto riesgo en el cultivo de melón (<i>Cucumis melo</i> L.) en la Comarca Lagunera	67
3.2. Impacto ambiental por uso de plaguicidas en tres áreas de producción de melón en la Comarca Lagunera, México	80
4. CONCLUSIÓN GENERAL.....	96
5. REFERENCIAS	97

1. INTRODUCCIÓN

El melón (*Cucumis melo* L.) es uno de los cultivos de mayor importancia económica y social en México. La Comarca Lagunera es la región melonera más importante del país, con una superficie sembrada de alrededor de 5 mil hectáreas y una producción promedio de 134 mil toneladas al año (Espinoza-Arellano *et al.*, 2017); Matamoros y Viesca en Coahuila, así como Tlahualilo y Mapimí en Durango, son los principales productores en la región. Las plagas y enfermedades que afectan al cultivo de melón han creado una gran dependencia del uso plaguicidas sintéticos para su control (Nava-Camberos *et al.*, 2007; Pérez-Herrera *et al.*, 2012). Los plaguicidas son sustancias químicas que incluyen una gran variedad de productos que, en base a su peligrosidad, son clasificados por Organización Mundial de la Salud (OMS) en extremadamente peligrosos, muy peligrosos, moderadamente peligrosos y ligeramente peligrosos (World Health Organization [WHO], 2009). Por su parte, la Red Internacional de Acción en Plaguicidas (PAN International, por sus siglas en inglés) reúne en la lista de Plaguicidas Altamente Peligrosos (HHP) a los plaguicidas que presentan niveles altos de toxicidad aguda o crónica para la salud humana y el medio ambiente; en esta lista una sustancia puede tener una o más de las características descritas (Pesticide Action Network International [PAN International], 2014). Debido a que no existen reportes sobre el uso de plaguicidas en el cultivo de melón en la Comarca Lagunera, los primeros objetivos de este trabajo de tesis fueron: identificar los tipos de plaguicidas y sus formas de uso, y analizar el perfil toxicológico de los productos más utilizados (Vargas-González *et al.*, 2016).

Para reducir los riesgos de los plaguicidas se necesita de una métrica común y homogenizada que evalúe y compare los futuros cambios de su empleo (Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO], 2008). En este sentido, el Cociente de Impacto Ambiental (CIA) (EIQ, por sus siglas en inglés) es uno de los indicadores de riesgo de plaguicidas más utilizado en el mundo. Ello, debido

a que ha demostrado un buen desempeño como herramienta para valorar los posibles efectos peligrosos de los plaguicidas sobre la salud humana y el medio ambiente, en una amplia variedad de cultivos, prácticas de cultivo y zonas agroecológicas (Ávila *et al.*, 2011; Kromann *et al.*, 2011; Arora *et al.*, 2012; Agboyi *et al.*, 2015; Ordoñez-Beltrán *et al.*, 2016; Chen *et al.*, 2017). También se ha utilizado para medir los logros o tendencias en la reducción de riesgos por el uso de plaguicidas a través del tiempo, tanto a nivel regional como nacional (Ioriatti *et al.*, 2011; Cross, 2013; Biddinger *et al.*, 2014; Deihimfard *et al.*, 2014). Por lo anterior, el siguiente objetivo del presente trabajo fue estimar el potencial impacto ambiental por uso de plaguicidas en las tres áreas de mayor producción de melón en la Comarca Lagunera (Vargas-González *et al.*, 2019). El objetivo general de esta tesis fue identificar el patrón de uso y estimar el impacto ambiental de los plaguicidas aplicados al cultivo de melón en la Comarca Lagunera.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. El cultivo de melón

2.1.1. Clasificación taxonómica e intraespecífica

El melón (*Cucumis melo* L.), es una especie dicotiledónea y diploide ($2n = 24$) que pertenece a la familia Cucurbitaceae, subfamilia Cucurbitoideae, tribu Melothrieae, subtribu Cucumerinae y género *Cucumis* (Goutam *et al.*, 2020). El género *Cucumis* se dividió en dos subespecies según la pubescencia del ovario; *Cucumis melo* subespecie *melo* con vellos largos y *Cucumis melo* subespecie *agrestis* con vellos cortos (Kirkbride, 1993).

Las plantas de la especie *Cucumis melo* L., presentan una amplia diversidad fenotípica, particularmente en los frutos, que difieren en características como tamaño, forma, color y textura de la corteza, color de la pulpa, grado de dulzura y olor (Nuñez-Palenius *et al.*, 2008; Manchali & Murthy, 2020). Por ello, se han propuesto diferentes clasificaciones intraespecíficas, a partir de las cuales, se establecen grupos hortícolas y subgrupos con características semejantes intragrupos (Lian *et al.*, 2021). La clasificación más reciente es la de Pitrat (2016), donde propone unir el grupo *reticulatus* de clasificaciones anteriores con el grupo *cantaloupensis*, ya que hay un continuo en la red de la cáscara de los frutos, debido a las formas intermedias que se producen como consecuencia del cruzamiento entre grupos. Asimismo, considera innecesario mantener la división del género *Cucumis* en las subespecies *melo* y *agrestis*, ya que varios grupos hortícolas presentan características de ambas subespecies.

Por lo anterior, la clasificación intraespecífica de Pitrat (2016) no considera a las subespecies y agrupa a los melones silvestres, asilvestrados y domesticados en 19 grupos hortícolas (variedades o cultivares), algunos con subgrupos. Los tipos no dulces son *agrestis*, *kachri*, *chito*, *tibish*, *acidulus*, *momordica*, *conomon*, *dudaim*, y *flexuosus* con tres subgrupos (*adjour*, *tara* y *arya*); muy poco dulces,

chate; poco dulces, chinensis; moderadamente dulces, chandalak con cuatro subgrupos (zami, tachmi, garma y bucharici) y makuwa con seis subgrupos (ogon, nashi-uri, yuki, kanro, ginmakuwa y seikan); muy dulces, indicus, ameri con cuatro subgrupos (ananás, maculati, bargi, mashhadi), cassaba con tres subgrupos (kirkagac, hassanbey y kuscular), ibericus con cinco subgrupos (piel de sapo, amarillo, tendral, rochet y branco), inodorus con dos subgrupos (honeydew y earl's), y cantaloupensis con seis subgrupos (prescott, saccharinus, charentais, ogen, american western y american eastern).

2.1.2. Origen y distribución

Lo melones son nativos de una región geográfica extensa que abarca África, Asia y Australia (Kirkbride, 1993; Paris *et al.*, 2012). Sin embargo, el origen de la especie no se conoce con certeza ya que, algunos autores sugieren que se originó en África (Mallick & Masui, 1986; Kerje & Grum, 2000) y otros, que fue en Asia (Schaefer *et al.*, 2009; Sebastian *et al.*, 2010). Recientemente, Endl *et al.* (2018), argumentan que los melones silvestres comprenden tres linajes de diferente origen geográfico; el clado africano *C. melo* subsp. *melooides* o “Agrestis Africana”, el clado australiano *C. jucundus* F. Muell. o “Agrestis Australiana”, y el clado asiático *C. melo* subsp. *melo* o “Agrestis Asiática”. Asimismo, sugieren que el clado asiático es el progenitor de los cultivares de melón dulce de mayor interés comercial en el mundo, inodorus y cantaloupensis.

El melón se domesticó al menos dos veces, una en África y otra en Asia (Endl *et al.*, 2018). Se cree que el cultivo de los melones dulces comercialmente importantes en la actualidad probablemente inició en Irán en el año 3 000 a.C., desde donde se extendió a Turquía, China y Afganistán, y después a Europa durante el periodo grecorromano (Luan *et al.*, 2008; Paris *et al.*, 2012). Cristóbal Colón lo introdujo en Centroamérica en 1516 y de ahí se difundió a todo el continente americano. En Estados Unidos de América (EE. UU.), primero llegó a Virginia en 1609 y después a Nueva York en 1926 (Bisognin, 2002; Luan *et al.*, 2008). La gran variabilidad genética de la especie *Cucumis melo* L., ha favorecido

su adaptación a diversas condiciones agroclimáticas, principalmente en las regiones más cálidas del mundo, por lo que en la actualidad se explota comercialmente en regiones con climas tropicales, subtropicales, áridos y semiáridos (Paris *et al.*, 2012).

2.1.3. Descripción morfológica de la planta

El melón (*Cucumis melo* L.) es una planta anual, herbácea, y rastrera o trepadora mediante zarcillos. Desarrolla un sistema radicular abundante, ramificado y de crecimiento rápido, que puede penetrar en el suelo a una profundidad de 100 a 200 cm, pero generalmente la parte más densa se encuentra en los primeros 30 a 40 cm de profundidad. El tallo principal es pubescente y presenta nudos donde se desarrollan hojas, zarcillos y flores; se ramifica a partir de las axilas de la quinta o sexta hoja. Las hojas son simples, alternas, de 8 a 15 cm de diámetro, pubescentes en el envés y con peciolo de 4 a 15 cm de largo; el limbo puede presentar forma de corazón, redondeado, reniforme o pentagonal, con tres a siete lóbulos, márgenes dentados y base cordada. Los zarcillos caulinares nacen de la axila de las hojas y son simples. Las flores son pecioladas, de color amarillo brillante, nacen de las axilas de las hojas, miden de 2 a 3 cm de diámetro y pueden ser estaminadas (masculinas), pistiladas (femeninas) o hermafroditas (con órganos masculinos y femeninos); las flores pistiladas se diferencian de las estaminadas por el receptáculo abultado donde se aloja el ovario ínfero (Cano-Ríos & Espinoza-Arellano, 2002; Asif *et al.*, 2014, Alarcón & Fuentes, 2017).

De acuerdo con la expresión sexual de las plantas de melón, estas pueden ser monoicas (tienen flores estaminadas y pistiladas), andromonoicas (tienen flores hermafroditas y estaminadas), ginomonoicas (tienen flores hermafroditas y pistiladas) o trinómonoicas (tienen flores hermafroditas, estaminadas y pistiladas). Sin embargo, la mayoría de los cultivares son andromonoicos, en los que las flores estaminadas son las primeras en desarrollarse y aparecen en los nudos de las guías primarias, en racimos de no más de cinco flores. Las flores hermafroditas se desarrollan después que las estaminadas y aparecen solas en

los nudos de las guías secundarias en pedicelos cortos y robustos (Cano-Ríos & Espinoza-Arellano, 2002; Munshi & Alvarez, 2004; Nuñez-Paleniús *et al.*, 2008).

El fruto es una baya modificada llamada pepo que, dependiendo del grupo hortícola, presenta una gran diversidad en la forma (redonda, ovalada o alargada), tamaño (menos de 100 g a 10 kg), color de la pulpa (blanco, crema, amarillo claro, naranja claro, salmón, naranja oscuro, magenta, verde o verde claro), contenido de azúcar (alto, medio o bajo), acidez, aroma (sin aroma a aroma fuerte), textura de la pulpa (harinosa, crujiente, firme, jugosa, seca o fibrosa), color de la cáscara (blanco, gris, amarillo, naranja, rojo o una mezcla de estos colores, y en algunos casos, con colores secundarios en motas, puntos o rayas), textura de la cáscara (lisa, verrugosa, rayada, reticulada, surcada, rugosa o una combinación de estas texturas), así como, la presencia o no de una zona de abscisión situada entre la fruta y el pedicelo, que facilita el desprendimiento de la fruta cuando está madura. Las semillas se encuentran rodeadas de la placenta; son lisas, planas y con forma de huso; de color blanquecino, crema, beige o café; miden de 5 a 15 mm de largo; tienen poco endospermo, son ricas en aceite y sus cotiledones están bien desarrollados (Nuñez-Paleniús *et al.*, 2008; Pitrat, 2016; Goutam *et al.*, 2020; Manchali & Murthy, 2020).

2.1.4. Propiedades nutritivas y bioactivas del fruto

Las distintas variedades de melón se cultivan principalmente por su fruto, el cual se puede consumir como fruta o verdura, maduro o inmaduro, fresco, deshidratado, cocido o encurtido (Paris *et al.*, 2012; Manchali & Murthy, 2020). Algunas variedades se cultivan para el consumo local en la región donde se producen, pero los melones de los grupos *cantaloupensis* e *inodorus* se cultivan y consumen a escala global debido al sabor dulce, aroma afrutado, y textura blanda y jugosa de la pulpa, fuente importante de vitaminas, minerales y compuestos bioactivos (fitoquímicos) necesarios para mantener un estado de salud óptimo (Lester, 2006; Menon & Rao, 2012; Amaro *et al.*, 2015).

La composición química de los melones depende de la variedad, región geográfica de producción, condiciones crecimiento, grado de madurez y manejo postcosecha. En general, los melones maduros del grupo *cantaloupensis* de pulpa anaranjada tienen un alto contenido de agua ($\geq 90\%$), aportan carbohidratos (fructosa, glucosa y sacarosa), y son ricos en potasio, ácido ascórbico (vitamina C), ácido fólico (vitamina B9) y compuestos bioactivos como el β -Caroteno (pro-vitamina A) (Lester & Crosby, 2002; Menon & Rao, 2012; Amaro *et al.*, 2015; Fundo *et al.*, 2018; Manchali & Murthy, 2020). Además, contienen fibra y cantidades menores de otros minerales (boro, calcio, cobre, fósforo, hierro, magnesio, manganeso, potasio, sodio, selenio y zinc), vitaminas (A, E, K, B1, B2, B3, B5, B6 y colina), y fitoquímicos como carotenoides (luteína, zeaxantina, α -caroteno y β -criptoxantina), betaina, polifenoles (ácidos fenólicos y flavonoides) enzimas antioxidantes (superóxido dismutasa, catalasa y peroxidasa) y decenas de compuestos volátiles (Lim, 2012; Amaro *et al.*, 2015).

El efecto sinérgico o aditivo de la mezcla de vitaminas, minerales y fitoquímicos con potente actividad antioxidante hace que el consumo frecuente de melón contribuya reforzar el sistema inmunológico y disminuir la probabilidad de desarrollar enfermedades cerebrovasculares y cardiovasculares, distintos tipos de cáncer, Alzheimer y cataratas, las cuales están fuertemente relacionadas con el estrés oxidativo (Martínez-Navarrete *et al.*, 2008; Manchali & Murthy, 2020).

Sin embargo, diversas investigaciones farmacológicas han demostrado que los extractos con diferente grado de polaridad obtenidos tanto de la pulpa, cáscara y semillas del fruto, como de los pedicelos, tallos, hojas y raíz de la planta de melón, tienen, dependiendo de la parte de la planta y polaridad del extracto, una o más de las siguientes propiedades bioactivas; antioxidante, antiinflamatoria, anticancerígena, antidiabética, antiulcerosa, antifertilidad, antimicrobiana, antihelmíntica, analgésica, hepatoprotectora, y efecto antihipotiroides, inmunomodulador, cardiovascular y diurético (Milind & Kulwant, 2011; Vishwakarma *et al.*, 2017).

2.1.5. Producción mundial, nacional y regional

El melón se cultiva en 96 países distribuidos en cinco continentes y ocupa la posición número 10 entre las frutas de mayor producción en el mundo (FAO, 2021). De 2010 a 2019, se cosecharon en promedio 1.068 millones de hectáreas anuales, con un rendimiento de 24.769 toneladas por hectárea y una producción de 26.43 millones de toneladas. China Continental ocupó el primer lugar de la producción mundial con una participación anual promedio del 44 %, seguido de Turquía (6.5 %), Irán (5.9 %), India (3.6 %), Egipto (3.5 %), EE. UU. (3.3 %) y España (2.9 %). México se posicionó entre el noveno y decimotercer lugar con el 2.2 % de la producción mundial, y en el segundo lugar en el continente americano después de EE. UU. (FAO, 2021).

En México, el melón se cultiva en al menos 21 entidades federativas, en dos ciclos de producción; primavera-verano y otoño-invierno (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP], 2021). En promedio, de 2010 a 2019, se cosecharon 19.754 miles de hectáreas anuales, con un rendimiento de 21.074 toneladas por hectárea y una producción de 576.079 miles de toneladas. El 83 % de la producción anual nacional se concentró en los estados de Coahuila, Sonora, Michoacán, Guerrero y Durango, con una participación aproximada del 23 %, 18 %, 17 %, 15 % y 10 %, respectivamente. Sin embargo, dos de los tres municipios que registran los volúmenes de producción más altos en el estado de Coahuila, y los municipios productores del estado de Durango, pertenecen a la Comarca Lagunera, por lo que, desde esta perspectiva, la Comarca Lagunera destacó como la principal región melonera del país, ya que participó con el 28 % de la producción anual promedio nacional (SIAP, 2021).

En la Comarca Lagunera, el melón es la hortaliza que más se produce seguida de la sandía (*Citrullus lanatus*), tomate (*Solanum lycopersicum*) y chile verde (*Capsicum annuum*) (SIAP, 2021). Esta región agrícola se ubica en el centro-norte de México y está conformada por 11 municipios del estado de Durango (Gómez Palacio, Lerdo, Tlahualilo de Zaragoza, Mapimí, San Pedro del Gallo,

San Luis Cordero, Rodeo, Nazas, Cuencamé de Ceniceros, General Simón Bolívar y San Juan de Guadalupe) y cinco municipios del estado de Coahuila (Torreón, Matamoros, San Pedro de las Colonias, Francisco I. Madero y Viesca) (Sistemas Computacionales y Comunicaciones [SISCCOM], 2009). Los cinco municipios de la Laguna-Coahuila son productores de melón, mientras que en la Laguna-Durango los son Mapimí, Tlahualilo, Gómez Palacio, Lerdo y General Simón Bolívar (SIAP, 2021).

De 2010 a 2019, en la Comarca Lagunera se produjo un promedio de 161.281 miles de toneladas anuales, que se cosecharon de 5.058 miles de hectáreas, con un rendimiento de 31.213 toneladas por hectárea. Los municipios de la Laguna-Coahuila participaron con el 64 % de la producción media anual y los de la Laguna-Durango con el 36 %. Sin embargo, los principales municipios productores de melón son Matamoros y Viesca en la Laguna-Coahuila, y Mapimí y Tlahualilo en la Laguna-Durango, ya que cada par de municipios contribuyó con el 86 % y 90 % de la producción promedio anual en sus respectivas áreas de producción. En conjunto, Matamoros, Viesca, Mapimí y Tlahualilo participaron con el 87 % de la producción anual promedio regional (SIAP, 2021).

2.2. Sistemas de producción de melón en la Comarca Lagunera

El clima árido de la Comarca Lagunera, muy caluroso en verano y con escasa precipitación pluvial durante todo el año es ideal para producir melones dulces de alta calidad, por lo que se cultivan en el ciclo agrícola primavera-verano, para abastecer al mercado nacional principalmente (Agencia de Servicios a la Comercialización y Desarrollo de Mercados Agropecuarios [ASERCA], 2000). En la región, el melón es un monocultivo especializado cuya producción a gran escala inició a principios de la década de 1980 (Daza-Hurtado *et al.*, 2001; Vázquez-Martínez *et al.*, 2007; Espinoza-Arellano *et al.*, 2011). Los sistemas de producción varían entre municipios en la fecha de siembra, método de siembra, fuente de agua para riego y nivel tecnológico (Espinoza-Arellano *et al.*, 2010a).

La fecha de siembra adecuada para cultivar melón en la Comarca Lagunera es del 15 de marzo al 15 de abril. Sin embargo, en la región las fechas de siembra se establecen de acuerdo con el periodo óptimo de comercialización de la fruta y la fuente de agua para riego (Espinoza-Arellano *et al.*, 2019). En Matamoros y Viesca en la Laguna-Coahuila y Mapimí en la Laguna-Durango, el cultivo se riega principalmente con agua extraída del subsuelo mediante bombeo, por lo que los productores pueden sembrar desde enero hasta agosto en tres etapas: 1) etapa temprana, de la segunda semana de enero a febrero, 2) etapa intermedia, entre mediados de marzo y mediados mayo, y 3) etapa tardía, de junio a agosto. No obstante, en Mapimí, generalmente se siembra en las etapas intermedia y tardía, mientras que en Matamoros y Viesca siembran en las tres etapas. Por otro lado, en Tlahualilo, en la Laguna-Durango, solo siembran en la etapa intermedia debido a que en esta área de producción el cultivo se riega por gravedad con agua represada, la cual se libera en marzo de acuerdo con el calendario del distrito de riegos (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias [INIFAP], 2017; Espinoza-Arellano *et al.*, 2019).

Los métodos de siembra están relacionados con la siembra directa o trasplante de plántulas, marcos de plantación y algunos aspectos del nivel tecnológico. Sobre los marcos de plantación, las investigaciones regionales iniciaron en 1969 y, desde entonces, se han generado tecnologías que difieren en el ancho de las camas de siembra (camas meloneras), número de hileras de plantas por cama (una o dos hileras), distancia entre camas y distancia entre plantas (Espinoza-Arellano *et al.*, 2010a). La variación en el nivel tecnológico se refiere a la siembra en suelo desnudo con riego por gravedad, acolchado plástico en el canal con riego por gravedad o bombeo (Martínez-Saldaña *et al.*, 2005), y acolchado plástico en la cama con riego por goteo (Espinoza-Arellano *et al.*, 2010b; Pacheco-Ortiz *et al.*, 2011). En la actualidad, los métodos que predominan, son los siguientes: 1) camas de 3 m de ancho con doble hilera de plantas, acolchado plástico en el canal y distancia entre plantas de 30 cm, 2) camas de 1.8 m de ancho con una hilera de plantas al centro, acolchado plástico en la cama, cintilla

para riego por goteo y distancia entre plantas de 25 cm, y 3) camas de 1.6 m de ancho con una hilera de plantas al centro, acolchado plástico en la cama, cintilla para riego por goteo y distancia entre plantas es de 20 cm (INIFAP, 2017). En todos los casos, la preparación del terreno consiste en realizar un barbecho profundo de 30 a 35 cm, uno o dos pasos de rastra y afinación con escropa, nivelación del terreno con pendientes de 3 a 4 cm por cada 100 m, levantamiento de camas con vertedor o bordeadora, y arroje del suelo para el caso de los acolchados plásticos. Además del riego, las labores culturales incluyen la fertilización (fertirrigación para el caso de riego por goteo), y el control de maleza (hierbas invasoras), plagas y enfermedades del cultivo (INIFAP, 2017).

Otros aspectos del nivel tecnológico en los sistemas de producción se relacionan con el uso de semillas híbridas, polinización del cultivo con abejas, y pertenencia de instalaciones de empaque en el área de cultivo (Espinoza-Arellano *et al.*, 2011). En cuanto al tipo de semilla, en la Comarca Lagunera se siembran semillas híbridas de melón cantaluope y ocasionalmente de melón honeydew. Debido a que las compañías productoras de semillas constantemente liberan nuevos híbridos de melón, las semillas que se comercializan en la región primero se evalúan experimentalmente en los centro de investigación regionales para seleccionar las que se adaptan bien a las condiciones agroclimáticas en las diferentes etapas de siembra, con la finalidad de obtener los mejores rendimientos. Comúnmente, en la etapa temprana se siembran los híbridos Cruiser, Nitro y Gold Express; en la intermedia los híbridos Cruiser, Ovation y Acclaim; y en la tardía los híbridos Expedition, Ovation y Acclaim (INIFAP, 2017). La polinización con abejas es una actividad que se realiza en los huertos de los grandes productores privados, principalmente en Mapimí en la Laguna-Durango, que siembran en promedio 103 hectáreas por productor. Asimismo, los grandes productores poseen instalaciones contiguas o cercanas al predio en donde lavan, desinfectan, clasifican y empacan la fruta para comercializarla, algunos, en cadenas de supermercados mediante el establecimiento previo de un contrato de compraventa (Espinoza-Arellano *et al.*, 2017).

2.3. Control fitosanitario del cultivo de melón en la Comarca Lagunera

El cultivo de melón es proclive al ataque de muchas plagas de insectos principalmente, así como, de diversas enfermedades fúngicas, bacterianas, virales y provocadas por nemátodos, que pueden causar un daño severo a las plantas o la pérdida total del cultivo, ocasionando perjuicios económicos graves para los productores (Chew-Madinaveitia *et al.*, 2008; Nava-Camberos *et al.*, 2007). Asimismo, el desarrollo del cultivo puede ser afectado por el crecimiento de maleza, que además de rivalizar con las plantas de melón por los nutrientes del suelo, agua y luz solar, también son hospederas de insectos plaga, los cuales son vectores de enfermedades virales que luego las transmiten al cultivo, mermando drásticamente de su productividad (INIFAP, 2017).

El manejo integrado de estos organismos indeseables para el cultivo de melón, sugerido por investigadores agrícolas en la región, consiste en un conjunto de estrategias con las que se busca prevenir, controlar y eliminar a las poblaciones de plagas y maleza, y evitar o curar las enfermedades de las plantas. Las estrategias incluyen la combinación de distintas técnicas de control mecánico, cultural, genético, biológico y químico (Castro-Martínez & Moreno-Alvarado, 2002; Chew-Madinaveitia & Jiménez-Díaz, 2002; Ramírez-Delgado *et al.*, 2002). Sin embargo, el control químico con plaguicidas sintéticos es la estrategia de control fitosanitario más utilizada por los productores debido a que estos productos son rápidos, eficientes y fáciles de usar (Sarwar, 2015).

2.3.1. Plagas

Las plagas más frecuentes y dañinas que atacan al cultivo de melón en la región se conocen como plagas de importancia primaria y la mayoría son insectos (Ramírez-Delgado *et al.*, 2002). Por lo general, los niveles de infestación con este tipo de plagas son mayores en los cultivos que se siembran en la etapa tardía (Cano-Ríos *et al.*, 2001). Los nombres de las plagas primarias, el daño que causan al cultivo y los insecticidas sintéticos recomendados para su control químico en la región, se describen a continuación.

La mosca blanca de la hoja plateada (*Bemisia argentifolii* Bellows & Perring), es una plaga cosmopolita y polífaga que tiene 108 plantas hospederas en la región. Desde 1994 se han registrado densidades de población altas de este insecto y en 1996 ocasionó la pérdida del 40 % al 100 % de la producción en los cultivo hortícolas. Las poblaciones de esta plaga se alimentan de las hojas succionando la savia, por lo que reducen el vigor de la planta; secretan una sustancia melosa y pegajosa que sirve de sustrato para el desarrollo de varias especies de hongos que producen manchas pulverulentas de color negro (fumagina) en el área foliar, inhibiendo la fotosíntesis; transmiten enfermedades virales entre las que destaca el virus del amarillamiento y achaparramiento de las cucurbitáceas (CYSDV, por sus sigla en inglés); e inyectan toxinas que inducen desórdenes fisiológicos en las plantas (Cano-Ríos *et al.*, 2001; Ramírez-Delgado *et al.*, 2002). Los insecticidas y/o acaricidas sintéticos recomendados para su control químico son el Acetamiprid, Azadiractina, Endosulfan, Imidacloprid, Fenpropatrin + Acefate, y Monocrotofos. También se recomienda el insecticida biológico producido con esporas del hongo *Beauveria Bassiana* (INIFAP, 2017).

El pulgón del melón (*Aphis gossypii* Glover) también es un insecto chupador cosmopolita y polífago que produce grandes cantidades de secreciones melosas. Por lo general, las poblaciones crecen de forma abundante en el envés de las hojas en desarrollo, a partir de la cuales se alimentan succionando la savia, por lo que las hojas se enrollan, arrugan y después se decoloran y marchitan. Las plantas muy infestadas se tornan de color café y mueren. Además, este áfido es vector de diversos virus como el virus mosaico del pepino (CMV, por sus siglas en inglés), virus mosaico amarillo del calabacín (ZYMV, por sus siglas en inglés) y virus mosaico de la sandía variante 2 (WMV-2, por sus siglas en inglés), principalmente. En este sentido, las enfermedades virales pueden ser más destructivas para los cultivos que la propia alimentación directa de los pulgones (Ramírez-Delgado *et al.*, 2002). En el control químico de este y otros pulgones se recomiendan los insecticidas y/o acaricidas sintéticos; Dimetoato, Endosulfan, Malatión, Oxidemetón metílico y Paratión metílico (INIFAP, 2017).

Los minadores de la hoja (*Lyriomiza sativa* Blanchard y *L. trifolii* Burges), son moscas pequeñas, cuyas hembras pican las hojas de las plántulas y depositan sus huevos en las picaduras. Cuando las larvas eclosionan los huevos forman una mina serpenteada conforme se alimentan del tejido mesófilo de las hojas afectando la fotosíntesis de las plántulas. Adicionalmente, las minas y picaduras favorecen el ingreso de fitopatógenos a las plantas (Ramírez-Delgado *et al.*, 2002). En la Comarca Lagunera se han registrado infestaciones severas que causaron la defoliación de las plantas y quemaduras de sol en los frutos mermando drásticamente la producción (Ramírez-Delgado *et al.*, 2002). Se recomiendan los siguientes insecticidas y/o acaricidas sintéticos para su control; Abamectina, aceite parafínico de petróleo, Azadiractina, Diazinón, Dimetoato, Fenvalerato, Metamidofos, Mevinfos, Naled y Permetrina (INIFAP, 2017).

Las plagas de importancia secundaria son menos frecuentes en la región o los daños que causan son menos severos, pero si no se controlan también pueden dañar gravemente al cultivo de melón. Las plagas insectiles son la chicharrita verde (*Empoasca fabae* Harris), diabroticas (*Diabrotica balteata* LeConte y *Diabrotica undecimpunctata* Mannerheimel), grillo (*Gryllus* spp.), gusano soldado (*Spodoptera exigua* Hubner), gusano falso medidor (*Trochoplusia ni* Hubner], barrenadores del fruto (*Diaphania hyalinata* y *Diaphania nitidalis*), gusano del fruto (*Heliothis zea* Boddie), y pulga saltona (*Epitrix cucumeris* Harris). El cultivo también es tacado por el ácaro conocido como araña roja (*Tetranychus* spp.) (Ramírez-Delgado *et al.*, 2002). Los insecticidas y/o acaricidas sugeridos para combatir estas plagas se indican en el Cuadro 1.

2.3.2. Enfermedades

Las enfermedades del cultivo de melón pueden aparecer en cualquier fase del ciclo de vida de las plantas y cualquier etapa de siembra. Algunas son específicas de la raíz, tallos, hojas o frutos, y otras afectan varias partes de la planta. El daño que causan es devastador y acaban con el cultivo en poco tiempo (Chew-Madinaveitia & Jiménez-Díaz, 2002; INIFAP, 2017).

Cuadro 1. Insecticidas y/o acaricidas sintéticos recomendados para el control de plagas secundarias en el cultivo de melón.

Insecticida y/o acaricida	ChV	D	G	GS	GFM ⁺	BF	GF	PS	AR
Aceite parafínico de petróleo ^{**}	✓								✓
Azadiractina [*]				✓	✓	✓	✓		
Azinfos metílico ^{**}		✓						✓	✓
Carbarilo ^{**}		✓	✓				✓	✓	
Diazinón ^{**}	✓	✓	✓						
Dicofol ^{***}									✓
Dimetoato ^{**}									
Endosulfan ^{**}	✓				✓			✓	
Esfenvalerato ^{**}				✓	✓				
Fenvalerato ^{**}	✓	✓	✓	✓	✓	✓			
Malatión ^{**}		✓	✓			✓	✓	✓	
Metamidofos ^{**}	✓	✓		✓	✓				
Metomilo ^{**}		✓		✓		✓		✓	
Mevinfos ^{**}							✓		
Naled ^{**}	✓				✓				
Oxidemetón metil ^{**}	✓							✓	
Paratión metílico ^{**}	✓	✓						✓	

ChV: Chicharrita verde, D: Diabroticas, G: Grillo, GS: Gusano soldado, GFM; Gusano falso medidor, BF: Barrenador del fruto, GF: Gusano del fruto, PS: Pulga saltona, AR: Araña roja. ⁺También se recomienda el insecticida biológico *Bacillus thuringiensis* para su control, ^{*}Insecticida, ^{**}Insecticidas/acaricidas, ^{***}Acaricida. Fuente: Ramírez-Delgado *et al.*, 2002.

Las enfermedades de la raíz causadas por hongos son; el ahogamiento por *Pythium sp.*, *Phytophthora sp.*, *Rhizoctonia solani* y *Fusarium sp.*; marchitez vascular por *Verticillium dahliae* Kleb. y *Fusarium oxysporum* f. sp. *melonis* (L & C) Snyder & Hansen; marchitez por *Macrophomina phaseolina* (Tassi). La raíz también es atacada por nematodos agalladores como *Meloidogyne incognita* (Kofoid & White) Chitwood, *M. javanica* (Treub) Chitwood, *M. arenaria* (Neal) Chitwood y *M. hapla* Chitwood (Chew-Madinaveitia & Jiménez-Díaz, 2002).

Las enfermedades del follaje son de origen fúngico, tales como el tizón temprano por *Alternaria cucumerina* (Ellis & Everhart) Elliott., cenicilla por *Erysiphe cichoracearum* D.C. y *Sphaerotheca fuliginea* (Schlechtend:Fr.) Pollaci.; y antracnosis por *Colletotrichum orbiculare* (Berk & Mont) Arx sinónimo de *C. lagenarium* (Pass) Ellis & Halst (Chew-Madinaveitia & Jiménez-Díaz, 2002).

Las enfermedades virales son transmitidas por insectos como el CMV, transmitido principalmente por *A. gossypii*, *A. fabae*, *Macrosiphum euphorbiae* y *Myzus persicae*; WMV-2, transmitido por *A. gossypii*, *M. persicae*, *A. citricola* y *M. euphorbiae*; Virus Mancha Anular del Papayo variante Sandía (PRSV-W, por sus siglas en inglés), cuyos vectores principales son los áfidos *A. craccivora*, *A. gossypii*, *A. spiraecola*, *M. euphorbiae* y *M. persicae*; Virus Mosaico de la Calabaza (SqMV, por sus siglas en inglés), transmitido por los escarabajos *Acalymma trivittatum* Mannerheim y *Diabrotica undecimpunctata* subsp. *Howardi* Barber; virus ZYMV, transmitido por *A. citricola*, *A. gossypii*, *M. euphorbiae* y *M. persicae*; y CYSDV, transmitido por *Bemisia argentifolii* Bellows & Perring (Chew-Madinaveitia & Jiménez-Díaz, 2002).

Las enfermedades del fruto también son causadas por hongos y, entre estas, se encuentran la pudrición ocasionada por varias especies del género *Fusarium* como *F. graminum* Corda, *F. graminearum* Schwabe, *F. acuminatum* Ellis & Everh, *F. avenaceum* (Fr.:Fr.) Sacc., *F. culmorum* (WG Sm.) Sacc., *F. moniliforme* J. Sheld, *F. semitectum* Berk & Ravenel, *F. equiseti* Corda, *F. scripi* Lambotte & Fautrey, *F. solani* Mart; antracnosis por *Colletotrichum lagenarium* sinónimo *Colletotrichum orbiculare*; y roña por *Cladosporium cucumerinum* Ellis & Arth (Chew-Madinaveitia & Jiménez-Díaz, 2002).

Aunque son muchas las enfermedades que afectan al cultivo de melón, las de mayor incidencia en la Comarca Lagunera son el tizón temprano, cenicilla y la enfermedad viral CYSDV (Chew-Madinaveitia *et al.*, 2008), cuyos daños al cultivo de melón se describen en seguida.

El tizón temprano causado por *Alternaria cucumerina* (Ellis & Everhart) Elliott, puede aparecer en las tres etapas de siembra, pero principalmente en la etapa temprana o la etapa tardía cuando llueve, debido a que el hongo se desarrolla en climas frescos y húmedos. Los síntomas se manifiestan en las hojas con lesiones circulares y acuosas con halos verdes y amarillentos, que después cambian a color café con anillos concéntricos oscuros, lo que provoca una defoliación severa de la planta y, en consecuencia, los frutos sufren quemaduras de sol (Chew-Madinaveitia *et al.*, 2008).

La Cenicilla ocasionada por *Podosphaera xantii* causa más daño en las etapas de siembra intermedia y tardía, ya que este hongo crece en condiciones cálidas y secas, por lo que basta una lluvia ligera para iniciar la infección en hojas, peciolo, tallos y pocas veces en frutos (Chew-Madinaveitia *et al.*, 2008). Los síntomas inician con pequeñas manchas cloróticas parcialmente cubiertas de micelios, conidióforos y conidios blanquecinos que cubren la totalidad de los tejidos adquiriendo un aspecto harinoso, hasta que finalmente el tejido se torna café y se seca. Los frutos son pequeños, deformes y con bajo contenido de azúcar (Chew-Madinaveitia *et al.*, 2008; INIFAP, 2017).

El CYSDV transmitido por la mosca blanca de la hoja plateada *B. argentifolii* Bellows & Perring es un problema fitosanitario grave en la Comarca Lagunera desde 1999 cuando se redujo en un 50 % el rendimiento de la cosecha en fechas de siembra tardías lo que, de acuerdo con estimaciones hechas por investigadores de la región, representó la pérdida de 16 toneladas por hectárea de fruto. Esta enfermedad se presenta en las etapas de siembra intermedia y tardía, pero generalmente la severidad de los daños es mayor en siembras tardías. Los síntomas empiezan con el amarillamiento de las hojas de la base o parte inferior de la planta, que avanza gradualmente hasta presentarse en toda la guía y después en toda la planta, causando enanismo de la planta y malformación del fruto, el cual no madura (Nava-Camberos *et al.*, 2007; Chew-Madinaveitia *et al.*, 2009; Álvarez-Ojeda *et al.*, 2012).

En el control químico de las enfermedades fúngicas se recomiendan fungicidas de amplio espectro (Cuadro 2) (Chew-Madinaveitia *et al.*, 2008; INIFAP, 2017). Los nematodos se controlan con insecticidas/acaricidas/nematicidas, entre los que se recomiendan el Cadusafos, Carbofuran, Fenamifos, Terbufos y Oxamil (Ocampo-Girón, 2019). Con respecto a las enfermedades virales, no existen compuestos químicos para su control, por lo que generalmente se recomienda la combinación del control químico de los insectos vectores que las transmiten, control de maleza, uso de repelentes y siembra de semillas híbridas adaptadas a la región (Chew-Madinaveitia *et al.*, 2009).

Cuadro 2. Fungicidas sintéticos recomendados para el control de enfermedades ocasionadas por hongos en el cultivo de melón

Insecticida y/o acaricida	Ah	TT	An	Cn	Mr
Benomil			✓	✓	✓
Captan	✓	✓	✓		
Carbendazim	✓				
Clorotaonil		✓	✓	✓	
Folpet		✓	✓		
Mancozeb		✓	✓		
Myclobutanil				✓	
Oscalid + pyraclostrobin				✓	
Tiofanato Metílico					✓
Triamidéfón				✓	

Ah: Ahogamiento, TT: Tizón Temprano, An: Antracnosis, Cn: Cenicilla, Mr; Marchitez por *Fusarium* spp. Fuente: Ramírez-Delgado *et al.*, 2002; INIFAP, 2017.

2.3.3. Maleza

En la Comarca Lagunera existen diversas hierbas invasoras que crecen de forma simultánea con las plantas de melón en todas las fechas de siembra. Las más invasivas son las perennes como el zacate Johnson [*Sorghum halepense* (L.) Pers.], zacate chino [*Cynodon dactylon* (L.) Pers.], hierba amargosa (*Helianthus ciliaris* D.C.), trompillo (*Solanum elaeagnifolium* Cav.) y coquillo (*Cyperus*

esculentus L.), y las especies anuales entre las que se encuentran el quelite [*Amaranthus palmeri* (S.) Watson.], cadillo (*Xanthium strumarium* L.), correhuela [*Ipomoea purpurea* (L.) Roth.], verdolaga (*Portulaca oleracea* L.), zacate pinto [*Echinochloa colona* (L.) Link.] y zacate pegarropa [*Setaria verticillata* (L.) Beauv.] (Castro-Martínez & Moreno-Alvarado, 2002).

Debido a que existen pocos herbicidas útiles para el control químico de hierbas invasoras en el cultivo de melón (Cuadro 3), los productores de la región las combaten mediante deshierbe manual, por lo que se pueden realizar desde dos hasta siete o más limpiezas por ciclo de cultivo. Cabe resaltar, que esta actividad representa cerca el 25 % del costo de la producción puesto que se ocupan a más de un millón de trabajadores agrícolas al año (INIFAP, 2017).

Cuadro 3. Herbicidas sintéticos recomendados para el control de maleza en el cultivo de melón

Herbicida	ZPn	ZPg	ZJh	ZCh	HA
Clortal dimetil	✓	✓	✓		
Trifluralina	✓	✓	✓		
Pendimetalin	✓	✓	✓		
Bensulide					✓
Naptalan					✓
Setoxidim	✓	✓	✓	✓	

ZPn: Zacate pinto, ZPg: Zacate pegarropa, ZJh: Zacate Johnson, ZCh: Zacate chino, HA; Hoja ancha (quelite, verdolaga, etc.). Fuente: INIFAP, 2017.

2.4. Plaguicidas

2.4.1. Definiciones legales

La definición del término plaguicida difiere en cada país, pero, por lo común, todas las definiciones se basan en la establecida por Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, por sus siglas en inglés) en el artículo 2 de la primera versión del Código Internacional de Conducta para la

Distribución y Utilización de Plaguicidas, publicada en 1985 (desde 2013, Código Internacional de Conducta para la Gestión de Plaguicidas), en donde se define a un plaguicida como sigue:

“Cualquier sustancia o mezcla de sustancias destinadas a prevenir, destruir o controlar cualquier plaga, incluyendo los vectores de enfermedades humanas o de los animales, las especies no deseadas de plantas o animales que causan perjuicio o que interfieren de cualquier otra forma en la producción, elaboración, almacenamiento, transporte o comercialización de alimentos, productos agrícolas, madera y productos de madera o alimentos para animales, o que pueden administrarse a los animales para combatir insectos, arácnidos u otras plagas en o sobre sus cuerpos. El término incluye las sustancias destinadas a utilizarse como reguladoras del crecimiento de las plantas, defoliantes, desecantes, agentes para reducir la densidad de fruta o agentes para evitar la caída prematura de la fruta, y las sustancias aplicadas a los cultivos antes o después de la cosecha para proteger el producto contra la deterioración durante el almacenamiento y transporte” (FAO, 2003).

En México, de acuerdo con el artículo 278 de la Ley General de Salud, los plaguicidas se definen de la siguiente manera:

“Cualquier sustancia o mezcla de sustancias que se destina a controlar cualquier plaga, incluidos los vectores que transmiten las enfermedades humanas y de animales, las especies no deseadas que causen perjuicio o que interfieran con la producción agropecuaria y forestal, así como las sustancias defoliantes y las desecantes” (Ley General de Salud, 2021).

Asimismo, en el artículo 5 de la Ley Federal de Sanidad Vegetal el término plaguicida se define como “Insumo fitosanitario destinado a prevenir, repeler, combatir y destruir a los organismos biológicos nocivos a los vegetales, sus productos y subproductos” (Ley Federal de Sanidad Vegetal, 2017).

En general, los plaguicidas son sustancias tóxicas que se liberan intencionalmente al medio ambiente para combatir a los organismos vivos considerados plaga, debido a que ponen en peligro la alimentación, la salud y/o el bienestar de las personas (Mahmood *et al.*, 2016).

2.4.2. Contexto histórico de su uso

El uso de plaguicidas en la agricultura y la salud pública data de hace miles de años, por lo que el orden de aparición de estos productos a través de la historia se divide en cuatro etapas (Albert & Viveros, 2019). La primera etapa se conoce como la “era de los productos naturales” y es la más extensa en la historia de los plaguicidas, ya que abarca desde 3000 años a. C. hasta mediados del siglo XIX de nuestra era (Albert & Viveros, 2019). Se tiene registro de que, antes de Cristo, algunas civilizaciones antiguas (sumerios, egipcios griegos, chinos, romanos, persas) usaron sustancias minerales, como el azufre para controlar insectos y hongos; arsénico, mercurio y fósforo para controlar insectos, y cloruro de sodio (sal común) como herbicida. También se usaron productos obtenidos de plantas como las hojas del crisantemo (*Chrysanthemum spp.*) para controlar insectos, aceite del eléboro negro (*Helleborus niger*) para controlar roedores e insectos y aceite de oliva como herbicida. Ya en nuestra era, casi a mediados del siglo XIX, también se empezaron a usar decocciones de hojas de tabaco (*Nicotiana tabacum*), extractos o flores de crisantemo (*Chrysanthemum spp.*) secas y molidas, y rotenona obtenida de raíces de plantas del género *Derris*, para controlar insectos (Taylor *et al.*, 2007; Wilhoit, 2018; Albert & Viveros, 2019).

La segunda etapa en la historia de los plaguicidas se conoce como la “era de los fumigantes” y se desarrolló durante la Revolución Industrial, desde mediados del siglo XIX hasta principios del siglo XX. En esta etapa aparecieron los primeros plaguicidas sintéticos, principalmente inorgánicos, debido al nacimiento de la industria química (Albert & Viveros, 2019). El cianuro de hidrógeno, bromuro de metilo y disulfuro de carbono son algunos de los fumigantes (gases altamente tóxicos) que se desarrollaron para controlar hongos, insectos y bacterias en la

agricultura (Fishel, 2009; Albert & Viveros, 2019). Además, se produjo el verde de París (acetoarsenito de cobre), y los arseniatos de plomo y de calcio que se usaron para controlar insectos, así como, el ácido sulfúrico diluido, sulfato de hierro, sulfato de cobre, nitrato de cobre, arseniato de sodio y aceites minerales derivados de la destilación del petróleo, los cuales se utilizaron como herbicidas. La mezcla de cal hidratada y sulfato de cobre, conocida como “caldo bordelés”, se usó como fungicida, y aún se sigue utilizando en todo el mundo para el mismo propósito (Taylor *et al*, 2007; Wilhoit, 2018).

La tercera etapa se conoce como la “era de los plaguicidas sintéticos” y abarca de 1925 a 1990. Durante este periodo se registró un drástico crecimiento en la producción y uso de una amplia variedad de plaguicidas orgánicos altamente tóxicos, cuyas moléculas se sintetizaron en laboratorios y se produjeron a nivel industrial. Inició con la síntesis de compuestos derivados del nitrógeno gaseoso o dinitroderivados en 1925 y los tiocianatos a inicios de la década de 1930. Sin embargo, el mayor avance en el desarrollo de estos plaguicidas ocurrió durante y después de la Segunda Guerra Mundial, cuando se produjeron los plaguicidas organoclorados, cuyo principal representante es el insecticida dicloro-difenil-tricloroetano (DDT) (Albert & Viveros, 2019).

El DDT se sintetizó por primera vez en Alemania, en 1874, como resultado de investigaciones destinadas a desarrollar armas químicas, pero sus propiedades insecticidas las descubrió el químico suizo Paul Muller en 1931, obteniendo con ello el premio Nobel de medicina en 1948, debido a que el DDT evitó que las tropas estadounidenses enfermaran de tifus y malaria, ambas enfermedades transmitidas por insectos (Costa, 1987). Debido a este éxito sin precedentes, el DDT se usó intensivamente en todo el mundo para combatir a todo tipo de insectos plaga, tanto en la agricultura como en los programas de salud pública, ya que no existía preocupación por sus efectos perniciosos en los ecosistemas y las personas (Franco *et al.*, 2015). En este sentido, el DDT se consideró como un gran avance de la ciencia porque reemplazó a algunos compuestos altamente

tóxicos que se estaban usando para el mismo fin, como las sales de arsénico, mercurio y cianuro de hidrógeno, entre otros (Wilhoit, 2018).

Después del descubrimiento del DDT, se desarrollaron otros tipos de insecticidas organoclorados y se probaron algunos compuestos organofosforados, potentes gases neurotóxicos que, como el DDT, inicialmente se crearon en Alemania con fines bélicos. Asimismo, se sintetizaron muchos compuestos nuevos con diferentes estructuras químicas para controlar, no solo insectos, también hongos, bacterias, maleza, roedores, nemátodos, moluscos, etc., los cuales resultaron ser eficaces para controlar de forma rápida a las plagas, fáciles de aplicar y económicos, por lo que pronto se convirtieron en el principal método de control fitosanitario, hasta crear dependencia de su uso en la producción agrícola. Entre los plaguicidas más representativos que se desarrollaron en esta etapa están los organoclorados, organofosforados, carbamatos, piretroides y derivados del ácido fenoxiacético (Costa, 1987; Wilhoit, 2018; Albert & Viveros, 2019).

El uso de plaguicidas orgánicos sintéticos permitió obtener aumentos sustanciales en el rendimiento y calidad de las cosechas, por lo que su uso también contribuyó a la consolidación de la agricultura industrial, producto de la denominada Revolución Verde, cuyas bases se sentaron durante la Revolución Industrial y que se caracteriza por la producción de monocultivos especializados, los cuales son totalmente dependientes de insumos agrícolas tales como fertilizantes y plaguicidas sintéticos, semillas genéticamente modificadas, sistemas de suministro de agua controlado, y maquinaria agrícola motorizada (Sarwar, 2015; Albert & Viveros, 2019).

A pesar del éxito de los plaguicidas orgánicos de síntesis química para controlar eficazmente las plagas agrícolas, al poco tiempo de su uso creciente y generalizado los problemas comenzaron a aparecer y a intensificarse. Las plagas desarrollaron resistencia a estos productos por lo que, para controlarlas, los agricultores tuvieron que usar dosis cada vez mayores, usar mezclas y realizar

aplicaciones periódicas de estos plaguicidas, lo que causó daño a las plantas y animales no objetivo, contaminación de alimentos, contaminación del agua, suelo y aire, y problemas de salud pública (Weller *et al.*, 2014). Aunado a lo anterior, aproximadamente 20 años después de la introducción del DDT, en 1962, la bióloga estadounidense Rachel Carson documentó por primera vez en su libro "La primavera silenciosa" la gran cantidad de daños graves que los plaguicidas sintéticos, enfatizando los efectos del DDT, estaban causando a la vida silvestre (principalmente en las aves rapaces y los peces), ecosistemas y seres humanos, debido a su naturaleza altamente tóxica, amplio espectro de acción y elevada persistencia en los compartimentos ambientales (Stoll, 2012).

Así, las evidencias sobre la resistencia que las plagas desarrollaron a la acción de los plaguicidas sintéticos y las pruebas irrefutables publicadas en el libro "La primavera silenciosa" sobre los daños en los ecosistemas que su uso indiscriminado estaba ocasionando, impulsó la regulación de los plaguicidas sintéticos en los países desarrollados. Los resultados de estos esfuerzos iniciaron prohibiendo la fabricación y comercialización del DDT en Suecia en 1970, en UU. EE. en 1972, y posteriormente en otros países (Stoll, 2012; Wilhoit, 2018; Davis, 2019). Sin embargo, el DDT y otros plaguicidas altamente tóxicos que se prohibieron en los países desarrollados, se siguieron usando en los países en desarrollo, los cuales se caracterizan por tener sistemas de regulación menos estrictos o carecer de estos, como consecuencia de presiones técnicas, económicas y políticas que promueven el uso de grandes cantidades de estos agroquímicos (Albert & Viveros, 2019), por lo que actualmente los países en desarrollo son los principales consumidores en el mundo de plaguicidas sintéticos altamente tóxicos, con una tendencia al alza (Sarkar *et al.*, 2021).

La cuarta etapa en la historia de los plaguicidas corresponde al desarrollo de plaguicidas biorracionales también conocidos como bioplaguicidas y abarca de 1990 hasta la actualidad (Albert & Viveros, 2019). Una vez que se reconocieron los peligros del uso exclusivo y excesivo de los plaguicidas sintéticos en el control

fitosanitario, se reintrodujeron los principios del Manejo Integrado de Plagas (MIP). Aunque el MIP ya se practicaba antes de que los insecticidas orgánicos sintéticos estuvieran ampliamente disponibles en el mercado, estos sistemas fueron abandonados después de la Segunda Guerra Mundial porque el control químico resultó ser más rápido, muy eficaz, conveniente e inicialmente barato (Tyler, 2007). El MIP tiene como objetivo mantener las plagas a niveles económicamente insignificantes mediante el uso de métodos de cultivo que desalientan a las plagas, estimulan a los depredadores naturales de las plagas, y los plaguicidas se aplican durante el período más susceptible del ciclo de vida de la plaga, por lo que se reduce la cantidad de plaguicidas aplicados (Tyler, 2007; Franco *et al.*, 2015). Sin embargo, el MIP implica más esfuerzo porque requiere de un conocimiento profundo de principios ecológicos, del ciclo de vida de la plaga y la dinámica de la población (Tyler, 2007).

A partir de 1990, la reintroducción de los sistemas del MIP promovió el desarrollo de plaguicidas biorracionales, productos diseñados para controlar a la población de una plaga a un nivel manejable en lugar de erradicarla por completo y, por lo tanto, son muy específicos, se usan en dosis muy bajas, no persisten o son poco persistentes en el ambiente y, en teoría, tienen poca o nula toxicidad para los enemigos naturales de las plagas, vida silvestre y seres humanos (Kapoor & Sharma, 2020). Los plaguicidas biorracionales comprenden a los insecticidas microbianos (contienen bacterias, hongos, virus, nematodos y protozoarios vivos) que liberan toxinas o provocan enfermedades a los insectos; los fitoquímicos protectores (alcaloides, esteroides, terpenoides, aceites esenciales, fenólicos, etc.) incorporados a las plantas mediante ingeniería genética; y los plaguicidas bioquímicos, compuestos por sustancias de origen natural como extractos de plantas, productos a base de hormonas para la interrupción del apareamiento de insectos, reguladores del crecimiento de insectos (hormonas juveniles y su análogos) y feromonas para la captura masiva de insectos (Yadav & Devi, 2017).

2.4.3. Clasificaciones

Debido a que los plaguicidas constituyen un grupo de compuestos muy amplio y heterogéneo, existen varios criterios para su clasificación, que se establecen de acuerdo con la característica que se quiere destacar como la fuente de origen, uso al que se destinan, organismo plaga que controlan, modo de entrada al organismo plaga, espectro de acción, época de aplicación, modo de acción en el organismo de la plaga, grupo químico de la molécula, toxicidad, persistencia en el medio ambiente y tipo de formulación (Yadab & Devi, 2017; Akashe *et al.*, 2018). Las categorías de estas clasificaciones se describen a continuación.

Según la fuente de origen. De acuerdo con su origen, los plaguicidas pueden ser naturales o sintéticos. Los naturales se obtienen de fuentes presentes en la naturaleza, mientras que los sintéticos están compuestos por moléculas que no existen en la naturaleza, sino que se diseñan en laboratorios mediante síntesis química. En ambas categorías existen compuestos orgánicos e inorgánicos de acuerdo con la presencia o no de moléculas hidrocarbonadas en su composición química (Terziev & Petkova-Georgieva, 2019; Zikankuba *et al.*, 2019).

- a) Plaguicidas orgánicos naturales. Se conocen como bioplaguicidas y se obtienen a partir de microorganismos vivos (bacterias, hongos, virus, nematodos y protozoarios) y de compuestos derivados del metabolismo de animales, bacterias, hongos y plantas (Akashe *et al.*, 2018).
- b) Plaguicidas inorgánicos naturales. Se extraen de los depósitos de minerales que se han acumulado en la corteza terrestre como el azufre, cobre, arsénico, mercurio, etc., por lo que también se conocen como plaguicidas minerales (Aquino, 2004).
- c) Plaguicidas orgánicos sintéticos. Son sustancias compuestas por moléculas hidrocarbonadas con átomos de otros elementos como oxígeno, cloro, fósforo, nitrógeno, cobre, zinc, etc. En este grupo también se encuentran los plaguicidas organometálicos, formados por moléculas hidrocarbonadas con átomos de metales pesados como los derivados del

tributilestaño y metilmercurio, entre otros. Son muy tóxicos y persistentes en el medio ambiente (Aquino, 2004).

- d) Plaguicidas inorgánicos sintéticos. Se sintetizan a partir de minerales o sus sales, como el oxiclورو de cobre, sulfato de cobre, arseniato de plomo, etc. (Aquino, 2004).

Según el uso al que se destinan. De acuerdo con los ámbitos de aplicación, los plaguicidas se clasifican en las siguientes categorías (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural - Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria, 2019):

- a) Agrícolas. Uso en sistemas de producción agrícola y en productos y subproductos de origen vegetal.
- b) Forestales. Uso en bosques y maderas.
- c) Urbanos. Uso exclusivo en áreas urbanas, industriales, áreas no cultivadas, drenes, canales de riego, lagos, presas, lagunas y vías de comunicación.
- d) Jardinería. Uso en jardines y plantas de ornato.
- e) Pecuarios. Uso en animales o instalaciones de producción intensiva o extensiva cuyo producto será destinado al consumo humano o a usos industriales. Incluye el uso en animales domésticos.
- f) Domésticos. Uso en el interior del hogar.
- g) Industriales. Se utiliza como materia prima en el proceso industrial para la formulación de plaguicidas o productos de uso directo.

No obstante, la agricultura es el mayor usuario de estos productos, ya que en esta actividad económica se consume alrededor del 85 % de la producción mundial de plaguicidas (Akashe *et al.*, 2018).

Según el organismo plaga que controlan. Las categorías de este criterio de clasificación de plaguicidas se presentan en el Cuadro 4. El nombre de cada

categoría se compone del nombre del organismo plaga que controlan (insectos, hongos, etc.) o, para el caso de los artrópodos, la etapa de desarrollo en la que actúan (larvas, huevos, etc.), seguida del sufijo “cida”, palabra latina que significa “matar” (Yadav & Devi, 2017).

Cuadro 4. Clasificación de plaguicidas según el organismo plaga que controlan.

Tipo de plaguicida	Plaga que controla	Tipo de plaguicida	Plaga que controla
Insecticidas	Insectos	Pupicidas	Pupas de insectos
Fungicidas	Hongos	Virucidas	Virus
Bactericidas	Bacterias	Molusquicidas	Moluscos
Herbicidas	Malezas	Nematicidas	Nemátodos
Acaricidas	Ácaros	Avicidas	Aves
Rodenticidas	Roedores	Lampricidas	Larvas de lampreas
Alguicidas	Algas	Piscicidas	Peces
Larvicidas	Larvas de insectos	Silvicidas	Vegetación leñosa
Ovicidas	Huevos de insectos	Termicidas	Termitas

Fuente: Masís *et al.*, 2017; Akashe *et al.*, 2018.

Sin embargo, no todas las categorías de plaguicidas terminan con la palabra “cida”, algunos también se clasifican según su función, por ejemplo; reguladores del crecimiento, que estimulan o retardan el crecimiento de plagas; defoliantes, que inducen la caída de las hojas de las plantas; desecantes, que aceleran el secado de las plantas para la cosecha mecánica o hacen que los insectos se sequen y mueran; repelentes, que evitan que las plagas se acerquen al cultivo; atrayentes, que atraen a las plagas o a sus enemigos naturales y pueden servir como cultivo trampa o cebo; antialimentarios, que quitan el apetito o reducen la capacidad de alimentación de las plagas; y quimioesterilizantes, que impiden la reproducción de las plagas (Yadav & Devi, 2017).

En la actualidad, se estima un consumo mundial de alrededor de dos millones de toneladas de plaguicidas al año. Los más utilizados son los herbicidas (48%),

insecticidas (30 %), fungicidas (18 %), seguidos de otros tipos como rodenticidas y nematocidas (Sharma *et al.*, 2019; Sarkar *et al.*, 2021).

Según el modo de entrada al organismo de la plaga. Esta clasificación alude a la forma en que los plaguicidas entran al organismo de la plaga para ejercer su función biocida.

- a) Plaguicidas de contacto. Actúan en la superficie de la planta dónde se aplican, sin penetrar en los tejidos. Los herbicidas de contacto sólo dañan las superficies de las plantas que son asperjadas. Los insecticidas de contacto ingresan al cuerpo de los insectos a través de la cutícula, cuando se asperjan directamente sobre las plantas infestadas o cuando las plagas de insectos se arrastran en las superficies tratadas. Los fungicidas de contacto únicamente protegen las superficies de la planta que cubren o con las que entran en contacto (UNICOOP, 2015).
- b) Plaguicidas sistémicos. Actúan por traslocación, es decir, penetran en los tejidos y se mueven en el interior de las plantas; Los plaguicidas se aplican al follaje (plaguicidas foliares) o la raíz (plaguicidas aplicados al suelo) y se absorben en estos tejidos para luego ser transportados a través del sistema vascular de la planta (xilema y/o floema) a otros tejidos vegetales. Las plantas indeseables, con sólo una aplicación parcial, mueren conforme el herbicida sistémico se mueve en el interior de la planta hasta llegar a las áreas no tratadas como las hojas, tallos o raíces. En los insectos, la acción sistémica ocurre cuando el insecticida se absorbe en la planta y luego el insecto se alimenta de ella. Los fungicidas sistémicos protegen al cultivo previniendo el desarrollo del hongo o erradicando la enfermedad (UNICOOP, 2015).
- c) Plaguicidas de ingestión o estomacales. Estos plaguicidas ingresan al cuerpo de los animales considerados plagas agrícolas (insectos, ácaros, roedores, etc.) a través de la boca y el tracto digestivo; la plaga es

erradicada cuando se alimenta de las partes de la planta que han sido tratadas (UNICOOP, 2015).

- d) Fumigantes. Son plaguicidas que ingresan en forma de gas o vapor al cuerpo de las plagas a través de la inhalación o en el caso de los insectos a través de sus espiráculos traqueales. Pueden aplicarse en forma de gas, o bien, como sólidos o líquidos que cuando entran en contacto con el aire y la humedad atmosférica generan gases tóxicos. Se usan principalmente para fumigar granos almacenados en lugares cerrados y para la fumigación del suelo, siempre que se coloque un material que lo cubra para evitar que el gas escape a la atmósfera (UNICOOP, 2015).

Según el espectro de acción. Los plaguicidas también se clasifican de acuerdo con la capacidad o incapacidad que tienen de actuar sobre una especie indeseable en particular sin afectar a otras benéficas.

- a) De amplio espectro. Son sustancias diseñadas para matar una amplia variedad de plagas y maleza, pero también dañan a otros organismos no objetivo como reptiles, peces, mascotas y aves, entre otros. La mayoría de los plaguicidas orgánicos sintéticos se engloban en esta categoría (Zacharia, 2011).
- b) Selectivos. Solo erradican a una plaga o grupo de plagas específicas sin afectar a otros organismos. Por ejemplo, los herbicidas destruyen tipos específicos de maleza, pero no afectan el cultivo. Los plaguicidas biorracionales se crearon con este propósito (Zacharia, 2011).

Según la época de aplicación. Esta clasificación es más común para los herbicidas y se refiere a la etapa de la producción en la que estos productos se aplican al suelo o al cultivo.

- a) Herbicidas de presembrado o pretrasplante. Se incorporan al suelo antes de la siembra o el trasplante (Akashe *et al.*, 2018).

- b) Herbicidas preemergentes. Se aplican al suelo después de la siembra, pero antes de la emergencia del cultivo o la maleza (Akashe *et al.*, 2018).
- c) Herbicidas postemergentes. Se aplican después de que el cultivo o maleza emergen del suelo (Akashe *et al.*, 2018).

Según su estrategia de uso. De acuerdo con el nivel de protección de los cultivos, los plaguicidas se pueden clasificar en las siguientes categorías:

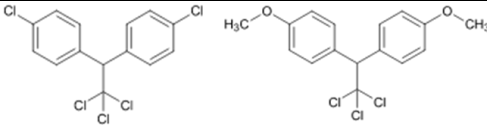
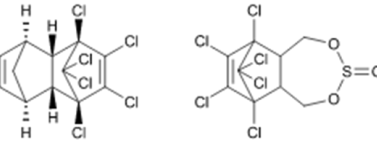
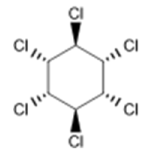
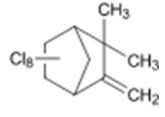
- a) Preventivos. Evitan el desarrollo de la plaga y solo actúan en la superficie del tejido de la planta donde se aplican. Por ejemplo, los fungicidas preventivos protegen a las plantas de la acción del hongo evitando la producción de esporas o el crecimiento del patógeno (UNICOOP, 2015).
- b) De acción residual. Este es el caso de los herbicidas preemergentes, los cuales se aplican al suelo, donde permanecen activos durante días, semanas o meses impidiendo la germinación de las semillas o afectando a las plántulas que acaban de emerger (UNICOOP, 2015).
- c) De acción erradicante. Destruyen o detienen la acción de un organismo patógeno que ya se ha establecido (UNICOOP, 2015).

Según el grupo químico. En esta clasificación los plaguicidas con estructuras moleculares análogas y, en consecuencia, con propiedades físicas, químicas y toxicológicas afines, se agrupan en familias o grupos químicos (Masís *et al.*, 2017). Con esta información es posible determinar el modo de acción del plaguicida sobre un determinado organismo plaga, el método de aplicación, las precauciones que se deben tomar durante la aplicación y las dosis de aplicación (Kaur *et al.*, 2019). Esta clasificación es la más utilizada en investigaciones sobre plaguicidas y su impacto adverso en los ecosistemas, así como, para el registro de plaguicidas en el mundo, debido a que se fundamenta en criterios uniformes y científicos que permiten correlacionar la identidad química de estos agroquímicos con su persistencia, daños que producen en el medio ambiente y toxicidad en organismos vivos, incluidas las personas (Hassaan & Nemr, 2020).

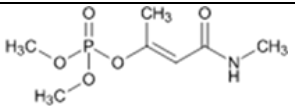
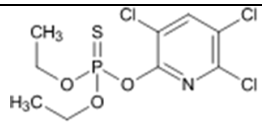
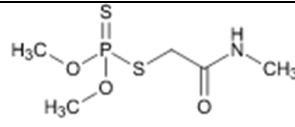
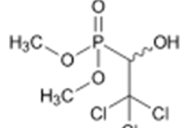
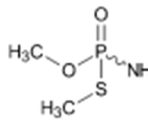
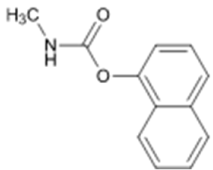
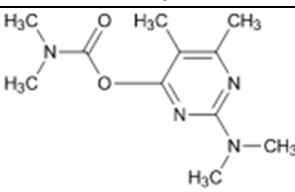
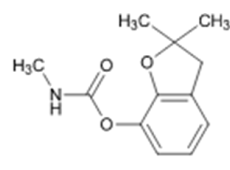
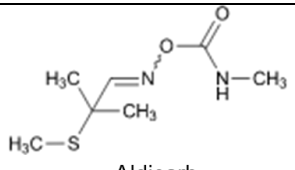
Actualmente, existen alrededor 6 400 moléculas, entre ingredientes activos y sus productos de transformación e ingredientes inertes, que se utilizan para fabricar más de 100 000 formulaciones de plaguicidas (Moo-Muñoz, 2020). Los ingredientes activos son los responsables de la actividad biocida en la formulación y sus moléculas se agrupan de acuerdo con su estructura química en decenas de grupos y subgrupos químicos. No obstante, el número de grupos químicos tiende a aumentar debido a que continuamente se introducen en el mercado nuevos plaguicidas con moléculas de muy diversas estructuras químicas, muchas de las cuales aún no se clasifican (Wood, 2021)

En el Cuadro 5 se muestran algunos de los grupos y subgrupos químicos de los insecticidas de mayor preocupación en el mundo debido a sus altos volúmenes de producción, gran demanda de uso, y elevada toxicidad sanitaria y ambiental (Sharma *et al.*, 2019; Hassaan & Nemr, 2020).

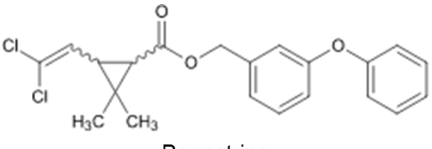
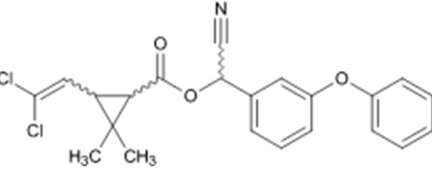
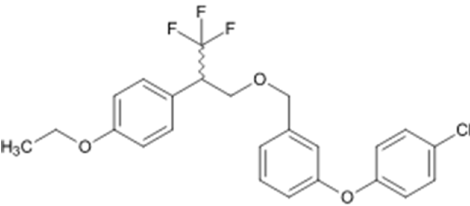
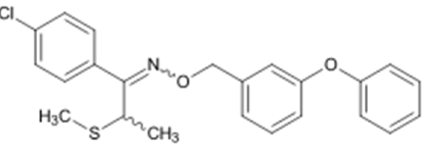
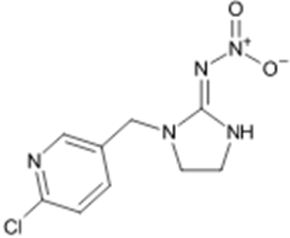
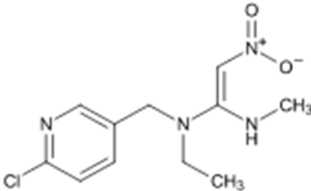
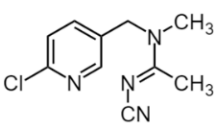
Cuadro 5. Clasificación de algunos insecticidas según el grupo químico

Grupo químico	Subgrupos químicos	Ejemplos
Organoclorados (están compuestos por átomos de carbono, hidrógeno y cloro, principalmente. Algunos también contienen oxígeno y azufre)	Difenilalifáticos	 DDT Metoxicloro
	Ciclodienos	 Aldrín Endosulfan
	Ciclohexanos	 Lindano
	Policloroterpenos	 Toxafeno

Cuadro 5. Continuación

Organofosforados (son ésteres, amidas o derivados tiólicos de los ácidos fosfórico, fosfónico, fosfortioico o fosfonotioico)	Fosfatos	 <p>Monocrotophos</p>
	Tiofosfatos	 <p>Clorpirifos etil</p>
	Ditiofosfatos	 <p>Dimetoato</p>
	Fosfonatos	 <p>Triclorfon</p>
	Fosforamidas	 <p>Metamidofos</p>
Carbamatos (son ésteres de ácido N-metil o N,N-dimetil carbámico con un fenol o una oxima)	N-metilcarbamato de fenilo	 <p>Carbaryl</p>
	N,N-dimetilcarbamato	 <p>Pirimicarb</p>
	N-metilcarbamato de benzofuranilo	 <p>Carbofuran</p>
	Carbamato de oxima	 <p>Aldicarb</p>

Cuadro 5. Continuación

<p>Piretroides (Se sintetizan a partir de las piretrinas naturales del crisantemo <i>Chrysanthemum cinerariaefolium</i> y <i>Chrysanthemum roseum</i>)</p>	<p>Piretroides éster sin grupo α-ciano</p>	 <p>Permetrina</p>
	<p>Piretroides éster con grupo α-ciano</p>	 <p>Cipermetrina</p>
	<p>Piretroides éter</p>	 <p>Flufenprox</p>
	<p>Piretroides oxima</p>	 <p>Sulfoxima</p>
<p>Neonicotinoides (son derivados de la nicotina, un alcaloide natural del tabaco <i>Nicotiana tabacum</i> L.).</p>	<p>Neonicotinoides de nitroguanidina</p>	 <p>Imidacloprid</p>
	<p>Neonicotinoides de nitrometileno</p>	 <p>Nitenpiram</p>
	<p>Neonicotinoides de piridilmetilamina</p>	 <p>Acetamiprid</p>

Fuente: Brown, 2000; Gupta, 2006; Smith, 2011; Sud & Kaur, 2012; Wood, 2021.

Según el modo de acción en el organismo de la plaga. Los plaguicidas que pertenecen al mismo grupo químico también comparten modos de acción similares (Cloyd & Cowles, 2010). El modo de acción se refiere a la respuesta bioquímica y fisiológica del organismo de la plaga objetivo, una vez que el plaguicida ingresa a este para ejercer su función inhibitoria o letal (Ponce *et al.*, 2006). En general, los plaguicidas alteran los procesos fisiológicos de la especie indeseable, causando un daño bioquímico, por ejemplo; la inhibición de una enzima necesaria para la llevar a cabo la respiración, alimentación, propagación, síntesis molecular, crecimiento, etc. (Cuadro 6) (Masís *et al.*, 2017).

La importancia de comprender cómo funcionan los plaguicidas en el organismo de las plagas se debe a dos razones; para conocer las diferencias y similitudes con respecto a los procesos fisiológicos entre las personas y las plagas, y para prevenir que las plagas desarrollen resistencia a estos productos (El-Wakeil, 2013). En función del grupo químico, los plaguicidas pueden actuar en un solo sitio o en diferentes sitios del organismo de la plaga o plagas objetivo. Los plaguicidas que actúan en distintos sitios reducen el riesgo de que un organismo desarrolle resistencia al efecto de estos productos, mientras que los que actúan en un solo sitio favorecen que las plagas desarrollen resistencia, debido a que los individuos que sobreviven transmiten sus genes de resistencia a su descendencia (Ponce *et al.*, 2006).

Para evitar el desarrollo de resistencia de las plagas a los plaguicidas, es necesario usar productos que tengan distintos modos de acción y no de diferentes grupos químicos, ya que algunos grupos químicos tienen modos de acción similares. Por ejemplo, los insecticidas organofosforados y carbamatos son de un grupo químico diferente, pero tienen el mismo modo de acción, estos inhiben a la enzima acetilcolinesterasa, la cual cataliza la hidrólisis del neurotransmisor acetilcolina a colina y ácido acético en las uniones neuromusculares y las sinapsis colinérgicas cerebrales (Cloyd & Cowles, 2010).

Cuadro 6. Modo de acción y grupo químico de insecticidas, fungicidas y herbicidas.

Tipo de plaguicida	Modo o sitio de acción	Grupo químico
Insecticidas	Interferencia en el sistema nervioso	Organoclorados, organofosforados, carbamatos, piretroides, piretrinas, fiproles-fenilpirazoles, avermectinas, nicotinoides-nitrometilenos, nicotina.
	Reguladores del crecimiento	Benzoil-fenilureas, benzamidas, benzoil-hidrazinas
	Toxinas alimentarias	<i>Bacillus thuringiensis</i>
	Sistema respiratorio	Fosfuros, bromuros, otros
	Tóxico físicos	Aceites minerales, tierra de diatomeas, geles de sílice
Fungicidas	Inhibición de la síntesis de ácidos nucleicos	Fenilamidas, pirimidinas, derivados de hidrocarburos aromáticos, carboximidas, derivados del benzimidazol
	Mitosis y división celular	Ditiocarbamatos, benzimidazoles, fenilureas, benzamidas
	Inhibición de la producción de ATP en el metabolismo energético	Carboximidas, quinonas, cúpricos, arsenicales, derivados del estaño, disulfuros, ditiocarbamatos, estrobirulinas
	Síntesis de aminoácidos y proteínas	Anilino pirimidinas
	Transducción de señales	Quinolinas, fenilpirroles, dicarboximidas
	Síntesis de lípidos y membrana	Clorofenoles, nitroanilinas, ditiocarbamatos, amidas
	Biosíntesis de esterol en las membranas	Morfolinas, triazoles
	Alteración de la estructura celular	Dodecilguanidina
	Acción múltiple	Cúpricos, sulfúricos, ditiocarbamatos, ftalamidas, cloronitrilos, sulfamidas, guanidinas, triazinas, quinonas

Cuadro 6. Continuación

Herbicidas	Inhibición de la acetil coenzima A carboxilasa	Ariloxi-fenoxi, ciclohexanodionas
	Inhibición de la formación de microtúbulos	Dinitroanilinas
	Auxinas sintéticas	Clorofenóxidos, derivados del ácido benzoico ácidos piridín carboxílicos, ácidos quinolín carboxílicos
	Inhibición de la fotosíntesis en el fotosistema II	Triazinas, triazinonas, uracilos, ureas sustituidas, benzotiadiazonas, carbamatos, amidas
	Inhibición de la fotosíntesis en el fotosistema II y respiración	Benzonitrilos
	Inhibición de la protoporfirinógeno oxidasa	Difeniléteres, N-fenilftalamidas, oxadiazoles, triazolinonas
	Inhibición de la síntesis de lípidos	Tiocarbamatos
	Desviación del flujo electrónico en el fotosistema I	Bipiridilos
	Inhibición de la síntesis de carotenoides	Isoxasoles, nicotinanilidas, otros
	Inhibición de la síntesis de proteínas, metabolismo de lípidos y división celular	Acetanilidas
	Interferencia en la actividad enzimática y precipitación de proteínas	Carboxílicos aromáticos
	Interferencia en el metabolismo del fósforo	Arsenicales
	Inhibición de la enolpiruvil shikimato-fosfato sintetasa	Glicinas

Fuente: Bedmar, 2011.

Por ello, los comités de acción de resistencia a los herbicidas (HRAC, por sus siglas en inglés), insecticidas (IRAC, por sus siglas en inglés), y fungicidas (FRAC, por sus siglas en inglés) han desarrollado clasificaciones basadas en el modo de acción para promover el manejo de resistencia de los organismos plaga a los plaguicidas (OHP, 2021).

Según su toxicidad. La toxicidad es la capacidad intrínseca de una sustancia para causar daño o la muerte (Yadav & Devi, 2017). En este sentido, todos los plaguicidas se diseñan o se seleccionan para producir efectos tóxicos en las plagas, sin embargo, la mayoría de estos productos no distinguen entre las plagas y otros organismos vivos con los que entran en contacto, por lo que son potencialmente peligrosos para todas las formas de vida (Lushchak *et al.*, 2018; Manyilizu, 2019).

El uso generalizado e intensivo de los plaguicidas en la agricultura provoca que estos productos contaminen el suelo, agua y aire, permanezcan en los cultivos y finalmente ingresen a la cadena alimentaria (Sharma *et al.*, 2019). Esto representa un problema creciente de salud pública, puesto que los plaguicidas pueden ingresar al cuerpo de las personas a través de la inhalación de aire, polvo y vapor contaminados; a través de la exposición dérmica por el contacto directo con estos productos; y por exposición oral al consumir agua y alimentos contaminados (Nicolopoulou-Stamati *et al.*, 2016). Dependiendo de la toxicidad intrínseca del plaguicida, dosis utilizada (cantidad de producto), vía de entrada al organismo y tiempo de exposición, las personas pueden padecer intoxicaciones agudas o crónicas (Begum *et al.*, 2017)

La toxicidad aguda está relacionada con la exposición directa a dosis altas durante un periodo de tiempo corto (de minutos a horas) y tiene mayor relevancia en los trabajadores agrícolas, por no acatar las indicaciones de las etiquetas de los productos y realizar las operaciones de mezcla, carga y aplicación de plaguicidas, y limpieza de envases y contenedores sin equipo protector. Sin

embargo, las personas que viven en lugares aledaños a los campos agrícolas también pueden sufrir intoxicaciones agudas debido a la dispersión de los plaguicidas fuera de los campos de cultivo. Otras causas de este tipo de intoxicación son el envenenamiento intencional (suicidios) o accidental con plaguicidas (accidentes industriales, derrames, etc.) (Begum *et al.*, 2017). Las personas que sufren este tipo de intoxicación manifiestan síntomas de inmediato y son muy variados, por lo general, incluyen dolores de cabeza, dolores de estómago, mareos, vómito, temblor, erupciones cutáneas, trastornos respiratorios, irritación en los ojos, cosquilleo, convulsiones y coma, o incluso la muerte (Kalyabina *et al.*, 2021).

En este contexto, con la finalidad de alertar a los usuarios sobre el nivel de peligrosidad de los plaguicidas, la OMS desarrolló en 1975 una clasificación de plaguicidas según el peligro que presentan, la cual se revisa periódicamente. Esta clasificación agrupa a los plaguicidas en cinco categorías de peligro de acuerdo con su toxicidad aguda en ratas, cuando se les administra una dosis del plaguicida por vía oral y dérmica. Las categorías se establecen con base en la Dosis Letal Media (DL₅₀), cantidad del plaguicida que en una sola dosis mata al 50 % de la población de los animales de experimentación y se expresa en miligramos del plaguicida por kilogramo de peso corporal del animal tratado (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2020). En 2009, la OMS revisó su clasificación y la homologó con las categorías de peligro de toxicidad aguda del Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos (SGA) (OMS, 2020), el cual, desde 2003, se usa en todo el mundo para clasificar y etiquetar productos químicos (Naciones Unidas [NU], 2019). En el Cuadro 7 se muestra la versión más reciente de la Clasificación de Plaguicidas recomendada por la OMS, publicada en 2020.

Es importante señalar que, a diferencia del SGA, la OMS no considera en su clasificación a la toxicidad aguda por inhalación, argumentando que, "...Con raras excepciones, los plaguicidas son poco volátiles, por lo que en la recomendación

no se ha enunciado de momento ningún criterio relativo a la volatilidad” (OMS, 2020). Esta es una omisión grave porque todos los plaguicidas se volatilizan, en mayor o menor medida, dependiendo de su presión de vapor, estado físico y temperatura ambiente (Díaz & Betancourt, 2018) por lo que, además de los procedimientos de aspersión terrestre o aérea, una fuente importante de contaminación del aire con plaguicidas en los lugares con climas cálidos, es su volatilización a partir del suelo y cuerpos de agua, pero más aún, a partir del cultivo tratado (Mahmood *et al.*, 2016; Wong *et al.*, 2017).

Cuadro 7. Clasificación de plaguicidas según su peligro recomendada por la OMS

Categoría de toxicidad	DL ₅₀ en ratas (mg/kg de peso corporal)	
	Oral	Dérmica
Ia Extremadamente peligroso	< 5	< 50
Ib Altamente peligroso	5-50	50-200
II Moderadamente peligroso	50-2000	200-2000
III Ligeramente peligro	Más de 2000	Más de 2000
U Improbable que presente peligro agudo en el uso normal	5000 o más	

Fuente: OMS, 2020.

La toxicidad aguda por inhalación se determina a través de la Concentración Letal Media (CL₅₀). Este parámetro mide la cantidad de un sustancia química en el aire (en ambientes terrestres) o en el agua (en ambientes acuáticos) que provoca la muerte del 50 % de un grupo de animales sometidos a ensayo (NU, 2019). De acuerdo con las directrices del SGA para la prueba de productos químicos, los valores de la CL₅₀ en ambientes terrestres se obtienen de pruebas realizadas en ratas durante de 4 horas de exposición y las unidades de concentración se expresan, dependiendo del tipo de material inhalado, como sigue: 1) para gases y vapores próximos al estado gaseoso, en partes por millón en volumen (ppmV); 2) para vapores (forma gaseosa de una sustancia o mezcla de sustancias que se liberan al aire a partir de su estado líquido o sólido) en mg/L; 3) para polvos (partículas de una sustancia o mezcla de sustancia suspendidas en el aire) en

mg/L; y 4) para nieblas (gotas líquidas de una sustancia o mezcla de sustancias suspendidas en el aire) en mg/L (NU, 2019). En el Cuadro 8 se indican los criterios del SGA que determinan las categorías de peligro de toxicidad aguda de las sustancias químicas por las vías oral, dérmica e inhalatoria.

Cuadro 8. Clasificación del SGA según la toxicidad aguda de las sustancias químicas

Vía de exposición	Categoría de toxicidad				
	1	2	3	4	5
Oral DL50 (mg/kg de peso corporal)	≤ 5	5 - 50	50 - 300	300 - 2000	2000 - 5000
Cutánea DL50 (mg/kg de peso corporal)	≤ 50	50 - 200	200 - 1000	1000 - 2000	2000 - 5000
Gases CL50 (ppmV)	≤ 100	100 - 500	500 - 2500	2500 - 20000	-
Vapores CL50 (mg/L)	≤ 0.5	0.5 - 2	2 - 10	10 - 20	-
Polvos y nieblas CL50 (mg/L)	≤ 0.05	0.05 - 0.5	0.5 - 1	1 - 5	-

Fuente: NU, 2019.

La toxicidad crónica ocurre por la exposición ininterrumpida a dosis bajas de plaguicidas durante un tiempo largo (de años a décadas) y afecta a todos los grupos de la población por la ingesta de alimentos y agua potable contaminados, y la dispersión de los plaguicidas fuera de los campos de cultivo (Begum *et al.*, 2017). No obstante, los trabajadores agrícolas y sus familias, las personas que viven en zonas rurales donde se usan plaguicidas intensivamente y las que viven en los alrededores de las áreas agrícolas tienen un mayor riesgo de ser afectados por la dispersión de plaguicidas debido a una mayor exposición a estos productos (Sarkar *et al.*, 2021). Los grupos más vulnerables son las mujeres embarazadas, madres lactantes, fetos en desarrollo, niños y ancianos (Özkara *et al.*, 2016)

Los efectos crónicos de los plaguicidas son letales y se basan en su capacidad para provocar daños a nivel molecular y celular provocando trastornos neurotóxicos, genotóxicos, cancerígenos, reproductivos y endocrinos (Shah, 2020; Kalyabina *et al.*, 2021). Estos efectos causan enfermedades graves que no se detectan de inmediato y son más difíciles de atribuir a la exposición a plaguicidas como sucede con la toxicidad aguda, ya que se manifiestan después de una exposición prolongada y cuando los procesos destructivos finalmente se hacen evidentes, ya pueden ser irreversibles (Lushchak *et al.*, 2018).

La evidencia científica creciente sobre los daños crónicos severos que los plaguicidas sintéticos altamente tóxicos causan en la salud de las personas y el medio ambiente, especialmente en los países en desarrollo, es de gran preocupación en el mundo (Sharma *et al.*, 2019; Sarkar *et al.*, 2021). Por ello, se han realizado esfuerzos a nivel internacional para regular la liberación al ambiente y el comercio de sustancias químicas tóxicas, entre las que se encuentran los plaguicidas sintéticos, los cuales iniciaron con el establecimiento de acuerdos y declaraciones internacionales, como el Protocolo de Montreal del Convenio de Viena para la protección de la capa de ozono (1985), el Convenio de Rotterdam sobre el procedimiento de Consentimiento Fundamentado Previo (CFP), aplicable a ciertos plaguicidas y productos químicos prohibidos o rigurosamente restringidos en el comercio internacional (1988), el Convenio de Basilea sobre el control de los movimientos transfronterizos de desechos peligrosos y su eliminación (1989), el Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes (COP) (2001) y el Convenio de Minamata sobre el mercurio (2013), principalmente (Naidu *et al.*, 2021).

En este contexto, el SGA, además de la toxicidad aguda, también proporciona una clasificación sobre los peligros crónicos para la salud humana (carcinogenicidad, mutagenicidad y toxicidad reproductiva) y los peligros ambientales (toxicidad en el medio ambiente acuático) que, como la toxicidad aguda, también deben presentarse en las etiquetas y hojas de datos de seguridad

de los productos químicos, mediante pictogramas y palabras de advertencia, para comunicar a los usuarios sobre los riesgos que conlleva el uso de un producto determinado (NU, 2019).

En concordancia con los criterios de toxicidad crónica para la salud humana del SGA, el grupo de expertos de la Reunión Conjunta en Manejo de Plaguicidas de la FAO y la OMS (JMPM, por sus siglas en inglés) los tomaron como referencia para definir y establecer los criterios para la identificación de los Plaguicidas Altamente Peligrosos (PAP o HHP, por sus siglas en inglés) en la cuarta versión del Código Internacional de Conducta para la Gestión de Plaguicidas de la FAO y la OMS (Código de Conducta), actualizada en 2013. Esto, con el propósito de ayudar a los gobiernos de los países con recursos limitados a diseñar un proceso de tres etapas para abordar la problemática con los PAP, que consisten en: 1) la identificación de los PAP comercializados y utilizados en sus territorios, 2) la evaluación de los riesgos sanitarios y ambientales involucrados con su uso, y 3) y la toma de decisiones sobre las medidas adecuadas para mitigar los riesgos, destacando en esta etapa, la prohibición de los PAP y su reemplazo por sistemas de producción sustentables, como el MIP (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura/Organización Mundial de la Salud [FAO/OMS], 2019). En el Código de Conducta actualizado en 2013 y después en 2018, los PAP se definen como:

“Plaguicidas Altamente Peligrosos, aquellos que reconocidamente representan peligros agudos o crónicos particularmente elevados para la salud o el medio ambiente, de acuerdo con los sistemas de clasificación internacionalmente aceptados, como los de la OMS o el SGA, o por figurar en acuerdos o convenciones internacionales pertinentes con carácter vinculante. Además, podrán considerarse muy peligrosos y tratarse como tales aquellos plaguicidas que, en condiciones de uso en un país, parezca que ocasionan un daño grave o irreversible para la salud o el medio ambiente” (FAO/OMS, 2019).

Los criterios y los indicadores para la identificación y clasificación de los PAP establecidos por la JMPM en el Código de Conducta se describen a continuación:

Criterio 1. Toxicidad aguda

- Formulaciones de plaguicidas extremadamente peligrosos (categoría Ia) y altamente peligrosos (categoría Ib) según la clasificación de plaguicidas por su peligrosidad recomendada por la OMS.

Criterios 2 a 4. Toxicidad crónica

- Ingredientes activos y formulaciones de plaguicidas que cumplan los criterios del SGA sobre carcinogenicidad (categorías 1A y 1B).
- Ingredientes activos y formulaciones de plaguicidas que cumplen los criterios del SGA sobre mutagenicidad (categorías 1A y 1B).
- Ingredientes activos y formulaciones de plaguicidas que cumplen los criterios del SGA sobre toxicidad reproductiva (categorías 1A y 1B).

Criterio 5. Convenio de Estocolmo

- Ingredientes activos de plaguicidas que son contaminantes orgánicos persistentes (anexos A y B), o que tienen características similares de acuerdo con los criterios del anexo D del convenio.

Criterio 6. Convenio de Rotterdam

- Ingredientes activos y formulaciones de plaguicidas extremadamente peligrosos que han sido prohibidos o rigurosamente restringidos en algunos países, por lo que para su exportación es necesario el Consentimiento Fundamentado Previo del país importador (anexo III).

Criterio 7. Protocolo de Montreal

- Ingredientes y formulaciones de plaguicidas que agotan la capa de ozono.

Criterio 8. Alta incidencia de efectos adversos graves irreversibles

- Ingredientes y formulaciones de plaguicidas que muestran una alta incidencia de efectos adversos graves o irreversible para la salud humana o el medio ambiente, de acuerdo con las condiciones de uso en cada país.

Sin embargo, el Código de Conducta no proporciona una lista de los PAP que actualmente se comercializan en el mundo. Por ello, la Red Internacional de Acción en Plaguicidas (RIAP) (PAN International, por sus siglas en inglés), una red de organizaciones no gubernamentales que promueve la eliminación de los PAP y la adopción de prácticas agrícolas ecológicamente racionales y sostenibles, elaboró en 2009 una lista de PAP que actualiza cada seis meses. En esta lista, además de los indicadores de peligrosidad considerados por la JMPM en el Código de Conducta, la RIAP incluyó la toxicidad por inhalación, alteración endocrina, toxicidad para las abejas y organismos acuáticos, persistencia en el medio ambiente, y bioacumulación. Estos indicadores adicionales se basan en fuentes de información confiables como los reportes de la Agencia Internacional de Investigación sobre el Cáncer (IARC, por sus siglas en inglés), las directivas de la Unión Europea (UE), las publicaciones de la Agencia Estadounidense de Protección Ambiental (EPA, por sus siglas en inglés), la base de datos de propiedades de los plaguicidas (PPBD, por sus siglas en inglés) y, a partir de 2021, del SGA de Japón (PAN International, 2021).

Los criterios y los indicadores de la RIAP para identificar y clasificar a los PAP son los siguientes:

Toxicidad aguda alta

- Extremadamente peligroso (categoría Ia) y altamente peligroso (categoría Ib) según la clasificación recomendada por la OMS.
- Fatal si se inhala (H330) según el SGA de la UE y Japón.

Efectos tóxicos a largo plazo (toxicidad crónica)

- Carcinogénico según la IARC o la EPA.
- Conocido o sospechoso carcinogénico (categorías 1A o 1B) según el SGA de la UE y Japón.
- Probable carcinogénico según la IARC o la EPA.
- Conocido mutagénico (categorías 1A o 1B) según el SGA de la UE y Japón.

- Conocido o sospechoso tóxico para la reproducción (categorías 1A o 1B) según el SGA de la UE y Japón.
- Sospechoso tóxico para la reproducción (categoría 2) y sospechoso carcinogénico (categoría 2) según el SGA de la UE y Japón.
- Perturbador endócrino según la UE.

De alta preocupación ambiental

- Plaguicidas incluidos en los anexos A y B del Convenio de Estocolmo, o que agotan la capa de ozono, según el Protocolo de Montreal.
- Plaguicidas que cumplen dos de los tres criterios siguientes: (1) muy persistentes en aguas marinas o agua dulce (vida media > 60 días), en el suelo (vida media > 180 días) y en sedimentos marinos o de agua dulce (indicadores y umbrales conforme al Convenio de Estocolmo), (2) muy bioacumulables (BCF > 5000) o $Kow \log P > 5$ (los datos BCF sustituyen los datos $Kow \log P$, indicadores y umbrales conforme al Convenio de Estocolmo) y/o (3) muy tóxicos para los organismos acuáticos (LC/EC50 [48h] para la *Daphnia* spp, < 0,1 mg/l).

Peligroso para los servicios ecosistémicos

- Altamente tóxicos para las abejas según la U.S. EPA (DL50, < 2 µg/abeja).

Conocido por causar una alta incidencia de efectos adversos graves o irreversibles

- Plaguicidas incluidos en la lista del Anexo III del Convenio de Rotterdam o cumplir con los criterios del Convenio.

Según su persistencia en el ambiente. Esta clasificación se basa en el periodo de tiempo en que los plaguicidas permanecen activos en el medio ambiente (Cuadro 9). La persistencia es la capacidad de un plaguicida para mantener su integridad molecular, propiedades fisicoquímicas y toxicidad antes de degradarse total o parcialmente en los compartimentos ambientales (Fishel, 2008). Se mide en términos del tiempo de vida media, es decir, el tiempo en días, semanas o años que se requiere para que la concentración inicial de un plaguicida disminuya

en un 50 % una vez que se libera en el ambiente. Cuanto más larga sea la vida media de un plaguicida, mayor será su persistencia (Hassan & Nemr, 2020).

Cuadro 9. Clasificación de plaguicidas según su persistencia en el ambiente

Persistencia	Vida media
No persistentes	Menos de 30 días
Moderadamente persistentes	30 a 100 días
Persistentes	Mas de 100 días

Fuente: Gavrilesco, 2005.

La degradación de los plaguicidas en los compartimentos ambientales se lleva a cabo a través de reacciones químicas (hidrólisis, oxidación, reducción y fotólisis) que por lo general ocurren en el agua o la atmósfera, y mediante procesos biológicos (oxidación, reducción, hidrólisis y conjugación) que llevan a cabo los microorganismos del suelo, principalmente. Sin embargo, los plaguicidas no siempre se mineralizan hasta CO_2 y H_2O , o la formación de sustancias más sencillas y menos tóxicas (Vryzas, 2018). Varios compuestos derivados de la degradación de los plaguicidas también llamados productos de transformación, tienen una toxicidad igual o mayor a la del compuesto original, por ejemplo; la etilentiourea (ETU) que es un producto de la degradación del mancozeb (fungicida carbamato), el 3,5,6-tricloro-2-piridinol (TCP) del clorpirifos (insecticida organofosforado) y el diclorodifenildicloroetano (DDD) del DDT (insecticida organoclorado) (Zacharia, 2011; Narváez-Valderrama *et al.*, 2012).

Los plaguicidas no persistentes se descomponen rápidamente, en cuestión de días u horas, por lo que dañan menos al medio ambiente, aunque, por lo general, son más tóxicos para las personas y otras formas de vida (Fishel, 2008). No obstante, los plaguicidas con una vida media superior a 21 días pueden persistir lo suficiente como para filtrarse o moverse con la escorrentía superficial y contaminar los cuerpos de agua antes de degradarse (Gavrilesco, 2005). Los plaguicidas medianamente persistentes y persistentes, como los COP listados en el Convenio de Estocolmo (16 plaguicidas organoclorados) pueden tardar en

degradarse y por lo tanto, permanecer activos y concentrarse en el medio ambiente desde 60 días (dicofol) hasta 2-15 años (DDT) (Jayaraj *et al.*, 2016; Pattnaik *et al.*, 2020), dependiendo de las condiciones climáticas de los sitios en donde se aplican o donde se alojan cuando se transportan en el aire y los cuerpos de agua (Zaragoza-Bastida *et al.*, 2016). Los climas cálidos y húmedos aceleran su degradación, mientras que los climas fríos y secos la retrasan (Fishel, 2008).

La resistencia a la degradación química y biológica de los plaguicidas organoclorados obedece a la estructura y composición química de sus moléculas, las cuales están formadas por cadenas hidrocarbonadas cíclicas, alicíclicas y aromáticas sustituidas con varios átomos de cloro (Pattnaik *et al.*, 2020). La estructura y composición química de estos plaguicidas también les confiere un carácter lipofílico por lo que se acumulan en el tejido adiposo de los organismos vivos (bioacumulación) y se concentran conforme ascienden en las cadenas alimentarias (biomagnificación). Esto ocasiona que los predadores del último nivel como las aves, los mamíferos y las personas presenten concentraciones altamente tóxicas en sus organismos, que desencadenan enfermedades crónicas graves (Zaynab *et al.*, 2021). Además, los plaguicidas organoclorados no permanecen estáticos en el lugar donde se liberan, se transportan a largas distancias suspendidos en el aire en forma de partículas, gases y aerosoles, y como partículas suspendidas en el agua (Zaragoza-Bastida *et al.*, 2016).

Debido a la persistencia, bioacumulación, migración a escala global y elevada toxicidad los plaguicidas organoclorados son altamente peligrosos para todas las formas de vida y dañinos para el medio ambiente, por lo que los 169 países signatarios del Convenio de Estocolmo deben eliminar su producción, utilización, importación, exportación y emisión al ambiente. No obstante, esto no sucede en muchos países en desarrollo donde se siguen usando (Jayaraj *et al.*, 2016).

Según el tipo de formulación. Los plaguicidas comerciales son formulaciones que contienen uno o más ingredientes activos mezclados con otras

sustancias llamadas ingredientes inertes, coformulantes o adyuvantes (Mesnage & Antoniou, 2018). Los ingredientes activos son los responsables de la actividad plaguicida, mientras que los ingredientes inertes se adicionan para mejorar la eficacia, estabilidad, seguridad, manejo y almacenamiento de los ingredientes activos. Existen 65 tipos de formulaciones de plaguicidas, cada una, con diversas variantes en estado sólido, líquido o gaseoso (Hazra & Purkait, 2019). En el Cuadro 10 se exponen los tipos de formulaciones de plaguicidas más utilizados.

El tipo de formulación de los plaguicidas también influye en su persistencia y toxicidad para organismos no objetivo. Por ejemplo; los gránulos son más persistentes que los polvos humectables; los líquidos se absorben más rápido en la piel que los polvos, y los concentrados emulsionables que las soluciones acuosas, lo que afecta la salud de los trabajadores agrícolas, principalmente (Kalyabina *et al.*, 2021). Si los insecticidas microencapsulados no se descomponen rápidamente pueden ser muy peligrosos para las abejas cuando las partículas tienen el mismo tamaño que los granos de polen, además de que pueden permanecer como residuos en los alimentos después de la cosecha (Kentucky Pesticide Safety Education Program, 2017).

La toxicidad de las formulaciones de plaguicidas no se debe solo al ingrediente activo, algunos ingredientes inertes son más tóxicos que el ingrediente activo y pueden actuar como plaguicidas por sí solos, por lo que la toxicidad de la formulación comercial aumenta considerablemente (Nagy *et al.*, 2020). Los ingredientes inertes incluyen vehículos o portadores del ingrediente activo (minerales arcillosos, silíceos, solventes orgánicos, etc.), surfactantes, potenciadores de penetración, codisolventes, antiespumantes, retardantes de deriva, colorantes, esparcidores, y adherentes, entre otros (Mesnage & Antoniou, 2018; Hazra & Purkait, 2019).

Cuadro 10. Tipo de formulaciones de plaguicidas

Tipo de formulación	Descripción	Usos típicos
Sólidos		
Cebo	Mezcla de i.a.* y un alimento que atrae a las plagas. Hechos en forma de harina o gránulos.	Para controlar insectos domésticos y agrícolas, roedores, pájaros o babosas.
Gránulos secos fluidos o dispersables en agua	Mezcla de i.a. y material inerte en forma en pequeños gránulos. Forman una suspensión en agua.	Aerosoles para controlar insectos, enfermedades y maleza.
Polvo	Mezcla de i.a. y materiales inertes finamente molidos como talco, arcilla y ceniza volcánica. Siempre se usan secos.	Para tratamiento de semillas, control de piojos y pulgas en animales, tratamiento localizado para controlar cucarachas.
Gránulos	Mezcla de i.a. con materiales inertes secos como arcilla, cáscara de nuez, mazorca de maíz, etc., comprimida en forma de gránulos.	Tratamiento del suelo para controlar insectos o maleza.
Pellets	Material inerte que contiene i.a. Parecidos a los gránulos, pero tiene una forma y peso más uniformes.	Para controlar roedores y babosas.
Polvo soluble	Polvo seco o gránulos que se solubilizan en agua formando una solución.	Principalmente aerosoles para controlar insectos y maleza.
Polvo mojable	Ingredientes inertes finamente molidos con i.a. Forma una suspensión en agua.	Aerosoles para controlar insectos, enfermedades y maleza.

Cuadro 10. Continuación

Líquidos		
Aerosol	Generalmente contienen pequeñas cantidades de i.a. y un disolvente de petróleo. Dos tipos principales: 1) Pequeños envases presurizados listos para usar (latas) y 2) Los generadores de niebla no están bajo presión; el equipo descompone el líquido en una fina neblina o niebla.	1) Las latas de aerosoles se utilizan como insecticidas domésticos y de jardín. 2) Los generadores de niebla se utilizan en invernaderos o para controlar mosquitos.
Concentrado emulsionable	Contiene i.a., disolvente de petróleo y emulsionantes.	Para controlar de insectos, enfermedades y maleza.
Suspensión concentrada	Partículas finamente molidas suspendidas en un líquido inerte. Forman una suspensión como los polvos mojables.	Aerosoles para controlar insectos, enfermedades y maleza.
Gel	Concentrado emulsionable semilíquido.	Aerosoles para controlar insectos y maleza.
Microencapsulados	Son i.a. cubiertos con un revestimiento polimérico. Se mezclan con agua y se pulverizan. Después de rociar, el revestimiento polimérico se desintegra y libera lentamente el ingrediente activo.	Aerosoles insecticidas y feromonas.
Solución	El i.a. se disuelve en un líquido que puede ser agua o un solvente de petróleo.	Aerosoles para controlar maleza.
Concentrado de volumen ultra bajo	Líquido con una concentración muy alta de i.a. Diseñado para ser utilizado tal cual o ligeramente diluido.	Aerosoles insecticidas en invernaderos o para silvicultura.

Cuadro 10. Continuación

Gases		
Fumigantes	Pueden ser 1) i.a. que se formulan, envasan y liberan como gases, 2) i.a. líquidos envasados a alta presión que cambian a gases cuando se liberan, 3) i.a. que son líquidos volátiles envasados en un recipiente ordinario y, por lo tanto, no están formulados bajo presión, 4) i.a. sólidos que liberan gases cuando se aplican en condiciones de alta humedad o en presencia de vapor de agua.	En Invernaderos, graneros, tratamiento para el suelo previo a la siembra.
Otros		
Paquetes solubles en agua	Cantidad pre-pesada de una formulación de polvo mojable o polvo soluble en una bolsa de plástico especial que se disuelve en el agua del tanque de pulverización y libera el contenido.	Los mismos que para polvos mojables y polvos solubles.
Materiales impregnados con plaguicidas	Pueden ser cintas adhesivas, tiras plásticas, etc., impregnadas con un i.a. volátil. El i.a. se evapora lentamente.	Crotales para animales, control de moscas.

i.a.: ingrediente activo. Fuente; Modificado de Akashe *et al.*, 2018.

2.5. Marco normativo del uso de plaguicidas agrícolas

2.5.1. Panorama global sobre el control y regulación de plaguicidas

La preocupación por regular el uso de plaguicidas empezó en la década de los años 40, cuando inicio la aplicación del DDT en los principales cultivos agrícolas. La inquietud pública aumentó al conocer los daños que pueden provocar en el medio ambiente y la salud humana, al grado que su uso fue prohibido entre 1970 y 1980, en los países desarrollados (Handford *et al.*, 2015). A partir de entonces se han realizado diversos esfuerzos encaminados a garantizar un mejor control de los plaguicidas en la cadena de producción de alimentos. Las autoridades nacionales de cada país están obligadas a establecer regulaciones adecuadas que acaten los límites máximos de residuos (LMR) para cada plaguicida. El LMR (mg/kg), es la concentración máxima permisible de residuos de un plaguicida en piensos y productos alimenticios (FAO, 2013). Representa el residuo más alto esperado, si el cultivo se trata con plaguicidas siguiendo las instrucciones de la etiqueta y fichas de datos de seguridad de los productos, y buenas prácticas agrícolas (Zikankuba *et al.*, 2019).

Existen organismos reguladores internacionales como la Comisión del Codex Alimentarius (Codex), el Panel de Expertos de la FAO sobre Residuos de Plaguicidas en la Alimentación y el Medio Ambiente, y el grupo de expertos de la JMPR que canalizan esfuerzos para establecer, revisar y armonizar los LMR de plaguicidas a nivel mundial (Zikankuba *et al.*, 2019). El Codex establece LMR siguiendo requisitos generales para ensayos de campo protegidos, estudios de rotación de cultivos, datos de apoyo de la estabilidad del plaguicida en almacenamiento, métodos analíticos validados y reconocidos, y evaluaciones del riesgo dietético (Ambrus & Yang, 2016). Los LMR son establecidos por el Codex para hacer que se cumplan y controlar el cumplimiento del uso de plaguicidas a nivel nacional en productos que se exportan o se mueven a nivel internacional (Yeung *et al.*, 2017).

Sin embargo, los intentos de las organizaciones internacionales para homogenizar los LMR a nivel mundial han fallado (Hamilton *et al.*, 2017; Yeung *et al.*, 2017) debido a que no tienen autoridad sobre los gobiernos. Por lo general, los LMR son más estrictos en los países desarrollados que en los que se encuentran en vías de desarrollo y, la mayoría de estos últimos, carecen de experiencia, compromiso, recursos financieros y disposición para hacer cumplir la legislación sobre residuos de plaguicidas (Handford *et al.*, 2015).

Para crear obligaciones jurídicamente vinculantes se creó el Convenio de Rotterdam para control de sustancias químicas (73 % de los cuales son plaguicidas). Este, convenio está firmado por 72 países signatarios y tiene entre sus objetivos:

“Promover la responsabilidad compartida y los esfuerzos conjuntos de las Partes en la esfera del comercio internacional de ciertos productos químicos peligrosos a fin de proteger la salud humana y el medio ambiente frente a posibles daños”.

Además, coadyuvar al uso ambiental razonable de ciertos productos químicos peligrosos favoreciendo el intercambio de información sobre sus características, controles de importación y exportación, y difusión de decisiones a las partes interesadas (Handford *et al.*, 2015). El Convenio de Rotterdam incluye el Convenio de Basilea sobre el control de los movimientos transfronterizos de desechos peligrosos y su eliminación, y el Convenio de Estocolmo sobre los COP. Aunque estos esfuerzos promueven una mayor armonización de las regulaciones de plaguicidas en el mundo, aún persisten diferencias importantes entre países.

2.5.2. Regulación internacional

Unión Europea, Estados Unidos de Norteamérica, China y Brasil. Los mayores productores agrícolas del mundo son los estados miembros de la UE, EE. UU., China y Brasil que, en conjunto, contribuyen con más de la mitad del

valor de la producción agrícola en el mundo siendo, además, los mayores usuarios de plaguicidas a nivel mundial (FAO, 2019). Cada uno de estos países tiene distintos sistemas regulatorios de plaguicidas.

La UE (28 estados miembros), cuenta actualmente con las regulaciones de plaguicidas más completas y estrictas. La Comisión Europea (CE) es el organismo responsable de la aprobación, restricción y cancelación de plaguicidas activos en la UE (Ferrer *et al.*, 2017). Los estados miembros autorizan su uso y las autoridades competentes del estado miembro están autorizadas a verificar el cumplimiento de los LMR en alimentos. Los reglamentos 1107/2009 y 396/2005 proporcionan un sistema armonizado de establecimiento de LMR para todos los alimentos tratados con plaguicidas en los 28 estados (Brancato *et al.*, 2018). Los métodos de muestreo para la determinación de residuos de plaguicidas se describen en el documento de la UE SANCO12571/2013 (Abdelraheem *et al.*, 2015). La Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA, por sus siglas en inglés) trabaja con organismos reguladores de todo el mundo, para perfeccionar las metodologías y proporciona a los evaluadores de riesgos nuevas herramientas para determinar los posibles efectos combinados derivados de la exposición a múltiples plaguicidas a través de los alimentos (Zikankuba *et al.*, 2019). Además, se toman muestras de los alimentos importados a un determinado estado miembro de la UE, para garantizar que no contengan ingredientes ilegales o niveles de plaguicidas por encima de los LMR establecidos (Brancato *et al.*, 2018). La UE prohíbe la aprobación y el uso continuado de los plaguicidas que el órgano rector ha reconocido como mutágenos, carcinógenos, tóxicos para la reproducción o disruptores endocrinos, a menos que la exposición a los seres humanos se considere insignificante (Donley, 2019).

La regulación de los plaguicidas en EE. UU., está a cargo de varios organismos gubernamentales, a) la EPA establece los LMR de plaguicidas en piensos y alimentos y vigila el cumplimiento de las regulaciones establecidas para los

plaguicidas en uso, y la fabricación y registro de nuevos plaguicidas. Además, brinda apoyo a los programas estatales y regionales para proteger, certificar y capacitar a los solicitantes de plaguicidas (United States Environmental Protection Agency [EPA], 2019); b) el Departamento de Agricultura de los EE. UU. (USDA, por sus siglas en inglés) vigila el cumplimiento de los LMR en productos avícolas y cárnicos; c) la Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA, por sus siglas en inglés) vigila el cumplimiento de los LMR en productos vegetales, pescado, productos lácteos y alimentos procesados; d) la Administración de Salud y Seguridad Ocupacional (OSHA, por sus siglas en inglés) vigila la seguridad de las personas expuestas a plaguicidas como los trabajadores agrícolas; y e) el Servicio de Pesca y Vida Silvestre (FWS, por sus siglas en inglés), y la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA, por sus siglas en inglés) supervisan la administración de las especies en peligro de extinción (Islam *et al.*, 2017).

La ley total que regula a los plaguicidas en EE. UU., es la Ley Federal de Insecticidas, Fungicidas y Rodenticidas (FIFRA, por sus siglas en inglés) (Islam *et al.*, 2017; EPA, 2021). Otras leyes que regulan el uso de plaguicidas en EE. UU., son la Ley de Mejora del Registro de Plaguicidas (PRIA, por sus siglas en inglés), que establece las tarifas del servicio de registro para el registro de plaguicidas; la Ley Federal de Alimentos, Medicamentos y Cosméticos (FFDCA, por sus siglas en inglés), que autoriza a la EPA a establecer LMR para plaguicidas utilizados en alimentos o piensos para animales; la Ley de Protección de la Calidad de los Alimentos (FQPA, por sus siglas en inglés) establecida desde 1996, que autoriza enmiendas a la FIFRA y la FFDCA y establece estándares de seguridad para los plaguicidas en uso y los nuevos que vayan a registrarse y, por último; la Ley de Especies en Peligro de Extinción (ESA, por sus siglas en inglés), enfocada a asegurar que el uso de plaguicidas registrados por la EPA no dañará a las especies en peligro de extinción (EPA, 2021).

Algunas de las problemáticas sobre la legislación de EE. UU., son que la industria de los plaguicidas solo debe demostrar que generalmente sus productos no provocarán daños irracionales en el medio ambiente y las personas, lo que se define parcialmente como "cualquier riesgo irrazonable para el hombre o el medio ambiente, teniendo en cuenta los costos y beneficios económicos, sociales y ambientales del uso de cualquier plaguicida" (Donley, 2019). No obstante, se han hecho esfuerzos para fortalecer el umbral de seguridad al establecer tolerancias de residuos en alimentos a una "certeza razonable de no daño" para la exposición de las personas a plaguicidas a través de los alimentos, agua y usos domésticos, por medio de enmiendas a la FFDCA (Donley, 2019).

La regulación de plaguicidas en China se ha caracterizado por tener leyes complejas y falta de transparencia con respecto a la implementación y cumplimiento de las reglas. La principal agencia reguladora de plaguicidas en China es el Ministerio de Agricultura de China (MOA, por sus siglas en inglés), que se basa en la Ley de Gestión de Plaguicidas y en los últimos años ha prohibido el uso de alrededor de 50 plaguicidas peligrosos. Las regulaciones más recientes han dado como resultado la eliminación gradual anunciada de 12 plaguicidas adicionales para 2022 (Handford *et al.*, 2015). El MOA y el Ministerio de Salud de China desarrollan límites de residuos de plaguicidas, así como métodos y procedimientos de prueba asociados. También se han adoptado LRM del Codex (Buijs *et al.*, 2018).

En Brasil, son tres las agencias gubernamentales que supervisan el registro de plaguicidas y el cumplimiento de su regulación. El Ministerio de Agricultura de Brasil (MAB) se encarga de evaluar la eficacia del plaguicida y de emitir la certificación de registro. La Agencia Nacional de Vigilancia Sanitaria (ANVISA) de Brasil, clasifica a los plaguicidas, realiza evaluaciones toxicológicas y especifica los LMR, y el Ministerio de Medio Ambiente (MMA) se ocupa de las evaluaciones ambientales (Handford *et al.*, 2015). La normativa se basa en la Ley de Brasil Número 7.802, que proporciona el marco legal para la regulación de

plaguicidas (Islam *et al.*, 2017). El Decreto 4.074/02 de la Ley 7.802/89 establece las instrucciones relacionadas con la investigación, experimentación, transporte, almacenamiento, comercialización, control e inspección de plaguicidas (Handford *et al.*, 2015). La Ley de plaguicidas N° 7802 de Brasil de 1989 se modificó más recientemente debido a una evaluación de riesgos más precisa, que faculta al estado para prohibir el uso de plaguicidas cancerígenos, mutagénicos, teratogénicos, o que actúen como disruptores hormonales (Islam *et al.*, 2017). Dos programas insignia del gobierno, buscan asegurar el cumplimiento de los LMR nacionales; el Programa de Análisis de Residuos de Plaguicidas, coordinado por el Ministerio de Salud, y el Programa Nacional de Control de Residuos y Contaminantes, coordinado por el MAB (Jardim & Caldas, 2012).

A pesar del avance en la regulación de plaguicidas en Brasil, existen múltiples factores que han limitado severamente la efectividad de las salvaguardas de salud humana y ambiental, que incluyen: 1) barreras a la frecuencia con la que se pueden reevaluar los plaguicidas, 2) la protección agresiva del MAB a la industria agroquímica, y 3) déficit masivo de presupuesto y personal (García-García *et al.*, 2005; Pelaez & Araujo, 2013) No obstante, se ha avanzado en la prohibición de algunos plaguicidas peligrosos en el país (Islam *et al.*, 2017).

Japón y otros países de Asia. En Japón el Ministerio de Agricultura, Silvicultura y Pesca, especifica las normas para la cantidad requerida de ingredientes activos, la cantidad máxima permitida de ingredientes químicos peligrosos y otros requisitos referentes a plaguicidas. Los solicitantes de registro deben aportar datos científicos sobre el tipo y contenido de ingredientes en la formulación, propiedades físicas y químicas, fitotoxicidad, toxicidad para organismos vivos, y comportamiento ambiental del plaguicida que quieren registrar. Además, dan muestras al Ministerio para comprobación. El Ministerio de Salud, Trabajo y Bienestar Social establece los LMR de plaguicidas. Los LMR del Codex se han adoptado como LMR japoneses (Handford, *et al.*, 2015)

La República Popular Democrática de Corea (Corea del Norte) regula los plaguicidas con base en la Ley de Plaguicidas en Corea. Además, cuenta con el Reglamento sobre el Manejo de Sustancias con Toxicidad en Corea, para controlar la circulación de plaguicidas y productos químicos tóxicos. En el Sudeste Asiático se conformó la Asociación de Naciones del Sudeste Asiático (ASEAN, por sus siglas en inglés), una organización política y económica cuyos miembros son Brunéi, Darussalam, Camboya, Indonesia, Malasia, Myanmar, República Democrática Popular de Laos, Filipinas, Singapur, Tailandia y Vietnam. Estos países regulan el uso de plaguicidas a través de sus leyes nacionales. En Camboya, la Ley de Gestión de Plaguicidas y Fertilizantes Agrícolas se utiliza para gestionar la reglamentación de plaguicidas (FAO, 2013). El Ministerio de Agricultura, Silvicultura y Pesca (MAFF, por sus siglas en inglés) está a cargo de la gestión general. En Indonesia, existen al menos cinco leyes y decretos que regulan a los plaguicidas: la Ley gubernamental No. 12/1992, sobre el sistema de cultivo de cultivos; El Reglamento del Gobierno No. 7/1973 que establece que todos los plaguicidas que se distribuyen, almacenan y comercializan dentro de Indonesia deben estar registrados y deben obtener un permiso del Ministerio de Agricultura; el Decreto del Ministerio de Agricultura No. 24/2011, sobre los lineamientos y requisitos para el registro de plaguicidas; el Decreto del Ministerio de Agricultura No. 42/2007, sobre inspección de plaguicidas; el Decreto del Ministerio de Agricultura No. 642/2012, sobre la formación del Comité de Plaguicidas el cual depende del Ministerio de Agricultura de Indonesia (FAO, 2013).

Otros países de la región también tienen sus propias autoridades, como la Autoridad de Fertilizantes y Plaguicidas (FPA, por sus siglas en inglés) en Filipinas, los Comités de Plaguicidas en Tailandia, la Agencia Nacional del Medio Ambiente (NEA, por sus siglas en inglés) en Singapur, la Autoridad Agroalimentaria y Veterinaria (AVA, por sus siglas en inglés) y la Junta de Plaguicidas de Vietnam que gestiona el uso de plaguicidas en los países respectivos (FAO, 2013; Islam *et al.*, 2017). Estas autoridades están facultadas

con una serie de leyes, como la Ley de Sustancias Peligrosas (No. 3) BE 2551 en Tailandia, y la Circular No. 18, 2011 en Vietnam, para regular eficazmente los plaguicidas. Para tratar de uniformizar sus criterios, los países de la ASEAN clasifican la peligrosidad de los plaguicidas en clase Ia (rojo, ingredientes activos extremadamente peligrosos); la clase Ib (rojo, ingredientes activos altamente peligrosos); clase II (amarillo, ingredientes activos moderadamente peligrosos); clase III (amarillo, ingredientes activos ligeramente peligrosos); y la clase IV (azul, ingredientes activos, que es poco probable que causen un peligro agudo en condiciones de uso normal). Además, los países de la ASEAN cuentan con una plataforma para combinar sus programas individuales en un marco unificado (Schreinemachers *et al.*, 2015).

En Medio Oriente, existe el Consejo de Cooperación para los Estados Árabes del Golfo (CCG, por sus siglas en inglés), una unión política y económica de estados del Golfo Pérsico con ideas similares. Está constituida por Bahrein, Kuwait, Omán, Qatar, Arabia Saudita y los Emiratos Árabes Unidos. Promueve la coordinación entre los estados miembros para lograr la unidad; fomenta el progreso científico y técnico en las industrias agrícolas y alimentarias (Shahid & Al-Shankiti, 2013). Los países del CCG tienen una organización de normalización común, conocida como Organización de Normalización (GSO, por sus sigla en inglés) para el CCG, que tiene una lista de LMR para plaguicidas en productos agrícolas y alimentarios (Islam *et al.*, 2017).

En Rusia, la ley federal No. 107 FL regula la aplicación de plaguicidas (Zikankuba *et al.*, 2019). Otras reglas para regular las aplicaciones de plaguicidas en Rusia incluyen la Resolución No 327 del Gobierno de la Federación Rusa, la Orden No. 225 y la Orden del Ministerio de Agricultura de la Federación Rusa No. 357. Estos reglamentos gestionan la inspección y el registro de plaguicidas dentro de la federación. Durante el registro, los ensayos son realizados por el Ministerio de Agricultura y la evaluación de la eficacia biológica la lleva a cabo el Instituto de Protección Vegetal de toda Rusia, así como otros institutos (Islam *et al.*, 2017).

El Control sobre la rotación de plaguicidas y agroquímicos en todas sus etapas, según la Ley Federal 522 de Reformas a la Ley Federal 109 que, a partir de junio de 2021, prevé un retorno al sistema anterior de control y manejo seguro de químicos durante la importación y uso en Rusia. La aplicación debe cumplir con las normativas: multiplicidad, tasa, cultivos, dosis (Agrochemical Consulting and Registration Office [ACRO], 2021).

Otros países de América. En Canadá, la Agencia Reguladora de Manejo de Plaguicidas (PMRA, por sus siglas en inglés) se encarga de proteger a las personas de los riesgos de los plaguicidas y proporcionarles herramientas seguras para su manejo. Esta agencia obedece a la Ley de Productos para el Control de Plagas (PCPA, por sus siglas en inglés) (Handford *et al.*, 2015; Zikankuba *et al.*, 2019).

En Argentina, la Disposición 7292/98 de la Administración Nacional de Medicamentos, Alimentos y Tecnología Médica (ANMAT) establece las normas para el proceso de registro de productos químicos. La regulación en Chile se basa fundamentalmente en dos decretos; el Decreto de Ley No. 1, que establece las actividades necesarias para expresar la autorización sanitaria para la fabricación e importación de plaguicidas, y el Decreto No. 157, que es el Reglamento sobre Plaguicidas para Uso Sanitario y Doméstico, el cual establece normas relacionadas con el manejo de plaguicidas (Cuevas, 2010).

Otros países sudamericanos han desarrollado estándares similares a los implementados en Brasil. Sin embargo, como sucede en otras regiones en desarrollo, diversos países han tenido dificultades para hacer cumplir su legislación sobre plaguicidas (Handford *et al.*, 2015). Para ayudar en la gestión de plaguicidas, algunos países de Sudamérica, como Uruguay, se han adherido a organismos internacionales como el SGA. El SGA fue creado para promover la gestión racional de los productos químicos en el mundo mediante la provisión de un sistema internacionalmente comprensible para la comunicación de peligros en

las etiquetas y fichas de datos de seguridad, creando sistemas de clasificación que usan la información disponible de los productos químicos para cotejarla con los criterios de peligro y facilitar el comercio internacional de productos químicos cuyos peligros han sido indicados y evaluados adecuadamente a nivel internacional (NU, 2019).

Australia, Nueva Zelanda, India y países de África. En Australia, la regulación de plaguicidas es responsabilidad compartida de la Mancomunidad de Naciones, el estado y los territorios, a través del esquema de registro nacional de la Autoridad Australiana de Plaguicidas y Medicamentos Veterinarios (APVMA, por sus siglas en inglés) y Normas Alimentarias de Australia y Nueva Zelanda, que establecen LMR de plaguicidas en los alimentos (van der Velde-Koerts *et al.*, 2018). Sin embargo, el uso de plaguicidas está controlado y regulado por los estados y territorios de forma individual (Islam *et al.*, 2017). Los fabricantes que soliciten el registro de plaguicidas deben ser aprobados por la APVMA y proporcionar un expediente con información sobre toxicología, destino y efectos ambientales, datos sobre residuos, salud y seguridad en el trabajo y características químicas (incluidos los métodos de producción). Las solicitudes deben ir acompañadas de una tarifa del pago prescrito. La APVMA colabora con otras agencias de la Mancomunidad de Naciones durante el proceso de registro de plaguicidas. Los LMR establecidos por la APVMA se basan en las Normas Alimentarias de Australia y Nueva Zelanda y se incorporan a la Norma 1.4.2 del Código de Normas Alimentarias (van Asselt *et al.*, 2018; van der Velde-Koerts *et al.*, 2018).

En India, los plaguicidas están regulados por la Junta Central de Insecticidas y el Comité de Registro. Estas instancias evalúan los datos relativos a características fisicoquímicas, daño ambiental y toxicidad del producto. Los plaguicidas autorizados figuran en una lista de sustancias aprobadas; la Junta Central revisa esporádicamente todos los plaguicidas y puede prohibir o consignar cualquier plaguicida a un uso restringido. La Autoridad de Normas y Seguridad Alimentaria

de la India establece los LMR de plaguicidas registrados (Bedi *et al.*, 2015; Zikankuba *et al.*, 2019).

El uso de plaguicidas en África se dirige principalmente a cultivos comerciales de alto valor para la exportación (Sola *et al.*, 2014). Varios países africanos han adoptado los LMR de plaguicidas de los límites del Codex o del país que importa sus productos (Islam *et al.*, 2017). Existe un vacío legislativo en varios países ya que no disponen de un sistema de registro de plaguicidas, lo que genera una alta frecuencia de uso de plaguicidas ilegales altamente tóxicos (Handford *et al.*, 2015). La mayoría de los países han creado leyes sobre plaguicidas y tienen autoridades reguladoras de estos insumos agrícolas, aunque presentan varios problemas, como falta de fondos y recursos para hacer cumplir las regulaciones (Zikankuba *et al.*, 2019).

En Kenia, la Junta de Productos para el Control de Plagas regula la importación, exportación, fabricación y distribución de plaguicidas, y proporciona la lista de plaguicidas registrados, restringidos y prohibidos (Mununa *et al.*, 2014). La seguridad de los plaguicidas en Ghana es compartida por la Ley de Protección Ambiental No. 490 de 1994, responsable de todo el ciclo de vida de los plaguicidas y la Autoridad de Alimentos y Medicamentos. En Nigeria, la Agencia Nacional para la Administración y el Control de Alimentos y Medicamentos es responsable de la regulación del manejo de plaguicidas; en Ghana, la Autoridad de Normas de Ghana y el Ministerio de Agricultura; en Egipto, el Comité de Plaguicidas Agrícolas es la autoridad legal para el manejo y regulación de plaguicidas agrícolas; en Sudáfrica, los plaguicidas se gestionan bajo la Ley de Fertilizantes, Alimentos Agrícolas, Remedios Agrícolas y Remedios de Ganado, regulada por el Departamento de Agricultura, Silvicultura y Pesca (Arora *et al.*, 2016 ; Islam *et al.*, 2017; Onwona-Kwakye, *et al.*, 2019). Tanzania, está regulada por la Ley del Instituto de Investigación de Plaguicidas Tropicales. La Autoridad de Alimentos y Medicamentos de Tanzania supervisa los residuos en los alimentos de acuerdo con la Ley de Alimentos, Medicamentos y Cosméticos No.

1 de 2003. Otras leyes importantes son el Reglamento de Control para plaguicidas de importación, la Ley No. 13 de protección de las plantas; la Ley de Gestión Ambiental Nacional No. 20 para la gestión y control de Químicos y la Salud en el Trabajo, y la Ley de Seguridad No. 5 (Zikankuba *et al.*, 2019).

Regulación Nacional. Los plaguicidas orgánicos sintéticos empezaron a usarse en México en 1946 regidos primero por la Ley de Sanidad Fitopecuaria de 1940 y posteriormente por la nueva ley del mismo nombre, emitida en 1974 (Ortíz *et al.*, 2014). Los reglamentos de la legislación sanitaria comenzaron a emitirse en 1984, cuatro años después, en 1988, los de la legislación ambiental y cinco años después, en 1993, se emitieron las normas oficiales del trabajo sobre el uso de plaguicidas, posterior a la firma del Tratado de Libre Comercio y la implementación de la Ley Federal de Metrología y Normalización (García-Hernández *et al.*, 2018). Cabe resaltar que durante todo este tiempo no se consideraron los riesgos para la salud que implica el uso de plaguicidas, lo que trajo como consecuencia que muchos plaguicidas altamente peligrosos como los organofosforados y organoclorados tuvieran registros válidos en nuestro país. El resultado fue un desorden generalizado y no regulado en el uso de plaguicidas en varias regiones en México (Albert & Viveros, 2019).

En 1987, Miguel de la Madrid creó la Comisión Intersecretarial para el Control del Proceso y Uso de Plaguicidas, Fertilizantes y Sustancias Tóxicas (CICOPLAFEST), estableciendo que las secretarías de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA); de Salud (SSA); de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), y de Comercio y Fomento Industrial (SECOFI) debían trabajar en conjunto para regular todo lo relacionado a plaguicidas, fertilizantes y sustancias tóxicas en el país; después se incorporaron a la CICOPLAFEST las secretarías de Comunicaciones y Transportes (SCT) y la del Trabajo y Previsión Social (STPS) (Albert & Viveros, 2019). Fue un primer paso, sin embargo, nunca se contó con recursos monetarios ni humanos, instalaciones, ni técnicos especializados por lo que no se pudo

establecer un marco legal integral para el control de plaguicidas (Albert & Viveros, 2019; Ortiz *et al.*, 2014). A pesar de una revisión de la CICOPPLAFEST durante el Tratado de Libre Comercio (TLC), nunca se modificó. En 2003 se creó la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS), un órgano desconcentrado de la Secretaría de Salud, modificándose el procedimiento para el control legal de los plaguicidas en México (Albert & Viveros, 2019). Actualmente, al menos ocho secretarías intervienen en el control de los plaguicidas lo que para varios expertos reduce el control de estos agroquímicos, por lo que es necesario llevar a cabo un mayor esfuerzo para lograr mejores resultados y evitar el riesgo actual que el uso de los plaguicidas implica para la población y el medio ambiente mexicanos. Es necesario además llevar a cabo una vigilancia y verificación que realmente sean eficaces (Albert & Viveros, 2019).

Entre los reglamentos relacionados con el manejo de plaguicidas en México se encuentran los siguientes: Reglamento en Materia de Registros, Autorizaciones de Importación y Exportación y Certificados de Exportación de Plaguicidas, Nutrientes Vegetales y Materiales y Residuos Peligrosos; Reglamento en Materia de Actividades, Establecimientos, Productos y Servicios y en Materia de Control Sanitario de la Publicidad; Reglamento en Materia de Impacto Ambiental, en Materia de Prevención y Control de la Contaminación de la Atmósfera, en Materia de Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes y Reglamento para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos; reglamentos en Materia de Sanidad Vegetal y para el Control y Uso de Herbicidas. En 2017, entró en vigor la NOM-082-SAG-FITO/SS1-2017 relacionada con el establecimiento de los límites máximos de residuos de plaguicidas en alimentos, la cual estaba en proyecto desde el 2014. Sin embargo, aún no existen NOM que indiquen los límites permisibles de residuos de plaguicidas en aguas superficiales, aire, suelos y sedimentos, ni en aguas de desecho por lo que los mexicanos están en riesgo constante de sufrir daños por la exposición a plaguicidas a través de los diversos medios (García-Hernández *et al.*, 2018; Albert & Viveros, 2019). Es importante resaltar que la FAO recomienda el establecimiento de una sola legislación; al

tener tantas, México complica el control eficiente del uso de plaguicidas (Moo-Muñoz *et al.*, 2020).

La evidencia de lo anterior es que, desde el punto de vista sanitario, en México están autorizados 183 PAP; 63 tienen una toxicidad aguda alta (34.43 %), según la clasificación de la OMS; 36 pueden ser mortales por inhalación, según la SGA; 43 son probables cancerígenos en humanos (23.50 %), según la EPA de EE. UU.; 35 son considerados como disruptores endocrinos (19.13 %), 21 son tóxicos para la reproducción (11.48 %) y dos son mutagénicos (1.09 %) según los criterios del SGA de la UE. Considerando la toxicidad ambiental, casi la mitad (44.81 %) son altamente tóxicos para las abejas en dosis menores de 2 microgramos por abeja según la EPA de EE. UU. Con respecto a los plaguicidas considerados en los convenios ambientales internacionales, 15 están incluidos en el anexo III del Convenio de Róterdam por la toxicidad de sus formulaciones o porque están prohibidos en otros países; tres plaguicidas (el DDT, endosulfán y el conservador de madera pentaclorofenol) están incluidos en el Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes; y el fumigante bromuro de metilo, está incluido en el Protocolo de Montreal sobre las sustancias que destruyen la capa de ozono (Bejarano *et al.*, 2018).

3. ARTÍCULOS

3.1. Patrón de uso de plaguicidas de alto riesgo en el cultivo de melón (*Cucumis melo* L.) en la Comarca Lagunera

Patrón de uso de plaguicidas de alto riesgo en el cultivo de melón (*Cucumis melo* L.) en la Comarca Lagunera

Pattern of use high risk pesticides in the crop of melon (*Cucumis melo* L.) in the Comarca Lagunera

Gabriela Vargas-González¹, Vicente de Paul Alvarez-Reyna², César Guigón-López³, Pedro Cano-Ríos^{2*}, Florencio Jiménez-Díaz², Jesús Vásquez-Arroyo², Mario García-Carrillo²

¹ Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Coahuila, Unidad Torreón, Carretera Torreón-Matamoros km 7.5, Ciudad Universitaria, CP 27275, Torreón, Coahuila, México.

² Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Unidad Laguna, Periférico Raúl López Sánchez km 2, CP. 27054, Torreón, Coahuila, México

³ Centro de Investigación para los Recursos Naturales, Antigua normal rural de Salaices, CP. 33941, Salaices, Chihuahua, México

*Autor de correspondencia: canorp49@hotmail.com

Artículo científico recibido: 29 de abril de 2014, **aceptado:** 20 de octubre de 2015

RESUMEN. El melón (*Cucumis melo* L.) es una de las hortalizas más importantes en México, donde la Comarca Lagunera destaca como la principal región melonera. Es un cultivo atacado por diversas plagas y enfermedades que limitan su producción, por lo que su control depende del uso plaguicidas sintéticos. Con el fin de identificar los tipos de plaguicidas, sus formas de uso en la producción de melón en la Comarca Lagunera y analizar el perfil toxicológico de los plaguicidas más usados, se realizó un estudio descriptivo transversal durante el ciclo agrícola 2010 mediante una encuesta en 19 predios seleccionados por muestreo dirigido en las principales áreas de producción. De acuerdo con los resultados, se usaron 50 ingredientes activos (i.a.) de 26 grupos químicos, el 26 % de i.a., no están autorizados para melón por la COFEPRIS y 46 % son altamente peligrosos para la salud y el ambiente según el PAN International. En todos los predios se practicó la subdosificación o sobredosificación y en 95 % se emplearon mezclas con dos a seis plaguicidas. De los siete plaguicidas más usados seis son de alto riesgo sanitario y ambiental, estos fueron carbofuran (68 %), endosulfan (58 %), clorotalonil (58 %), mancozeb (53 %), imidacloprid (47 %) y metamidofos (42 %). Estos resultados muestran la necesidad de fomentar alternativas de control fitosanitario que disminuyan el uso de plaguicidas sintéticos, así como promover una regulación estricta que vigile su uso correcto y prohíba los plaguicidas altamente peligrosos.

Palabras clave: Agroquímicos, toxicidad, contaminación ambiental, seguridad alimentaria

ABSTRACT. The melon (*Cucumis melo* L.) is one of the most important vegetables in Mexico, where the Comarca Lagunera is the region with the largest melon production. This crop is attacked by various pests and diseases that limit their production by what has been created dependence on synthetic pesticides use for their control. In order to identify the types of pesticides and their forms of use in the production of melon and analyze the toxicological profile of the most used, a cross-sectional study was conducted during the 2010 agricultural cycle through a survey on 19 plots selected by purposive sampling in major areas of producing. According to the results, 50 active ingredients (a.i.) of 26 chemical groups were used. Of total a.i. 26 % are not authorized to melon by COFEPRIS and 46 % are highly hazardous to health and the environment by PAN International. In all plots was practiced under dosing or overdosing and 95 % mixtures were used with two to six pesticides. Of the seven most used pesticides six are high health and environmental risk, they were carbofuran (68 %), endosulfan (58 %), chlorothalonil (58 %), mancozeb (53 %), imidacloprid (47 %) and methamidophos (42 %). These results show the need to encourage alternative phytosanitary control to decrease the use of synthetic pesticides, as well as promote strict regulation to oversee its proper use and banning highly hazardous pesticides.

Key words: Agrochemicals, toxicity, environmental pollution, food safety

INTRODUCCIÓN

El melón es uno de los cultivos de mayor importancia económica y social en México, del cual se cosechan en promedio 21 500 ha con una producción de 543 000 t. La Comarca Lagunera, formada por 10 municipios del estado de Durango y cinco del estado de Coahuila, destaca como la región melonera más importante del país con una superficie sembrada de 5 300 ha y producción promedio de 115 000 t (Espinoza-Arellano *et al.* 2011). En la región, los municipios de Matamoros y Viesca en Coahuila, así como Tlahualilo y Mapimí en Durango, destacan como los principales productores. El cultivo es atacado por diversas plagas y enfermedades que afectan y limitan su producción, por lo que se ha creado dependencia del uso plaguicidas sintéticos para su control (Nava-Camberos *et al.* 2007, Pérez-Herrera *et al.* 2012). Entre las plagas de mayor importancia en la región destacan la mosquita blanca de la hoja plateada *Bemisia argentifolii* Bellows & Perring (Hemiptera: Aleyrodidae), el pulgón del melón *Aphis gossypii* Glover (Hemiptera: Aphididae), el minador de la hoja *Liriomyza sativae* Blanchard y *Liriomyza trifolii* Burgess (Diptera: Agromyzidae) y el gusano barrenador del melón *Diaphania hyalinata* Linnaeus (Lepidoptera: Crambidae) (Nava-Camberos *et al.* 2007). Las enfermedades de mayor incidencia son la cenicilla polvorienta *Sphaerotheca fuliginea* (Schlechtend) Pollaci, el tizón temprano *Alternaria cucumerina* (Ellis & Everhart) Elliott, el amarillamiento (Virus del Amarillamiento y Achaparramiento de las Cucurbitáceas) y los mosaicos (Virus Mosaico Amarillo del Zucchini, Virus Mosaico de la Sandía variante 2) (Chew-Madinaveitia *et al.* 2008).

Para el control de insectos, hongos, bacterias, virus y hierbas que afectan al cultivo se aplican plaguicidas, sustancias químicas que incluyen una gran variedad de productos diferentes en su composición, propiedades fisicoquímicas y toxicidad (March 2014). Por su origen, estos productos se clasifican en naturales o botánicos (extractos de plantas), biológicos (virus o microorganismos), inorgánicos (minerales) y sintéticos (CICOPLAFEST

2004). Los plaguicidas sintéticos son diseñados por el hombre y usados para el control de plagas agrícolas, se consideran como la medida más aceptada y eficaz para lograr la máxima producción y mejor calidad en los cultivos (Pérez-Olvera *et al.* 2011). Dependiendo de su estructura se clasifican en diversos grupos químicos entre los que destacan los organoclorados, organofosforados, carbamatos y piretroides. Por su toxicidad aguda, la Organización Mundial de la Salud (OMS) los clasifica en extremadamente peligrosos, muy peligrosos, moderadamente peligrosos y ligeramente peligrosos (CICOPLAFEST 2004). Por su parte, La Red Internacional de Acción en Plaguicidas (PAN International) reúne en la lista de Plaguicidas Altamente Peligrosos (HHP) a los plaguicidas que presentan niveles altos de toxicidad aguda o crónica para la salud humana o el medio ambiente; en esta lista una sustancia puede tener una o más de las características descritas (PAN International 2014).

El uso intensivo de estos agroquímicos, la elección de productos muy tóxicos sobre otros menos tóxicos y prácticas de uso incorrecto ocasionan numerosos efectos adversos en los ecosistemas (Chirinos y Geraud-Pouey 2011, Ruiz-Nájera *et al.* 2011). Entre los que se pueden mencionar intoxicaciones, enfermedades crónicas y muerte en humanos, animales domésticos y silvestres; bioacumulación en las cadenas alimentarias, fitotoxicidad en plantas, reducción de insectos benéficos y fauna edáfica importante, surgimiento de nuevas plagas, desarrollo de resistencia de plagas y contaminación del suelo, agua y aire (Gill y Garg 2014, March 2014).

En México el consumo promedio de plaguicidas es de 35 000 t año⁻¹ (Ortíz *et al.* 2014). Los grupos químicos más utilizados en el cultivo de hortalizas son los organofosforados, carbamatos, piretroides y organoclorados (Pérez-Olvera *et al.* 2011). Estos plaguicidas provocan en promedio 3 500 intoxicaciones agudas al año (Ortíz *et al.* 2014), daños crónicos en la salud de los trabajadores agrícolas y de los habitantes de las zonas cercanas a los sitios de cultivo (Pérez-Herrera *et al.* 2012, Gómez-Arroyo *et al.* 2013); también se han detec-

tado residuos en vegetales frescos (Pérez-Olvera et al. 2011). Debido a que no existen reportes sobre el uso de plaguicidas en el cultivo de melón en la Comarca Lagunera, los objetivos de este estudio fueron: identificar los tipos de plaguicidas y sus formas de uso, y analizar el perfil toxicológico de los productos más utilizados.

MATERIALES Y MÉTODOS

Durante el ciclo agrícola 2010 se desarrolló un estudio descriptivo de corte transversal, mediante la aplicación de una encuesta a los propietarios o representantes de 19 predios seleccionados por muestreo dirigido en los municipios de Matamoros y Viesca en Coahuila, y en Tlahualilo y Mapimí en Durango. Los municipios de Matamoros y Viesca se consideraron como una sola área debido a que por su cercanía, los patrones climáticos y los sistemas de producción son similares.

Los predios se tipificaron por niveles de tecnificación en: 1) acolchado en cama con riego por goteo (ACm-RGt), 2) acolchado en canal con riego por gravedad (ACn-RGr) y 3) suelo desnudo con riego por gravedad (SD-RGr). En los 19 predios se sembró el híbrido Cruisier y en 13 de ellos se sembraron otros híbridos, entre los que destacan los híbridos Expedition y Magno. El cuestionario se diseñó para obtener información de características tecnológicas y de producción de los sistemas de cultivo, los nombres de los productos usados, dosis, número de aplicaciones y uso de mezclas. La encuesta se validó por cinco investigadores expertos en el tema quienes emitieron su juicio y sugerencias.

Para la caracterización de los plaguicidas se consultaron diferentes fuentes de información. La actividad biocida y el grupo químico, se consultó en la Base de Datos de las Propiedades de los Plaguicidas (PPDB 2014). La situación legal en México, se consultó en el sistema de registros autorizados de la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS) de la Secretaría de Salud (COFEPRIS 2014). El perfil toxicológico se determinó con la lista de Plaguicidas Altamente Peligrosos (HHP) de la Red Internacional de Ac-

ción en Plaguicidas (PAN International 2014). Los datos se capturaron en Microsoft Excel 2010 y se analizaron mediante estadística descriptiva para la determinación de frecuencias y porcentajes.

RESULTADOS

Características y nivel tecnológico de los sistemas de producción

La superficie sembrada fue de 2 a 20 ha para los predios con SD-RGr, de 3 a 7 ha con ACn-RGr y de 3 a 194 ha con ACm-RGt. En Matamoros y Viesca se sembró en fechas tempranas (enero a marzo) y tardías (julio y agosto). En Tlahualilo sólo se sembró en fechas intermedias (abril) y en Mapimí en fechas intermedias (marzo a mayo) y tardías (junio).

Los predios con ACm-RGt fueron diferentes de los ACn-RGr y SD-RGr por utilizar mayor mecanización, superficie cultivada y por la tenencia de la tierra, que fue pequeña propiedad y arrendamiento de tierras ejidales. Los predios con ACm-RGt fueron de tipo altamente tecnificados, grandes superficies, cuentan con empaque propio y comercializan el producto en cadenas de supermercados bajo el esquema de agricultura por contrato y trasladan la cosecha a empaques comunitarios y comercializan el producto con intermediarios. Esta última vía de comercialización también se observó en todos los predios con ACn-RGr y SD-RGr. Sobre el consumo de plaguicidas se encontró que la cantidad de ingredientes activos (i.a.) aplicada al cultivo aumentó en fechas de siembra tardías, principalmente en los sistemas de producción con ACm-RGt y ACn-RGr.

Plaguicidas usados

Se usaron 50 i.a. de 26 grupos químicos. Por su acción biocida, 50 % de los i.a. son fungicidas (F), fungicidas/bactericidas (F/B) y fungicidas/acaricidas (F/AC); 44 % son insecticidas (I) insecticidas/acaricidas (I/AC), insecticidas/acaricidas/nematicidas (I/AC/N), inductores de resistencia viral (IRV), reguladores de crecimiento de insectos (RCI) y repelentes de insectos.

tos (RP); 4 % son bactericidas (B) y 2 % herbicidas (H) (Tabla 1). Los grupos químicos más utilizados fueron los fungicidas bencimidazoles y triazoles, y los insecticidas organofosforados y piretroides, con cuatro i.a. por grupo. De los 50 i.a. usados 46 % aparecen en la lista de Plaguicidas Altamente Peligrosos del PAN International y 26 % no están autorizados para su uso en el cultivo de melón por la COFEPRIS (Tabla 1).

Los plaguicidas más usados se muestran en la Tabla 2; cuatro son insecticidas: endosulfan (organoclorado), carbofuran (carbamato), imidacloprid (neonicotinoide) y metamidofos (organofosforado). Tres son fungicidas: clorotalonil (cloronitrilo), mancozeb (carbamato) y metalaxil-M (fenilamida). Su uso fue muy variable y con excepción del metalaxil-M, estos plaguicidas están incluidos en la lista de PAP.

Dosis y número de aplicaciones

En todos los predios se subdosificaron o sobredosificaron plaguicidas. Imidacloprid y metamidofos se aplicaron de acuerdo a las recomendaciones de las etiquetas de los productos comerciales. Endosulfan, carbofuran, clorotalonil, mancozeb y metalaxil-M, se subdosificaron en la mayoría de los predios (Tabla 3). De los 13 plaguicidas no autorizados para el cultivo de melón, seis se sobredosificaron (carbendazim, betaciflutrin, oxitetraciclina, clorpirifos etil, estreptomina, spinetoram), cinco se usaron en las dosis recomendadas (propiconazol, amitraz, iprodiona, pirimetanil, kasugamicina) y dos se subdosificaron (tiabendazol, fluazifop-p-butil).

En Matamoros y Viesca, en los predios con ACm-RGt se realizaron en promedio siete y 21 aplicaciones en siembras tempranas y tardías, respectivamente. En los predios con ACn-RGr, el promedio fue de cinco y ocho aplicaciones. En esta área

de producción se ubicó un predio con ACm-RGt altamente tecnificado, en el cual se realizaron ocho aplicaciones en fechas tempranas y no se sembró en fechas tardías.

En Tlahualilo, en los predios con ACm-RGt, ACn-RGr y SD-RGr el promedio de aplicaciones en fechas intermedias fue de nueve, cinco y cinco, respectivamente. En Mapimí, los predios con ACm-RGt, ACn-RGr y SD-RGr el promedio de aplicaciones en fechas intermedias fue de ocho, nueve y seis; y en fechas tardías fue de 12, 11 y nueve, respectivamente. En este municipio se localizó el predio con ACm-RGt con mayor superficie de siembra y nivel de tecnificación. En donde se aplicaron ocho y 18 aplicaciones en siembras intermedias y tardías, respectivamente. Los plaguicidas que más se aplicaron en siembras tardías fue el clorotalonil en Mapimí y endosulfan en Matamoros y Viesca (Tabla 3).

Uso de mezclas

El empleo de mezclas de plaguicidas se observó en el 95 % de los predios, con mayor uso en siembras intermedias y tardías. En los municipios de Matamoros y Viesca, se identificaron 25 mezclas en su mayoría de insecticidas, con el uso del endosulfan en el 32 % de las mezclas (Tabla 4). En el municipio de Tlahualilo se registraron 12 mezclas, predominando las de fungicidas; en el 50 % de ellas se empleó el oxiclورو de cobre. En el municipio de Mapimí se identificaron 25 tipos de mezclas, principalmente de fungicidas y/o bactericidas con un insecticida; usándose el clorotalonil en el 64 % de las mezclas, hasta con dos formulaciones comerciales en la misma mezcla. En tanto que el predio altamente tecnificado de Mapimí (5 %) no se aplicaron mezclas.

Tabla 1. Características biocidas, químicas, legales y toxicológicas de los plaguicidas usados en la producción de melón en la Comarca Lagunera.

Plaguicida	Acción biocida	Grupo químico	Autorizado para melón	Altamente peligroso	Plaguicida	Acción biocida	Grupo químico	Autorizado para melón	Altamente peligroso
Oxiteraciclina	B	Antibiótico	No	No	Propiconazol	F	Triazol	No	No
Estreptomina	B	Antibiótico	No	No	Tebuconazol	F	Triazol	Si	No
Kasugamicina	F/B	Antibiótico	No	No	Amitraz	I/AC	Amidina	No	No
Carbendazim	F	Bencimidazol	No	Si	Abamectina	I/AC/N	Avermectina	Si	Si
Tiabendazol	F	Bencimidazol	No	No	Extracto de Neem	RCI	Botánico	Si	No
Tiofanato metílico	F	Bencimidazol	Si	No	Extracto de ajo	RP	Botánico	Si	No
Benomil	F/AC	Bencimidazol	Si	Si	Carbofuran	I/AC/N	Carbamato	Si	Si
Propamocarb	F	Carbamato	Si	No	Clorantraniliprol	I	Diamida antranilica	Si	Si
Mancozeb	F	Carbamato	Si	Si	Fluzifop-p-butil	H	Fenoxipropionato	No	Si
Cymoxanil	F	Cianoacetamida	Si	No	Acetamiprid	I	Neonicotinoide	Si	No
Clortalonil	F	Cloronitrilo	Si	Si	Imidacloprid	I	Neonicotinoide	Si	Si
Iprodiona	F	Dicarbocimida	No	Si	Tiametoxam	I	Neonicotinoide	Si	No
Azoxistrobin	F	Estrobirulina	Si	No	Terpenoides	IRV	Orgánico natural	Si	No
Piraclostrobin	F	Estrobirulina	Si	No	Endosulfan	I/AC	Organoclorado	Si	Si
Metaxil-M	F	Fenilamida	Si	No	Malatión	I/AC	Organofosforado	Si	Si
Captan	F/B	Ftalimida	Si	No	Metamidofos	I/AC	Organofosforado	Si	Si
Oxicloruro de cobre	F	Inorgánico	Si	No	Clorpirifos etil	I	Organofosforado	No	Si
Azufre elemental	F/AC	Inorgánico	Si	No	Dimetoato	I/AC	Organofosforado	Si	No
Sulfato de cobre	F/B	Inorgánico	Si	No	Betaciflutrin	I	Piretroide	No	Si
Dimetomorf	F	Morfolina	Si	Si	Lambdaciactotrina	I	Piretroide	Si	Si
Cobre carboxílico	F	Cobre orgánico	Si	No	Cipermetrina	I	Piretroide	Si	Si
Pirimetanil	F	Pirimidina	No	No	Permetrina	I	Piretroide	Si	Si
Quinoxifen	F	Quinolina	Si	Si	Spinetoram	I	Espinosina	No	Si
Difenconazol	F	Triazol	Si	No	Spinosad	I	Espinosina	Si	Si
Miclobutanil	F	Triazol	Si	No	Ciromazina	RCI	Triazina	Si	Si

Tabla 2. Situación legal, perfil toxicológico y porcentaje de uso de los plaguicidas más usados en la producción de melón en la Comarca Lagunera.

Plaguicida	Autorizado para melón	Altamente peligroso	Porcentaje de productores			
			Matamoros y Viesca (n=7)	Tlahualilo (n=6)	Mapimí (n=6)	Regional (n=19)
Endosulfan	Si	Si	71	67	67	68
Clorotalonil	Si	Si	57	17	100	58
Carbofuran	Si	Si	100	33	33	58
Metalaxil-M	Si	No	57	17	83	53
Mancozeb	Si	Si	43	67	50	53
Imidacloprid	Si	Si	71	17	50	47
Metamidofos	Si	Si	57	17	50	42

El número de plaguicidas mezclados, fue similar en todos los municipios estudiados. En los predios con ACm-RGt se mezclaron de dos a tres productos comerciales con un i.a. cada uno. En tanto que en los predios con ACn-RGr se mezclaron de dos a seis productos comerciales, con al menos un producto formulado con dos a tres i.a. mientras que en los predios con SD-RGr del municipio de Tlahualilo se mezclaron dos productos comerciales con un i.a. cada uno. En los predios con SD-RGr en Mapimí se mezclaron de dos a cinco productos comerciales, con al menos un producto formulado con dos i.a.

DISCUSIÓN

Características y nivel tecnológico de los sistemas de producción.

El melón es uno de los cultivos más tecnificados de la Comarca Lagunera. El nivel tecnológico se relaciona con el uso de semillas híbridas, insumos agrícolas, empleo de acolchados plásticos, riego por goteo y abejas polinizadoras (Espinoza-Arellano et al. 2011). La tecnología de producción también considera el uso intensivo de plaguicidas sintéticos para el control fitosanitario del cultivo (Nava-Camberos et al. 2007). En este estudio se observó que la primera condicionante para el uso elevado de plaguicidas son las fechas de siembra tardías, con mayor uso de plaguicidas en los sistemas de producción con ACm-RGt y ACn-RGr. Esta situación se debe al aumento de la incidencia y la severidad de plagas y enfermedades a medida que el cultivo se

establece de forma tardía (Chew-Madinaveitia et al. 2008), por lo que se hace necesario un incremento del número de aplicaciones (Nava-Camberos et al. 2007).

El mayor uso de plaguicidas en los sistemas de producción más tecnificados puede relacionarse con su capacidad de inversión (Espinoza-Arellano et al. 2011). Mientras que en los predios altamente tecnificados que producen por contrato, se realizó un mejor uso de plaguicidas. Esto obedece a que las cadenas comerciales exigen estándares de calidad, que representen menor riesgo para la salud de los consumidores (Espinoza-Arellano et al. 2011). En estos predios se reduce el uso de plaguicidas, mediante un adecuado manejo fitosanitario del cultivo (Nava-Camberos et al. 2007), aunque los plaguicidas utilizados con mayor frecuencia son los mismos que en el resto de los predios.

Dosis y número de aplicaciones

En la región es una práctica común la subdosificación, sobredosificación y la aplicación repetida de un mismo plaguicida. Lo que favorece la resistencia de las plagas y el surgimiento de plagas secundarias, por lo que es necesario elevar las dosis o aumentar la frecuencia de aplicaciones; lo que se complica por la pérdida de la efectividad de los plaguicidas (Chirinos y Geraud-Pouey 2011). Lo que genera la acumulación de residuos tóxicos en frutos, la contaminación del medio ambiente e intoxicaciones en los trabajadores agrícolas (Gill y Garg 2014).

Tabla 3. Dosis aplicada, número de aplicaciones y dosis recomendada de los plaguicidas más usados que tuvieron mayor número de aplicaciones en la producción de melón en la Comarca Lagunera.

Plaguicida	Área de producción	Sistema de producción	Temprana			Fecha de siembra Intermedia			Tardía			Dosis recomendada (ha ⁻¹)
			Dosis aplicada (ha ⁻¹)	Número de aplicaciones	Dosis aplicada (ha ⁻¹)	Número de aplicaciones	Dosis aplicada (ha ⁻¹)	Número de aplicaciones	Dosis aplicada (ha ⁻¹)	Número de aplicaciones		
Insecticidas	Matamoros y Viesca	ACm-RGt	0.5 - 1.0 L	3 - 4	-	-	0.5 - 1.3 L	-	-	2 - 5	2.0 - 3.0 L	
		ACn-RGr	1.0 - 2.0 L	1 - 2	-	-	1.0 L	-	-	9		
	Mapimi	ACm-RGt	-	-	1.0 L	3	1.25 L	-	-	6	3.0 - 4.0 L (en banda) 0.8 - 1.2 L (mateado)	
		ACn-RGr	-	-	1.0 L	6	1.0 L	-	-	9		
Carbofuran	Matamoros y Viesca	Am-RGt	1.0 - 2.0 L	1	-	-	0.5 - 2.0 L	-	-	1 - 2		
		ACn-RGr	1.0 - 1.5 L	1	-	-	0.5 - 1.0 L	-	-	1 - 4		
Imidacloprid Fungicidas	Matamoros y Viesca	ACm-RGt	-	-	-	-	0.5 - 1.0 L	-	-	1 - 6	0.75 - 1.0 L	
		ACn-RGr	-	-	-	-	0.5 - 1.0 L	-	-	1 - 6		
Clorotaloni	Mapimi	ACm-RGt	-	-	1.0 - 1.5 L	2 - 3	1.0 - 2.0 L	-	-	2-6	1.5 - 3.2 L	
		ACn-RGr	-	-	1.0 - 2.0 L	3 - 8	0.5 - 1.0 L	-	-	5-12		
		SD-RGr	-	-	1.0 L	10	1 L	-	-	4-10		
Mancozeb Metalaxil-M	Tlahualilo Mapimi	SD-RGr	-	-	0.5 - 1.0 kg	4	-	-	-	1.2 - 2.5 kg		
		SD-RGr	-	-	1.0 L	5	0.3 - 1.0 L	-	-	4 - 5	1.5 - 2 L	

Tabla 4. Tipos de mezclas de plaguicidas usados en la producción de melón en la Comarca Lagunera.

Mezcla de plaguicidas	Acción biocida de los plaguicidas de la mezcla
Matamoros y Viesca	
Endosulfan + Lambdacialotrina	I/AC + I
Endosulfan + Metamidofos	I/AC + I/AC
Endosulfan + Carbofuran	I/AC + I/AC/N
Endosulfan + Amitraz	I/AC + I/AC
Endosulfan + Extracto de Neem + Extracto de ajo	I/AC + RCI + RP
Endosulfan + Oxidicloruro de cobre + Oxitetraciclina	I/AC + F + B
Endosulfán + [Clorpirifos etil + Permetrina]	I/AC + [I/AC/N + I/AC]
Endosulfan + [Metalaxil-M + Clorotalonil] + Metamidofos + Estreptomycina	I/AC + [F + F] + I/AC + B/F
Tlahualilo	
Oxidicloruro de cobre + [Metalaxil-M + Mancozeb] + Imidacloprid	F + [F+F] + I
Oxidicloruro de Cobre + Quinoxifen + Betaciflutrin + Oxitetraciclina	F + F + I + B
[Oxidicloruro de Cobre + Estreptomycina + Oxitetraciclina] + Mancozeb	[F + B/F + B] + F
Oxidicloruro de Cobre + Oxitetraciclina	F + B
Oxidicloruro de Cobre + Mancozeb	F + F
[Oxidicloruro de Cobre + Mancozeb] + Mancozeb	[F + F] + F
Clorotalonil + Benomil	F + F
Clorotalonil + Cimoxanil + Dimetoato	F + F + I
[Clorotalonil + Metalaxil-M] + Propiconazol	[F + F] + F
Clorotalonil + Benomil + Endosulfán	F + F + I
Clorotalonil + Benomil + Malation	F + F + I/AC
Clorotalonil + Benomil + Oxitetraciclina	F + F + B
[Clorotalonil + Metalaxil-M] + Propiconazol	[F + F] + F
Clorotalonil + [Metalaxil-M + Clorotalonil] + Endosulfan	F + [F + F] + I/AC
Clorotalonil + Miclobutanil + [Metalaxil-M + Clorotalonil]	F + F + [F + F]
Clorotalonil + Azufre elemental + Benomil + Endosulfan	F + F/AC + F + I/AC
Clorotalonil + Captan + Azufre elemental + Benomil + Endosulfan	F + F/B + F/AC + F + I/AC
[Clorotalonil + Metalaxil-M] + Clorotalonil + Benomil + Oxitetraciclina	[F + F] + F + F + B
Clorotalonil + Captan + Azufre elemental + Benomil + [Metalaxil-M + Clorotalonil] + Endosulfan	F + F/B + F/AC + F + [F + F] + I/AC
Clorotalonil + Miclobutanil + [Metalaxil-M + Clorotalonil] + Cipermetrina	F + F + [F + F] + I/AC
[Clorotalonil + Metalaxil-M] + Clorotalonil + Benomil + Oxitetraciclina	[F + F] + F + F + B
Clorotalonil + Captan + Oxitetraciclina + Azufre elemental + Dimetotato	F + F/B + B + F/AC + I/AC/N

Uso de mezclas

El uso de mezclas por el 95 % de los productores, es un problema complejo, ya que preparar mezclas requiere de pruebas de compatibilidad química, conocer el mecanismo de acción de los productos y la dosis adecuada (Cloyd 2011). Alternativa que los productores consideran cuando la incidencia de plagas y enfermedades en sus cultivos alcanza niveles no controlables, por la creencia de que las mezclas son más eficaces o cuando se quiere ahorrar tiempo y mano de obra (Ruiz-Nájera et al. 2011). La aplicación de mezclas con dos plaguicidas puede ser eficaz por el efecto sinérgico o aditivo; aunque también puede dañar a los insectos benéficos (Ortega-Martínez et al. 2014), provocando un desequilibrio en el control biológico natural y

en la polinización entomófila de importancia en el cultivo de melón (Reyes-Carrillo et al. 2009, Chirinos y Geraud-Pouey 2011). El efecto sinérgico de las mezclas binarias de clorotalonil y fluvalinato, y de clorotalonil y cumafós, aumentan de forma significativa la mortalidad de las larvas de las abejas melíferas (*Apis mellífera* L.) (Zhu et al. 2014). Estudios recientes demuestran que las mezclas de plaguicidas son más tóxicas para los humanos, que la exposición a cada uno de sus ingredientes por separado (Coalova et al. 2013).

Plaguicidas usados

De los 50 i.a. usados, el 26 % no están autorizados para su uso en el cultivo de melón (COFEPRIS 2014), en tanto que el 46 % se en-

encuentran en la lista de PAP (PAN International 2014). Este problema es preocupante debido a que del 2005 a 2007 se observó una situación similar en los plaguicidas usados para el control de plagas y enfermedades en cultivos hortícolas (Pérez-Olvera et al. 2011). En México los plaguicidas son regulados por la Comisión Intersecretarial para el Control del Proceso y Uso de Plaguicidas, Fertilizantes y Sustancias Tóxicas (CICOPLAFEST 2004). Correspondiendo a la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación la ejecución del Programa Nacional de Monitoreo de Residuos de Plaguicidas en vegetales para monitorear que los insumos fitosanitarios sean utilizados de acuerdo con lo establecido en los dictámenes técnicos de efectividad biológica (LFSV 2011). Sin embargo, la deficiente vigilancia gubernamental de estas disposiciones legales, propicia que los productores utilicen productos no aprobados y dosis e intervalos de seguridad no adecuadas (Ruiz-Nájera et al. 2011).

De los siete plaguicidas más usados por los productores de la región, seis están incluidos en la lista de PAP, lo que es grave debido a la elevada toxicidad de estos plaguicidas y su uso frecuente, puede derivar en efectos en la salud y la degradación del medio ambiente (March 2014), siendo el endosulfan el producto más usado por los agricultores de la región. Los riesgos de uso y exposición, aún en dosis bajas, pueden causar trastornos endocrinos, reproductivos, nerviosos, hepáticos y, renales en animales y humanos (Shenoy y Mukkadan 2014). El endosulfan se ha detectado en aguas superficiales y es el plaguicida organoclorado con más concentración en la atmósfera (Weber et al. 2010), el cual se encuentra incluido en el Convenio de Rotterdam y en el Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes (PAN International 2014).

El clorotalonil también se emplea con frecuencia en la región y de forma repetida se utiliza en forma de mezclas, con el ingrediente activo en diferentes presentaciones comerciales. El cual tiene potencial cancerígeno y es tóxico para hígado, riñón, sistema nervioso y sistema reproductivo; el cual puede permanecer de un mes a un año en el suelo, por lo que se puede encontrar residuos en fru-

tas, suelo y aguas subterráneas (Wang et al. 2011). La exposición ocupacional puede ocurrir a través de la inhalación de polvo o por contacto dérmico con el producto en los lugares de trabajo (Raman 2014).

El carbofuran es uno de los plaguicidas más tóxicos y ha provocado muertes e intoxicaciones agudas de personas y animales en el mundo (Poledníková et al. 2010). Por lo que está incluido en el Convenio de Rotterdam (PAN International 2014). El cual representa un alto riesgo de contaminación del agua y suelo (Mohanta et al. 2012), además del riesgo ocupacional debido a que ingresa al organismo por inhalación, piel, ingestión y ojos (Gbadegesin et al. 2014). El metamidofos, es de alto riesgo en la región, debido al uso común del plaguicida que realizan los agricultores (Emerick et al. 2012); es responsable de un gran número de intoxicaciones y de muertes ocupacionales y accidentales en el mundo (Lima et al. 2011). Es soluble en agua y presenta movilidad en el suelo, lo que genera riesgo de contaminación de aguas subterráneas (Wang et al. 2010).

El mancozeb tiene importantes efectos crónicos en los consumidores y trabajadores agrícolas, debido a que se descompone de forma rápida para formar etilentiourea (ETU) en el organismo, en el agua y en el aire (Geissen et al. 2010, Paro et al. 2012). Los efectos tóxicos del mancozeb y la ETU incluyen la alteración de la función de la tiroides, toxicidad reproductiva, neurotoxicidad y potencial carcinogénico (Srivastava y Singh 2013, Roede 2014). El imidacloprid se usó en toda la región de forma variable. En el municipio de Matamoros y Viesca se usó en 71 % de los predios, con aplicaciones en siembras tardías variables, con hasta cinco veces mayores de un predio a otro. Este plaguicida se considera moderadamente peligroso para los seres humanos por la OMS y la Agencia Estadounidense de Protección Ambiental (Kumar et al. 2013). Hoy en día es de gran preocupación ecológica su uso, debido a su toxicidad en las abejas y aves (Goulson 2013, Fairbrother et al. 2014). La producción de melón en la Comarca Lagunera involucra un número importante de plaguicidas, cuya toxicidad y patrón de uso inadecuado impli-

can riesgos sanitarios y ambientales para la región. Por lo que es importante la realización de estudios epidemiológicos y ambientales, que evidencien los daños causados por los plaguicidas en la salud de los trabajadores agrícolas (Recio *et al.* 2005 y Recio-Vega *et al.* 2007).

CONCLUSIONES

La producción de melón en la Comarca Lagunera se realiza con una gran variedad de plaguicidas. El uso predominante e incorrecto de los insecticidas endosulfan (organoclorado), carbofu-

ran (carbamato), imidacloprid (neonicotinoide) y metamidofos (organofosforado), y los fungicidas clorotalonil (cloronitrilo), y mancozeb (carbamato), implica riesgos sanitarios y ambientales para la región. Ante este hecho, es necesario fomentar la práctica de alternativas de control fitosanitario que disminuyan el uso de plaguicidas sintéticos en los sistemas de producción, así como promover una regulación estricta que vigile el uso correcto de estos agroquímicos en las regiones agrícolas y prohíba los plaguicidas altamente peligrosos.

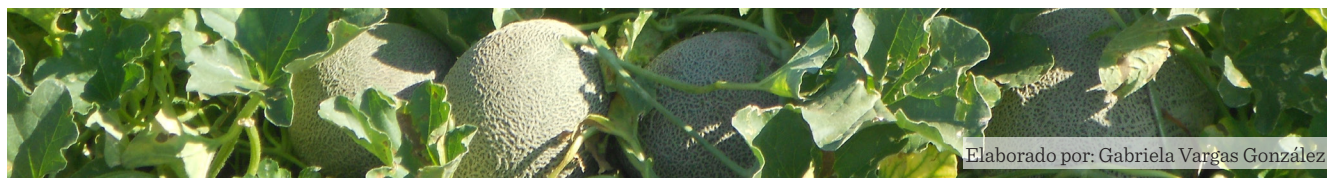
LITERATURA CITADA

- Chew-Madinaveitia YI, Vega-Piña A, Palomo-Rodríguez M, Jiménez-Díaz F (2008) Enfermedades del melón (*Cucumis melo* L.) en diferentes fechas de siembra en la Región Lagunera. México. Revista Chapingo Serie Zonas Áridas 7: 133-138.
- Chirinos DT, Geraud-Pouey F (2011) El manejo de plagas agrícolas en Venezuela. Análisis y reflexiones sobre algunos casos. Interciencia 36: 192-199.
- CICOPLAFEST (2004) Catálogo de plaguicidas. Comisión Intersecretarial para el Control del Proceso y Uso de Plaguicidas, Fertilizantes y Sustancias Tóxicas. México. <http://www.cofepris.gob.mx/AZ/Paginas/Plaguicidas%20y%20Fertilizantes/CatalogoPlaguicidas.aspx>. Fecha de consulta 25 de mayo de 2014.
- Cloyd RA (2011) Pesticide mixtures. In: Stoytcheva M (ed) Pesticides-Formulations, Effects, Fate. InTech. Rijeka, Croatia. pp: 69-80.
- Coalova I, Mencacci S, Fassiano A (2013) Genotoxicidad de mezclas de pesticidas: ¿Algo más que la suma de las partes? Acta Toxicológica Argentina 21: 5-14.
- COFEPRIS (2014) Búsqueda de registros de plaguicidas y nutrientes vegetales. Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios/Secretaría de Salud. México. <http://189.254.115.250/Resoluciones/Consultas/ConWebRegPlaguicida.asp>. Fecha de consulta 14 de marzo de 2015.
- Emerick GL, Ehrich M, Jortner BS, Oliveira RV, Deoliveira GH (2012) Biochemical, histopathological and clinical evaluation of delayed effects caused by methamidophos isoforms and TOCP in hens: ameliorative effects using control of calcium homeostasis. Toxicology 302: 88-95.
- Espinoza-Arellano JJ, Lozada-Cota M, Leyva-Nájera S (2011) Posibilidades y restricciones para la exportación de melón cantaloupe producido en el municipio de Mapimí, Dgo., México al mercado de los Estados Unidos. Revista Mexicana de Agronegocios 15: 593-604.
- Fairbrother A, Purdy J, Anderson T, Fellk R (2014) Risks of neonicotinoid insecticides to honeybees. Environmental Toxicology and Chemistry 33: 719-731.
- Gbadegesin MA, Owumi SE, Akinseye V, Odunola OA (2014) Evaluation of hepatotoxicity and clastogenicity of carbofuran in male Wistar rats. Food and Chemical Toxicology 65: 115-119.

- Geissen V, Ramos FQ, Bastidas-Bastidas PJ, Díaz-González G, Bello-Mendoza R, Huerta-Lwanga E, et al. (2010) Soil and water pollution in a banana production region in tropical Mexico. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 85: 407-13.
- Gill HK, Garg H (2014) Pesticide: Environmental impacts and management strategies. In: Solenski S, Larramenday ML (ed) *Pesticides-Toxic Effects*. Intech. Rijeka, Croatia. pp: 187-230.
- Gómez-Arroyo S, Martínez-Valenzuela C, Calvo-González S, Villalobos-Pietrini R, Waliszewski SM, Calderon-Segura ME, et al. (2013) Assessing the genotoxic risk for mexican children who are in residential proximity to agricultural areas with intense aerial pesticide applications. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 29: 217-225.
- Goulson D (2013) An overview of the environmental risks posed by neonicotinoid insecticides. *Journal of Applied Ecology* 50: 977-987.
- Kumar A, Verma A, Kumar A (2013) Accidental human poisoning with a neonicotinoid insecticide, imidacloprid: A rare case report from rural India with a brief review of literature. *Egyptian Journal of Forensic Sciences* 3: 123-126.
- LFSV (2011) Artículo 42 bis. Capítulo IV: Del control de insumos actividades y servicios. Título segundo: De la protección sanitaria. Ley Federal de Sanidad Vegetal. Última reforma publicada en el Diario Oficial de la Federación el 16 de noviembre de 2011. México. <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/ref/lfsv.htm>. Fecha de consulta 15 de marzo de 2015.
- Lima CS, Nunes-Freitas AL, Ribeiro-Carvalho A, Filgueiras CC, Manhães AC, Meyer A, et al. (2011) Exposure to methamidophos at adulthood adversely affects serotonergic biomarkers in the mouse brain. *Neurotoxicology* 32: 718-724.
- March GJ (2014) *Agricultura y plaguicidas: Un análisis global*. 1a edición. Fundación Agropecuaria para el Desarrollo de Argentina. Río Cuarto, Argentina. 294p.
- Mohanta MK, Saha AK, Zamman MT, Ekram AE, Khan AS, Mannan SB, et al. (2012) Isolation and characterization of carbofuran degrading bacteria from cultivated soil. *Biochemical and Cellular Archives* 12: 313-320.
- Nava-Camberos U, Chew-Madinaveitia YI, Cano-Ríos P (2007) Etiología, epidemiología y manejo del amarillamiento del melón en la Comarca Lagunera. In: Maldonado-Navarro LA, Fierros-Leyva GA (ed) *Estrategias de Manejo Integrado de Mosquita Blanca y Virosis en Cucurbitáceas*. Memoria Técnica. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Instituto de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Hermosillo, Sonora, México. pp: 10-28.
- Ortega-Martínez LD, Martínez-Valenzuela C, Huerta-De la Peña A, Ocampo-Mendoza J, Sandoval-Castro E, Jaramillo-Villanueva JL (2014) Uso y manejo de plaguicidas en invernaderos de la región norte del estado de Puebla, México. *Acta Universitaria* 24: 3-12.
- Ortíz I, Avila-Chávez MA, Torres LG (2014) Plaguicidas en México: usos, riesgos y marco regulatorio. *Revista Latinoamericana de Biotecnología Ambiental y Algal* 4: 26-46.
- PAN International (2014) List of highly hazardous pesticides. Pesticide Action Network International. Germany. http://www.pan-germany.org/download/PAN_HHP_List_140527 Fecha de consulta 10 de diciembre de 2014.
- Paro R, Tiboni GM, Buccione R, Rossi G, Cellini V, Canipari R, et al. (2012) The fungicide mancozeb induces toxic effects on mammalian granulosa cells. *Toxicology and Applied Pharmacology* 260: 155-161.

- Pérez-Herrera NE, Alvarado-Mejía JA, Castillo-Burguete MT, González-Navarrete RL, Quintanilla-Vega MB (2012) Efectos reproductivos en agricultores expuestos a plaguicidas en Muna, Yucatán. En: Cedillo LA, Cano-Robles FK (comp) Género, Ambiente y Contaminación por Sustancias Químicas. México. Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Instituto Nacional de Ecología. pp: 79-94.
- Pérez-Olvera MA, Navarro-Garza H, Miranda-Cruz E (2011) Use of pesticides for vegetable crops in Mexico. In: Stoytcheva M (ed) Pesticides in the Modern World-Pesticides Use and Management. InTech. Rijeka, Croatia. pp: 97-118.
- Poledníková K, Vetrovcová J, Poledník L, Hlavác V (2010) Carbofuran - A new and effective method of illegal killing of otters (*Lutra lutra*) in the Czech Republic. International Union for Conservation of Nature Otter Specialist Group Bulletin 27: 137-146.
- PPDB (2014) Pesticide Properties DataBase. University of Hertfordshire. <http://www.sitem.herts.ac.uk/ae/ru/ppdb/en/atoz.htm>. Fecha de consulta 13 de diciembre de 2014.
- Raman P (2014) Chlorothalonil. In: Wexler P (ed) Encyclopedia of Toxicology, 3rd edition, volume 1. Elsevier Inc. Academic Press. pp: 919-922.
- Recio R, Ocampo-Gómez G, Moran-Martínez J, Borja-Aburto V, López-Cervantes M, Uribe M, et al. (2005) Pesticide exposure alters follicle-stimulating hormone levels in mexican agricultural workers. Environmental Health Perspectives 113: 1160-1163.
- Recio-Vega R, Ocampo-Gómez G, Borja-Aburto VH, Moran-Martínez J, Cebrián-García ME (2007) Organophosphorus pesticide exposure decreases sperm quality: association between sperm parameters and urinary pesticide levels. Journal of Applied Toxicology 28: 674-680.
- Reyes-Carrillo JL, Cano-Ríos P, Nava-Camberos U (2009) Período óptimo de polinización del melón con abejas melíferas (*Apis mellifera* L.). Agricultura Técnica en México 35: 370-377.
- Roede JR (2014) Mancozeb. In: Wexler P (ed) Encyclopedia of Toxicology, 3rd edition, vol 1. Elsevier Inc. Academic Press. pp: 144-146.
- Ruiz-Nájera RE, Ruiz-Nájera JA, Guzmán-González S, Pérez-Luna EJ (2011) Manejo y control de plagas del cultivo de tomate en Cintalapa, Chiapas, México. Revista Internacional de Contaminación Ambiental 27: 129-137.
- Shenoy K, Mukkadan K (2014) Toxicity of endosulphan on human health: A review. Journal of Medical and Health Sciences 3: 5-11.
- Srivastava P, Singh A (2013) In vivo study of effects of dithiocarbamates fungicide (mancozeb) and its metabolite ethylenethiourea (ETU) on fresh water fish *Clarius batrachus*. Journal of Biology and Earth Sciences 3: B228-B235.
- Wang G, Liang B, Li F, Li S (2011) Recent advances in the biodegradation of chlorothalonil. Current Microbiology 63: 450-457.
- Wang L, Wen Y, Guo X, Wang G, Li S, Jiang J (2010) Degradation of methamidophos by hyphomicrobium species MAP-1 and the biochemical degradation pathway. Biodegradation 21: 513-523.
- Weber J, Halsall CJ, Muir D, Teixeira C, Small J, Solomon K, et al. (2010) Endosulfan, a global pesticide: A review of its fate in the environment and occurrence in the Arctic. Science of the Total Environment 408: 2966-2984.
- Zhu W, Schmehl DR, Mullin CA, Frazier JL (2014) Four common pesticides, their mixtures and formulation solvent in the hive environment have high oral toxicity to honey bee larvae. PLoS ONE 9: e77547.

3.2. Impacto ambiental por uso de plaguicidas en tres áreas de producción de melón en la Comarca Lagunera, México



Elaborado por: Gabriela Vargas González

Impacto ambiental por uso de plaguicidas en tres áreas de producción de melón en la Comarca Lagunera, México

Environmental impact by usage of pesticides in three melon producing areas in the Comarca Lagunera, Mexico

Gabriela Vargas-González¹, Vicente de Paul Alvarez-Reyna², César Guigón-López^{3*}, Pedro Cano-Ríos², Mario García-Carrillo²

RESUMEN

El uso intensivo de plaguicidas altamente tóxicos, en la producción de cultivos hortofrutícolas especializados, conlleva riesgos ambientales y sociales, que pueden medirse mediante indicadores de riesgo de plaguicidas, para evaluar el potencial de impacto negativo de estos productos en los ecosistemas y comparar los logros de la implementación de prácticas agrícolas sustentables, en términos de reducción de riesgos, por la utilización de plaguicidas. El objetivo de esta investigación fue estimar el potencial impacto ambiental, por uso de plaguicidas, en las tres áreas de mayor producción de melón en la Comarca Lagunera. Se realizó un estudio descriptivo transversal, mediante la aplicación de una encuesta en 19 predios, seleccionados mediante muestreo no probabilístico. El Impacto Ambiental (IA) se evaluó mediante el modelo del Cociente de Impacto Ambiental (CIA), que se basa en el cálculo del CIA y el Cociente de Impacto Ambiental en Campo (CIAC). Los resultados muestran que los plaguicidas que contribuyeron con la mayor carga ambiental en las áreas de estudio fueron: clorotalonil (49 %), azufre elemental (11 %) y endosulfan (10 %), en Mapimí; carbofuran (19 %), endosulfan (18 %) y carbendazim (12 %), en Matamoros-Viesca; y oxiclóruo de cobre (20 %), endosulfan (17 %) y mancozeb (17 %), en Tlahualilo. Los sistemas de producción, con los valores del IA más altos, se identificaron en fechas de siembra intermedias (199 a 500) y tardías (201 a 701), en Mapimí, y fechas tardías (132 a 383) en Matamoros-Viesca. El modelo del CIA permitió identificar a los plaguicidas y los sistemas de producción con el mayor impacto ambiental negativo en las tres principales áreas de producción de melón en la Comarca Lagunera, además de proporcionar una escala cuantificable, que permitirá evaluar y comparar futuros cambios en el uso regional de plaguicidas.

PALABRAS CLAVE: control químico, indicadores de riesgo de plaguicidas, cociente de impacto ambiental.

ABSTRACT

The intensive use of highly toxic pesticides in the production of specialized horticultural crops entails environmental and social risks that can be measured through pesticide risk indicators to assess the potential negative impact of these products on ecosystems. In addition, this measurement enables the comparison of the achievements that result from the implementation of sustainable agricultural practices in terms of risk reduction due to the use of pesticides. The objective of this research was to estimate the potential environmental impact due to the use of pesticides in three melon production areas in the Comarca Lagunera. A cross-sectional descriptive study was carried out by applying a survey in 19 properties selected by non-probabilistic sampling. The Environmental Impact (EI) was evaluated using the Environmental Impact Quotient (EIQ) model, which is based on the calculation of the EIQ and the Environmental Impact Quotient in the Field (EIQF). The results show that the pesticides that contributed with the greatest environmental burden in the study areas were: Chlorothalonil (49 %), elemental sulfur (11 %) and endosulfan (10 %) in Mapimí; carbofuran (19 %), endosulfan (18 %) and carbendazim (12 %) in Matamoros-Viesca, and copper oxychloride (20 %), endosulfan (17 %) and mancozeb (17 %) in Tlahualilo. The production systems with the highest AI values were identified on intermediate (199 to 500) and late (201 to 701) sowing dates in Mapimí and late dates (132 to 383) in Matamoros-Viesca. The EIQ model allowed the identification of pesticides and production systems with the greatest negative environmental impact in the main areas of melon production in the Comarca Lagunera and provides a quantifiable scale that will allow the evaluation and comparison of future changes in the regional use of pesticides.

KEYWORDS: chemical control, pesticide risk indicators, environmental impact quotient.

*Correspondencia: c.guigon@cirena.org/ Fecha de recepción: 17 de abril de 2018/ Fecha de aceptación: 3 de septiembre de 2018/ Fecha de publicación: 31 de enero de 2019

¹Universidad Autónoma de Coahuila, Facultad de Ciencias Biológicas, Unidad Torreón, Ciudad Universitaria carretera Torreón-Matamoros km 7.5, Torreón, Coahuila, México, C. P. 27275. ²Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Unidad Laguna. ³Centro de Investigación para los Recursos Naturales.

INTRODUCCIÓN

En México, el aumento en la producción de frutas y hortalizas, durante las tres últimas décadas, ha favorecido el desarrollo de la agricultura empresarial, caracterizada por la producción de monocultivos especializados, en los que el uso intensivo de plaguicidas altamente tóxicos, obtenidos mediante procesos de síntesis química, es la forma dominante de combate de las plagas y los vectores de enfermedades que los afectan (Pérez-Olvera y col., 2011; González, 2014).

La creciente preocupación mundial, por los daños que el empleo excesivo de plaguicidas sintéticos está ocasionando en la salud humana, el medio ambiente, la biodiversidad y la seguridad alimentaria, ha provocado un rechazo generalizado hacia el control químico de plagas en la producción agrícola (Sarwar, 2015; Ibrahim, 2016). Sin embargo, se estima que la restricción de la utilización de dichos agroquímicos tendría como consecuencia bajos rendimientos de los cultivos, encarecimiento y deficiencias en el suministro de alimentos para una población que va en aumento (Storck y col., 2017). En este contexto, la agricultura contemporánea se enfrenta al reto de intensificar la producción agrícola, y asegurar simultáneamente la protección del medio ambiente y la salud humana, con soluciones sustentables, en las que el uso seguro y racional de plaguicidas sintéticos pueden ser un factor clave contra la escasez de alimentos en el futuro (Notarnicola y col., 2017).

El empleo de plaguicidas representa un desafío, ya que, por su amplia diversidad estructural, toxicológica y funcional, estos productos pueden impactar a los compartimentos ambientales y organismos no objetivo de diferentes maneras y con distintos niveles de intensidad, dependiendo de las formas de uso, las características geográficas y los patrones climáticos del sitio de aplicación (Kromann y col., 2011; Kniss y Coburn, 2015). Debido a esta complejidad, y a las limitaciones de costo y de tiempo, de las mediciones analíticas, durante las dos últimas décadas se ha desa-

rollado una amplia variedad de indicadores de riesgo de plaguicidas (Feola y col., 2011).

Los indicadores de riesgo de plaguicidas son modelos algebraicos que consideran las propiedades fisicoquímicas de los ingredientes activos (i.a.) de los plaguicidas y los factores de exposición, para generar un valor numérico que permite comparar productos y estrategias de control fitosanitario; con base en el impacto ambiental producido en un ecosistema agrícola determinado (Feola y col., 2011). No cuantifican el riesgo absoluto, sin embargo, son herramientas útiles que sirven de guía a los agricultores, a los profesionales técnicos encargados de la toma de decisiones en las parcelas, a los responsables políticos que intervienen en la reglamentación de la utilización de plaguicidas y a los investigadores, para comparar el efecto pernicioso de estos agroquímicos, tanto en los organismos no objetivo como en los distintos compartimentos ambientales, y sirven también para diseñar prácticas efectivas de control de plagas y enfermedades, con el menor impacto ambiental negativo, de acuerdo a la Food and Agriculture Organization (FAO, 2008).

El Cociente de Impacto Ambiental (CIA) (EIQ, por sus siglas en inglés: Environmental Impact Quotient) es uno de los indicadores de riesgo de plaguicidas más usado en el mundo, debido a que ha demostrado un buen desempeño como herramienta para valorar los posibles efectos peligrosos de los plaguicidas sobre la salud humana y el medio ambiente, en una amplia variedad de cultivos, prácticas de cultivo y zonas agroecológicas (Ávila y col., 2011; Kromann y col., 2011; Arora y col., 2012; Agboyi y col., 2015; Ordoñez-Beltrán y col., 2016; Chen y col., 2017). También se ha utilizado para medir los logros o tendencias en la reducción de riesgos por el manejo de plaguicidas a través del tiempo, tanto a nivel regional como nacional (Ioriatti y col., 2011; Cross, 2013; Biddinger y col., 2014; Deihimfard y col., 2014). Asimismo, el modelo del CIA se ha modificado y adaptado para evaluar el costo ambiental (externalidades negativas) por el empleo de plaguicidas y desarrollar sistemas de clasificación

para el etiquetado de los productos comerciales (Ibrahim, 2016). En México, el modelo del CIA se ha utilizado para cuantificar y comparar el impacto ambiental de los plaguicidas y los programas de control fitosanitario en el cultivo de chile (Guigón-López y González-González, 2007), así como, para evaluar el impacto ambiental por uso de plaguicidas en huertos de manzano, con tres niveles de tecnificación (Ramírez y Jacobo, 2002) y, en huertos de manzano con y sin programas de Manejo Integrado de Plagas (MIP) (Ordoñez-Beltrán y col., 2016).

El melón (*Cucumis melo* L.) es una de las hortalizas más importantes en México y particularmente en la Comarca Lagunera, que destaca como la región melonera más importante del país, con un área de siembra cercana al 20 % de la superficie nacional (Ramírez-Barrera y col., 2015). Según datos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SIAP-SAGARPA, 2017), de 2010 a 2016 se sembraron en promedio 5 418.71 ha, con un rendimiento de 30.97 T/ha y se obtuvo una producción de 156 703.86 T. Los plaguicidas se aplican al cultivo para controlar, principalmente, a la mosquita blanca de la hoja plateada *Bemisia argentifolii* Bellows & Perring, al pulgón del melón *Aphis gossypii* Glover, al minador de la hoja *Liriomyza sativae* Blanchard y *Liriomyza trifolii* Burgess y al gusano barrenador del melón *Diaphania hyalinata* Linnaeus (Nava y col., 2007). También se aplican para evitar enfermedades de las plantas, como la cenicilla polvorienta *Sphaerotheca fuliginea* (Schlechtend) Pollaci, el tizón temprano *Alternaria cucumerina* (Ellis & Everhart) Elliott, el virus del amarillamiento y achaparramiento de las cucurbitáceas) y los mosaicos (virus mosaico amarillo del zucchini, virus mosaico de la sandía variante 2) (Chew-Madinaveitia y col., 2008).

En un reporte previo, donde se estudió el patrón de uso y el perfil toxicológico de los plaguicidas que se analizaron en este trabajo, se encontró el manejo predominante e incorrec-

to de plaguicidas altamente peligrosos para la salud humana y el medio ambiente, por lo que se resaltó la necesidad de fomentar la práctica de alternativas de control fitosanitario, que disminuyan el empleo de estos plaguicidas, en los sistemas de producción de melón, en la región (Vargas-González y col., 2016). Para ello, es necesario contar con una metodología que proporcione una escala cuantificable, que permita evaluar y comparar futuros cambios, en la utilización de plaguicidas.

El objetivo de esta investigación fue estimar el potencial impacto ambiental por uso de plaguicidas en las tres áreas de mayor producción de melón en la Comarca Lagunera.

MATERIALES Y MÉTODOS

Durante el ciclo agrícola 2010, se realizó un estudio descriptivo transversal en tres áreas de mayor producción de melón en la Comarca Lagunera. De acuerdo con la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT, 2014), la Comarca Lagunera es una región del centro-norte de México, que está integrada por 11 municipios del estado de Durango y 5 del estado de Coahuila. Se localiza a 24°22' de latitud N y 102°22' de longitud W, a una altura de 1 120 msnm. El clima es árido, con lluvias escasas en todas las estaciones. Presenta una precipitación media anual de 224.6 mm y 38 % de humedad. La temperatura fluctúa entre los 28 °C y 40 °C, pero puede alcanzar hasta 48 °C en verano y - 8 °C en invierno. La temperatura media anual es de 21.11 °C.

Para la selección de la muestra, se utilizó el muestreo por conveniencia. Se hicieron recorridos exploratorios en los municipios de Matamoros y Viesca en Coahuila, y Tlahualilo y Mapimí en Durango, donde se localizaron predios representativos de los sistemas de producción prevalecientes en cada área. Para los recorridos exploratorios se contó con el apoyo de técnicos profesionales fitosanitarios de la Junta Local de Sanidad Vegetal de la Comarca Lagunera de Coahuila y de Durango. Matamoros y Viesca se consideraron como una sola área, debido a que, por su cer-

canía, los patrones climáticos y los sistemas de producción son los mismos.

La selección de predios se realizó con base en tres niveles de tecnificación: 1) Acolchado en cama con riego por goteo (ACm-RGt); 2) Acolchado en canal con riego por gravedad (ACn-RGr); y 3) Suelo desnudo con riego por gravedad (SD-RGr). Se eligieron 19 predios en total; 7 en Matamoros-Viesca, de los cuales, 4 cuentan con el sistema de ACm-RGt, 3 con ACn-RGr y no se detectaron predios con SD-RGr. En Tlahualilo y Mapimí, se eligieron 6 predios por municipio, con 2 predios para cada uno de los niveles de tecnificación escogidos.

La técnica de recolección de datos consistió en una encuesta, aplicada personalmente a los representantes de los predios mediante un cuestionario semiestructurado para obtener información sobre los nombres de los plaguicidas usados y sus presentaciones comerciales (% del i.a. en la formulación), dosis, número de aplicaciones y superficie cultivada. El cuestionario se validó por 5 investigadores regionales, expertos en la producción de melón, quienes emitieron su juicio y sugerencias sobre las variables planteadas.

La superficie cultivada en los predios seleccionados fluctuó entre 2 ha y 20 ha con SD-RGr, entre 3 ha y 7 ha con ACn-RGr, y entre 3 ha y 194 ha con ACm-RGt. La diferencia en la superficie cultivada de los predios con ACm-RGt obedece a que, cada vez más, pequeños productores están implementando este sistema de cultivo para la optimización del consumo de agua para riego. En Matamoros-Viesca se sembró en fechas tempranas (enero y febrero) y tardías (julio y agosto). En Tlahualilo sólo se sembró en fechas intermedias (abril) y en Mapimí, en fechas intermedias (mayo) y tardías (junio y julio). En los 19 predios se cultivó el híbrido Crusier y en 13 de ellos también se cultivaron otros híbridos, entre los que destacan los híbridos Expedition y Magno.

Para calcular el impacto ambiental, de los plaguicidas identificados en este estudio, se utilizó

el modelo del CIA. Esta metodología se compone de dos módulos: 1) El valor del CIA, que indica el peligro o potencial inherente del i.a. de un plaguicida específico de causar daño al medio ambiente y la salud humana; y 2) El CIA de uso en campo (CIAC), que considera el valor del CIA y los factores de exposición del plaguicida, para indicar el riesgo de causar un daño real, es decir, el potencial impacto ambiental y sanitario (FAO, 2008).

El valor del CIA se obtiene a partir de un sistema de puntuación y clasificación categórica de 11 parámetros, 6 de toxicidad (crónica, dérmica, en aves, en abejas, en artrópodos benéficos y en peces) y 5 fisicoquímicos (vida media en la superficie de la planta, vida media en el suelo, sistematicidad -modo de acción en la planta-, potencial de lixiviación y potencial de escorrentía en el suelo). Cada uno de estos parámetros recibe una puntuación que los califica con 1, 3 ó 5, para reflejar su potencial daño (categorías de peligro). Seis de estas clasificaciones se basan en propiedades medidas o publicadas en fuentes de datos fidedignas, y las otras 5, en juicio de expertos, según el impacto; bajo, moderado o severo (FAO, 2008).

Los 11 parámetros se utilizan para calcular 8 indicadores que representan el impacto del i.a. en aplicadores, recolectores, consumidores, agua subterránea, peces, aves, abejas y artrópodos benéficos. Los indicadores, posteriormente se agregan para obtener el valor de los 3 componentes de la ecuación del CIA; los trabajadores de campo, los consumidores y el ecológico (Tabla 1) (FAO, 2008).

Dentro de cada componente, los parámetros individuales se ponderan de forma diferente; los de mayor peligro se multiplican por 5, los de peligro medio por 3 y los de menor peligro por 1. En el componente de los trabajadores de campo, la toxicidad dérmica aguda en los aplicadores se multiplica por 5, debido a la mayor probabilidad de exposición al producto concentrado que los recolectores. En el componente de los consumidores, todos los parámetros se multiplican por 1; la toxicidad cró-

■ **Tabla 1. Indicadores y parámetros considerados en la obtención del valor de los componentes de la ecuación del CIA.**

Table 1. Indicators and parameters considered in obtaining the value of the CIA equation components.

Indicadores*	Componentes
$CIA_{aplicadores} = C (DT * 5)$ $+ CIA_{recolectores} = C (DT * P)$	} CIA trabajadores de campo
$CIA_{consumidores} = C [(S+P/2) SY]$ $+ CIA_{agua\ subterránea} = L$	
$CIA_{peces} = F * R$ $+ CIA_{aves} = D * (S+P/2) * 3$ $+ CIA_{abejas} = Z * P * 3$ $+ CIA_{artrópodos\ benéficos} = B * P * 5$	} CIA ecológico

*C = toxicidad crónica; DT = toxicidad dérmica aguda; P = vida media en la superficie de la planta; S = vida media en el suelo; SY = sistematicidad (modo de acción en la planta); L = potencial de lixiviación; F = toxicidad en peces; R = potencial de escorrentía; D = toxicidad en aves; Z = toxicidad en abejas; B = toxicidad en artrópodos benéficos. Modificada a partir de FAO, 2008.

nica, la vida media en el suelo, la vida media en la superficie de la planta y la sistematicidad (capacidad de absorción del plaguicida por la planta) son parámetros de exposición por la ingesta de vegetales con residuos, mientras que el potencial de lixiviación implica la contaminación del agua subterránea de donde se extrae el agua para consumo. En el componente ecológico, la toxicidad en aves y en abejas se multiplica por 3, para denotar la mayor probabilidad de exposición de los organismos terrestres, que los acuáticos, mientras que la toxicidad en artrópodos benéficos se multiplica por 5, por considerar que toda la vida de estos insectos transcurre en el cultivo. Por lo tanto, el peso relativo de los tres componentes en el valor final del CIA es diferente, se le da un mayor peso al componente ecológico, y de este, a los insectos benéficos (Eshenaur y col., 2015).

La ecuación del modelo del CIA promedia los valores de los tres componentes descritos para dar un valor numérico único, como sigue:

$$CIA_{plaguicida} = \frac{CIA_{trabajadores\ de\ campo} + CIA_{consumidores} + CIA_{ecológico}}{3}$$

Los valores del CIA de 484 i.a. se encuentran disponibles en las listas publicadas en el sitio web de la Universidad de Cornell en Nueva York, Estados Unidos. En su última actualización, el valor mínimo del CIA es de 7.33 y el máximo de 101.83 (Eshenaur y col., 2015).

El riesgo de uso en campo, determinado por el valor del CIAC, se calcula multiplicando el valor del CIA del plaguicida por los factores de exposición durante las aplicaciones, estos son: el porcentaje del i.a. en la formulación, la dosis del i.a. (kg/ha o L/ha) y el número de aplicaciones, como sigue:

$$CIAC = (CIA) (\% \text{ de i.a.}) (\text{dosis}) (\text{número de aplicaciones})$$

Posteriormente, para comparar el impacto ambiental (IA) entre diferentes plaguicidas y estrategias de control fitosanitario, se suman los valores del CIAC de todos los plaguicidas

usados durante la temporada de producción para dar el impacto ambiental total (IAT) de cada estrategia, como sigue:

$$IAT = \sum_{i=1}^n CIAC_1 + CIAC_2 + CIAC_3 \dots + CIAC_n$$

Los valores del CIA y del CIAC se pueden obtener introduciendo los datos de la ecuación del CIAC, en el programa de cálculo en línea, disponible en el sitio web de la Universidad de Cornell. Dicho programa contiene los valores actualizados del CIA, incluidos los de muchos i.a. que han entrado en el mercado desde que el modelo fue desarrollado (Esheaur y col., 2015).

En este estudio, los valores del CIA se calcularon introduciendo los siguientes datos de cada i.a. en el programa de cálculo en línea: 1) el nombre, 2) el porcentaje en la formulación y 3) la dosis usada. Posteriormente, se creó una hoja de cálculo en el programa Microsoft Excel para obtener los valores de CIAC y del IAT, considerando el número de aplicaciones de los i.a. utilizados durante todo el ciclo de cultivo, para cada sistema de producción en las áreas de estudio. Para el análisis de los valores del CIA se usó la clasificación referida por Agboyi y col. (2015), que los agrupa en tres niveles de peligro: bajo ($0 \leq CIA \leq 20$), medio ($21 \leq CIA \leq 40$) y alto ($CIA \geq 41$). Con los valores del CIAC y del IAT se comparó numéricamente el impacto ambiental y sanitario entre plaguicidas, sistemas de producción y áreas de estudio.

En las encuestas se registraron 6 i.a., cuyos valores del CIA no se encuentran en el programa de cálculo en línea de la Universidad de Cornell, estos son: oxiclóruo de cobre, kasugamicina, extracto de Neem, extracto de ajo, terpenoides y cobre carboxílico. Los valores del CIA de los primeros cuatro i.a. se calcularon a partir de la información toxicológica y de comportamiento ambiental publicada en las bases de datos de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US EPA, por sus siglas en inglés: United States Environmental Protection Agency) (US EPA, 2017), la

Base de datos de la Red de Acción en Plaguicidas (PAN Pesticides Database, por sus siglas en inglés: Pesticide Action Network) (PAN Pesticides Database, 2017), la Base de Datos sobre Propiedades de los Plaguicidas (PPDB, por sus siglas en inglés: Pesticides Properties Data Base) (PPDB, 2017) y/o la base de datos de la Red de Extensión Toxicológica (EXTOXNET, por sus siglas en inglés: Extension Toxicology Network) (EXTOXNET, 2017). De terpenoides y cobre carboxílico no se encontraron datos, por lo que no se consideraron en el análisis.

RESULTADOS

Tipos y nivel de peligro de los plaguicidas

Durante el periodo de estudio se emplearon 50 i.a., de los cuales, el 54 % son fungicidas (F), bactericidas (B) y fungicidas/bactericidas (F/B). El 44 % son insecticidas (I), insecticidas/acaricidas (I/AC), insecticidas/acaricidas/nematicidas (I/AC/N), inductores de resistencia viral (IRV), reguladores de crecimiento de insectos (RCI), repelentes de insectos (RP). El 2 % restante corresponde al herbicida (H) fluazifop-p-butyl, que sólo se usó en un predio en Matamoros-Viesca. De los 50 i.a., 40 (80 %) se utilizaron en Matamoros-Viesca, 26 (52 %) en Mapimí y 19 (38 %) en Tlahualilo (Tablas 2 y 3).

De acuerdo con la clasificación de los valores del CIA, reportada por Agboyi y col. (2015), el 14 % de i.a. registrados son de peligro alto ($CIA \geq 41$), 65 % de peligro medio ($21 \geq CIA \leq 40$), 18 % de peligro bajo ($0 \geq CIA \leq 20$) y del 4 % no se encontraron datos toxicológicos (SD). Los i.a. de mayor peligro ambiental y sanitario fueron: el fungicida/bactericida sulfato de cobre (61.90); los fungicidas carbendazim (50.50), difenoconazol (41.50) y tebuconazol (40.33); el bactericida estreptomina (45.00); el insecticida/acaricida/nematicida carbofuran (50.67), y el insecticida lambdialotrina (44.17) (Tablas 2 y 3).

Riesgo de uso en campo de los plaguicidas

Al considerar la suma de los valores del CIAC, para obtener el IAT de los i.a. usados en los

■ Tabla 2. Porcentaje de uso a nivel regional, valores del CIA y su nivel de peligro, y valores del IAT en las áreas de estudio de los fungicidas (F) y bactericidas (B) registrados en las encuestas.

Table 2. Percentage of use at the regional level, CIA values and their hazard level, and IAT values in the study areas of the fungicides (F) and bactericides (B) registered in the surveys.

Ingrediente activo	Porcentaje de uso (n = 19)	CIA		IAT		
		Valor	Nivel de peligro	M-V	TL	MP
Clorotalonil (F)	58	37.42	Medio	112.1	28.1	1 990.4
Metalaxil-M (F)	53	19.07	Bajo	21.3	1.1	42.9
Mancozeb (F)	53	25.72	Medio	108.0	119.9	111.4
Oxicloruro de cobre (F)	37	33.30	Medio	81.9	144.6	1.5
Carbendazim (F)	37	50.50	Alto	265.9	31.6	138.9
Propiconazol (F)	32	31.63	Medio	11.9	2.0	36.4
Azufre elemental (F)	32	32.66	Medio	29.4	-	460.4
Tiabendazol (F)	32	31.04	Medio	102.4	-	9.3
Benomil (F)	26	30.24	Medio	-	45.4	275.9
Oxitetraciclina (B)	21	21.67	Medio	3.3	3.8	8.7
Estreptomina (B)	16	45.00	Alto	12.2	8.3	-
Miclobutanil (F)	11	24.01	Medio	-	-	4.1
Cymoxanil (F)	11	35.48	Medio	-	-	8.5
Difenoconazol (F)	11	41.50	Alto	10.4	-	-
Dimetomorf (F)	11	24.01	Medio	10.3	-	2.4
Captan (F/B)	11	15.77	Bajo	-	-	145.9
Iprodiona (F)	5	24.25	Medio	-	-	12.1
Sulfato de cobre (F/B)	5	61.90	Alto	-	-	59.5
Azoxistrobin (F)	5	26.92	Medio	-	14.8	-
Quinoxifen (F)	5	32.00	Medio	-	12.0	-
Tebuconazol (F)	5	40.33	Medio	25.2	-	-
Pirimetanil (F)	5	12.67	Bajo	30.3	-	-
Piraclostrobin (F)	5	27.01	Medio	16.2	-	-
Tiofanato metílico (F)	5	23.82	Medio	33.3	-	-
Propamocarb (F)	5	23.89	Medio	16.6	-	-
Kasugamicina (F/B)	5	10.30	Bajo	0.7	-	-
Cobre carboxílico (F)	5	SD*	-	-	-	-
Total				891.4	411.6	3 308.3

*Sin datos; M-V: Matamoros-Viesca; TL: Tlahualilo; MP: Mapimí.

sistemas de producción, en las áreas de estudio, durante todo el ciclo agrícola, se registró que los i.a que contribuyeron con la mayor carga ambiental fueron: clorotalonil (1 990.4), azufre elemental (460.4) y endosulfan (389.0) en Mapimí; carbofuran (403.5), endosulfan (383.3) y carbendazim (265.9) en Matamoros-Viesca; y oxicloruro de cobre (144.6), endosulfan (121.4) y mancozeb (119.9) en Tlahualilo (Tablas 2 y 3).

Los resultados de este trabajo muestran que la toxicidad inherente de un plaguicida, considerado como el nivel de peligro, difiere de su

riesgo potencial de daño al medio ambiente y la salud humana cuando se consideran factores de exposición o variables de uso en campo (porcentaje de i.a. en la formulación, la dosis y el número de aplicaciones). En la Tabla 4 se observan los i.a. de nivel de peligro medio, como endosulfan, que se empleó al 35 % en una dosis promedio de 1 L/ha en el 71 % de los programas, en Matamoros-Viesca, en 67 % en Tlahualilo y en 67 % en Mapimí. Sin embargo, los valores del CIAC en Tlahualilo (30.4) y en Mapimí (47.2) fueron mayores que el de Matamoros-Viesca (24.6), donde se utili-

■ Tabla 3. Porcentaje de uso a nivel regional, valores del CIA y su nivel de peligro, y valores del IAT en las áreas de estudio de los insecticidas (I) registrados en las encuestas.

Table 3. Percentage of use at the regional level, CIA values and their hazard level, and IAT values in the study areas of the insecticides (I) registered in the surveys.

Ingrediente activo	Porcentaje de uso (n = 19)	CIA		IAT		
		Valor	Nivel de peligro	M-V	TL	MP
Endosulfan (I/AC)	68	38.55	Medio	383.3	121.4	389.0
Carbofuran (I/AC/N)	58	50.67	Alto	403.5	35.5	106.4
Imidacloprid (I)	47	36.71	Medio	59.7	3.2	9.0
Metamidofos (I/AC)	42	36.83	Medio	212.1	44.2	132.6
Tiametoxam (I)	26	33.30	Medio	27.4	-	3.3
Betaciflutrin (I)	26	31.57	Medio	2.8	2.0	3.3
Dimetoato (I/AC)	26	33.49	Medio	12.0	80.4	40.2
Cipermetrina (I)	16	36.35	Medio	3.6	3.6	21.8
Lambdacialotrina (I)	16	44.17	Alto	7.5	-	-
Clorpirifos etil (I)	16	26.85	Medio	47.3	-	-
Amitraz (I/AC)	11	25.17	Medio	10.1	3.8	-
Malation (I/AC)	11	23.80	Medio	39.8	-	6.8
Clorantraniliprol (I)	11	18.34	Bajo	3.2	-	-
Permetrina (I)	11	29.33	Medio	5.3	-	-
Extracto de Neem (RCI)	11	6.60	Bajo	7.7	-	-
Extracto de ajo (RP)	11	6.60	Bajo	11.6	-	-
Acetamiprid (I)	5	28.73	Medio	1.4	-	-
Spinosad (I)	5	14.38	Bajo	0.9	-	-
Spinetoram (I)	5	27.78	Medio	1.7	-	-
Abamectina (I/AC/N)	5	34.68	Medio	0.4	-	-
Ciromazina (RCI)	5	18.29	Bajo	4.6	-	-
Terpenoides (IRV)	5	SD*	-	-	-	-
Total				1245.9	294.1	712.4

*Sin datos; M-V: Matamoros-Viesca; TL: Tlahualilo; MP: Mapimí; AC: acaricidas; N: nematocidas; RCI: reguladores de crecimiento de insectos; RI: repelente de insectos; IRV: inductores de resistencia viral.

zó en más programas. Esto, debido al mayor número promedio de aplicaciones en Tlahualilo (2.3) y Mapimí (3.5), respecto a Matamoros-Viesca (1.9). Por otro lado, mancozeb en Tlahualilo, así como clorotalonil y azufre elemental en Mapimí, se emplearon en productos con diferentes concentraciones del i.a. en la formulación, y se realizaron más aplicaciones de los productos con la concentración del i.a. más alta. El oxiclورو de cobre también se utilizó en productos con diferentes concentraciones de i.a. en Tlahualilo. En este caso, el valor del CIAC más alto (31.2) dependió más del uso de mayores dosis promedio (1.25 kg/ha) de los productos con la concentración de i.a. más alta (50 %), que del número de aplicaciones.

Respecto a los i.a. de peligro alto, carbofuran al 35 % y carbendazim al 50 % se utilizaron en el 100 % y el 29 % de los programas en Matamoros-Viesca, respectivamente. Sin embargo, el valor del CIAC de carbendazim (42.6), fue mayor que el de carbofuran (22.6), debido a una mayor cantidad de i.a. en la formulación y a un mayor número de aplicaciones de carbendazim (1.5) que de carbofuran (1.0).

Impacto ambiental total (IAT) por uso de plaguicidas

El IAT, por uso de plaguicidas, se relacionó de forma directa con el consumo de plaguicidas (cantidad de i.a. en kg/ha) y varió notablemente entre sistemas de producción, fechas de siembra y áreas de estudio. En la Tabla 5

■ Tabla 4. Porcentaje de uso y valores promedio de las variables de uso en campo de los ingredientes activos con la mayor carga ambiental en las áreas de estudio.

Table 4. Percentage of use and average variables values of the of field use of the active ingredients with the greatest environmental burden in the study areas.

Ingrediente activo	Porcentaje de uso (n = 19)	CIA	Factores de exposición			CIAC
			% i.a. en la formulación	Dosis*	Número de aplicaciones	
Matamoros-Viesca (n = 7)						
Carbendazim	29	50.50	50	1.1	1.5	42.6
Endosulfan	71	38.55	35	1.0	1.9	24.6
Carbofuran	100	50.67	35	1.2	1.0	22.6
Tlahualilo (n = 6)						
Mancozeb	67	25.72	80	0.7	1.5	21.2
			64	1.5	1.0	24.7
			30	1.0	1.0	7.7
				Suma de promedios		53.6
Oxícloruro de cobre	67	33.30	50	1.25	1.5	31.2
			23	1.0	1.0	7.7
			13	1.0	2.0	8.8
				Suma de promedios		47.7
Endosulfan	67	38.55	35	1.0	2.3	30.4
Mapimí (n = 6)						
Clorotalonil	100	37.42	72	1.3	2.8	86.7
			50	1.0	1.0	18.7
			40	0.7	2.6	30.3
				Suma de promedios		135.7
Azufre elemental	83	32.66	73	1.0	2.6	60.5
			69	1.0	1.0	22.4
				Suma de promedios		82.9
Endosulfan	67	38.55	35	1.0	3.5	47.2

*L/ha o kg/ha

se muestra que el consumo de plaguicidas y los valores del IAT en Mapimí fueron aproximadamente el doble que en Matamoros-Viesca en fechas de siembra tardías, y en estas mismas fechas de siembra, en Matamoros-Viesca, fueron aproximadamente el doble que en Tlahualilo en siembras intermedias (Tabla 5).

En Mapimí, los sistemas de producción con ACn-RGr y SD-RGr ejercieron mayor presión ambiental que aquellos con ACm-RGt. Los valores de IAT variaron de 199 a 500 unidades, en fechas de siembra intermedias y de 201 a 721 unidades, en fechas tardías (Tabla 5).

En esta área de producción, la utilización de fungicidas superó con mucho al de insecticidas (Tablas 2 y 3). Además, el IAT fue mayor, ya que el clorotalonil, por sí sólo, contribuyó con el 49 % de la carga ambiental total en el área, seguido por el azufre elemental con el 11 % (Tabla 2), mientras que el insecticida endosulfan aportó el 10 % (Tabla 3).

En Matamoros-Viesca, el IAT generado en los sistemas de producción con ACm-RGt fue mayor que los sistemas con ACnRGr. Asimismo, los valores del IAT variaron en forma considerable entre fechas de siembra; de 35 a 169 en

■ Tabla 5. Consumo de ingredientes activos de los plaguicidas y su contribución a los valores del IAT de los sistemas productivos de melón en las áreas de estudio.

Table 5. Pesticide consumption and its contribution to the IAT values of the melon production systems in the study areas.

Área de producción	Sistema de producción	Unidad de producción	Fecha de siembra			
			Consumo de i.a. (kg/ha)		IAT	
Matamoros-Viesca	ACm-RGt	M-V 1	Temprana	Tardía	Temprana	Tardía
		M-V 2	1.96	11.57	78	383
		M-V 3	4.44	6.41	169	171
		M-V 4	6.02	N.S.	166	N.S.
	ACn-RGr	M-V 5	2.52	7.99	108	260
		M-V 6	2.92	4.59	104	135
		M-V 7	0.70	4.15	35	132
		Total	2.06	6.98	107	296
			20.62	41.69	767	1 377
Tlahualilo	ACm-RGt	TL 1	Intermedia		Intermedia	
		TL 2	7.65		240	
		TL 3	3.10		113	
		TL 4	4.21		99	
	SD-RGr	TL 5	3.20		104	
		TL 6	1.24		53	
		Total	3.08		97	
					22.48	706
Mapimí	ACm-RGt	MP 1	Intermedia	Tardía	Intermedia	Tardía
		MP 2	5.49	13.83	199	504
		MP 3	6.22	7.23	201	249
		MP 4	20.50	27.16	500	721
	SD-RGr	MP 5	5.16	6.69	219	243
		MP 6	N.S.*	8.50	N.S.	201
		Total	10.25	24.00	363	630
					47.62	87.41

*N.S.: No se sembró; M-V: Matamoros-Viesca; TL: Tlahualilo; MP: Mapimí.

siembras tempranas y de 132 a 383 en siembras tardías (Tabla 5). En esta zona de producción, se usaron más insecticidas que fungicidas (Tablas 2 y 3). También el IAT fue mayor, ya que carbofuran y endosulfan contribuyeron con el 19 % y 18 % (Tabla 3), respectivamente, de la carga ambiental total en el área, mientras que el fungicida carbendazim lo hizo con el 12 % (Tabla 2).

En Tlahualilo, los sistemas de producción con el mayor potencial de daño a los ecosistemas, por utilización de plaguicidas, fueron los sistemas con ACm-RGt, seguidos por aquellos con

ACn-RGr y SD-RGr. Los valores del IAT variaron de 53 a 240 en siembras intermedias (Tabla 5). En estos sitios de producción, el uso de fungicidas y bactericidas fue mayor que el de insecticidas (Tablas 2 y 3). Además, el IAT fue mayor, toda vez que el oxiclورو de cobre y mancozeb, contribuyeron con el 20 % y 17 % (Tabla 2), respectivamente, de la carga ambiental total en el área, mientras que el insecticida endosulfan colaboró con el 17 % (Tabla 3).

DISCUSIÓN

Los resultados de este trabajo revelaron diferencias considerables en el nivel de peligro y

riesgo del uso en campo de los plaguicidas utilizados en las áreas de estudio. De acuerdo con los valores promedio del CIAC (Tabla 4), en Matamoros-Viesca, carbendazim (42.6) y carbofuran (22.6), dos plaguicidas definidos por su CIA de peligro alto (50.50 y 50.67, respectivamente), contribuyeron con la mayor carga ambiental en la zona (carbendazim: 265.9 y carbofuran: 403.5; Tablas 2 y 3). En cambio, en Mapimí, carbofuran significó de 3 a 6 veces menor riesgo de uso en campo que otros definidos por su CIA de peligro medio, clorotalonil (135.7) y azufre elemental (82.9), debido a que estos se emplearon con mayor frecuencia. Mientras que carbendazim representó menor riesgo de 1 a 2 veces que los plaguicidas mencionados. Asimismo, en Tlahualilo, mancozeb (53.6) y oxiclورو de cobre (47.7), también definidos por su CIA de peligro medio, significaron mayor riesgo que carbendazim y carbofuran en Matamoros-Viesca. Esto como consecuencia, en algunos casos, del manejo preferente de productos con la concentración de i.a. más alta, y en otros, a un mayor número de aplicaciones de los plaguicidas menos tóxicos, al igual que en Mapimí. Resultados similares fueron reportados por Kromann y col. (2011), quienes utilizaron el modelo del CIA para estimar el daño ambiental por uso de plaguicidas en el cultivo de papa en 3 regiones agrícolas de Perú y 2 en Ecuador, y por Deihimfard y col. (2014), en los cultivos de trigo, cebada, arroz, maíz, pistachos y palmeras datileras en 28 provincias de Irán.

Es conveniente dar la misma importancia a los diferentes niveles de peligro, para la implementación de prácticas agrícolas sustentables en la producción de melón, toda vez que, el peligro de un plaguicida muy tóxico, como carbofuran y carbendazim, tiene mayor relevancia cuando ocurre una exposición accidental a formulaciones no diluidas, en la mezcla o durante las aplicaciones, debido a un efecto casi inmediato, que se manifiesta como toxicidad aguda en los trabajadores de campo. Mientras que el riesgo social y ambiental por el uso intensivo de plaguicidas menos tóxicos, como clorotalonil, mancozeb, oxiclورو de cobre y

azufre elemental, resulta de la suma de las aplicaciones durante el cultivo y a través de los años, con efectos devastadores a mediano y largo plazo, como graves enfermedades crónicas en todos los grupos de la población, pérdida de la biodiversidad y degradación del medio ambiente (March, 2014; Ibrahim, 2016).

La variabilidad en los valores del IAT entre las áreas de producción está principalmente relacionada con las fechas de siembra establecidas en cada una de ellas (tempranas y tardías en Matamoros-Viesca, intermedias en Tlahualilo, e intermedias y tardías en Mapimí), puesto que como se muestra en la Tabla 5, en Matamoros-Viesca y Mapimí, la cantidad total de plaguicidas aplicados al cultivo, casi se duplicó en fechas tardías comparadas con las tempranas e intermedias, respectivamente. Esto obedece a que, en la región, la incidencia y la severidad en el grado de infestación de las plagas y las enfermedades aumentan a medida que el cultivo se establece más tarde, lo que conlleva al incremento en el número de aplicaciones para combatirlas (Nava y col., 2007). En dicho contexto, entre las enfermedades fungosas más problemáticas en la región, el tizón foliar se presenta con mayor incidencia y severidad en fechas de siembra tempranas, mientras que la cenicilla causa más daños en fechas intermedias y especialmente en las tardías (Chew-Madinaveitia y col., 2008). Las plagas insectiles y las enfermedades virales, principalmente la mosquita blanca y el virus del amarillamiento y achaparramiento de las cucurbitáceas, transmitido por este mismo insecto, cobran mayor importancia en fechas de siembra intermedias y se agravan en fechas tardías (Nava y col., 2007).

En cuanto a las diferencias en los valores del IAT, entre los sistemas productivos, en las áreas de estudio, en Matamoros-Viesca y Tlahualilo los predios con ACm-RGt obtuvieron los valores más altos en sus respectivas fechas de siembra (Tabla 5). Estos resultados coinciden con los reportados por Ramírez y Jacobo (2002), quienes encontraron una relación directa entre el nivel de tecnificación y el impacto am-

biental generado, en huertos de manzano con distintos niveles de tecnificación, como consecuencia de un mayor gasto en plaguicidas para el control fitosanitario de los huertos. Contrario a lo anterior, en Mapimí, los sistemas con ACm-RGt generaron los valores del IAT más bajos, en fechas intermedias, lo cual obedece a que, en esta área de producción, la comercialización del producto en los predios altamente tecnificados está cada vez más dirigida hacia cadenas de supermercados, bajo el esquema de agricultura por contrato (Espinoza y col., 2011). Por ello, para cumplir con los estándares de calidad exigidos, se hace un uso más racional de los plaguicidas, mediante la adecuada implementación del Manejo Integrado de Plagas (MIP) (Nava y col., 2007).

Por otro lado, en Mapimí se identificaron los sistemas de producción con los valores de IAT más altos; 721 con ACn-RGr y 630 con SD-RGr, en fechas tardías (Tabla 5). Esto como consecuencia del uso abusivo de fungicidas, principalmente del clorotalonil, que contribuyó con el 49 % del valor del IAT en el área (Tabla 2). Dicho comportamiento puede atribuirse a que las enfermedades fungosas representan un peligro latente para la producción de melón en todas las fechas de siembra, lo que propicia que los productores realicen aplicaciones preventivas con fungicidas, por temor a la ocurrencia de infecciones incontrolables.

En la actualidad, el uso intensivo de plaguicidas es uno de los principales factores que amenaza la competitividad del melón de la Comarca Lagunera en el mercado nacional e internacional, debido a mayores exigencias en la calidad sanitaria de los frutos y la obtención de certificaciones en inocuidad de los cultivos (SAGARPA, 2012). También amenaza la productividad, ya que desalienta a los productores, potenciales y activos, por los altos costos de producción que les genera un gasto excesivo en agroquímicos (Espinoza y col., 2009). La identificación de estas y otras amenazas, han llevado a un grupo de productores regionales, profesionales técnicos, funcionarios del gobierno local y representantes de

empresas proveedoras de agro-insumos a definir estrategias para mejorar la productividad y la competitividad de la cadena productiva del melón en la Comarca Lagunera (Espinoza y col., 2017). Las estrategias que, implícitamente, pueden contribuir a reducir el manejo de plaguicidas incluyen la capacitación a los productores en Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) y Buenas Prácticas de Manufactura (BPM) (Espinoza y col., 2011). También la transferencia del paquete tecnológico que contempla el empleo de MIP (Nava y col., 2007), uso de injertos (Gaytán y col., 2012), manejo de túneles y acolchados (Daza-Hurtado y col., 2001), y riego por goteo (Espinoza y col., 2010). Y finalmente, el establecimiento de alianzas con instituciones académicas y de investigación, para el apoyo en capacitación y transferencia de tecnologías e innovaciones (Espinoza y col., 2017).

Las estrategias definidas en el reporte de Espinoza y col. (2017) tienen como objetivo fundamental mantener la rentabilidad de la producción de melón en la Comarca Lagunera y se justifican por la gran cantidad de empleos directos e indirectos que se generan durante y después del cultivo. En dichas estrategias se deja muy clara la necesidad de comunicar y crear conciencia, sobre los potenciales efectos adversos de los plaguicidas en la salud humana y el medio ambiente.

Para reducir los riesgos de los plaguicidas es necesario contar con una métrica común para evaluar y comparar futuros cambios en el empleo de plaguicidas (FAO, 2008). En este sentido, diversos investigadores en el mundo han utilizado al modelo del CIA para este propósito. Ioriatti y col. (2011), lo usaron para estimar los cambios en el riesgo de los plaguicidas en la producción de manzanas en la región de Trentino de Italia, entre 2001 y 2009. Ellos reportaron una disminución del impacto ambiental del 23 % y el 24 %, y concluyeron que los resultados se debieron al manejo de i.a. más selectivos y efectivos, la introducción de nueva tecnología en equipos de aplicación y calibración periódica obligatoria

de pulverizadores, y el uso generalizado de huertos enanos (mejoras en las técnicas agronómicas). Cross (2013) encontró que el impacto ambiental por plaguicidas, en la producción de frutales en Gran Bretaña, disminuyó en un 21 %, de 1991 a 2008, y concluyó que esta disminución se logró debido a la sustitución de sustancias tóxicas por productos más benignos, como consecuencia de la implementación eficaz de la nueva legislación.

Biddinger y col. (2014) emplearon el modelo del CIA, para evaluar el impacto ambiental y la respuesta de la comunidad de artrópodos al uso mínimo de plaguicidas organofosforados, en la producción de duraznos, en Pensilvania, E.U.; encontraron que, de 2002 a 2005, la cantidad de i.a. utilizados y los valores del CIA fueron sustancialmente más bajos en los programas de riesgo reducido de manejo de plagas, en comparación con los programas de rociado convencionales. Concluyeron que los programas de riesgo reducido no solo brindan un control comparable al de los programas convencionales, sino que, también reducen los efectos ambientales negativos, mientras se conservan los agentes clave de control biológico de artrópodos dentro de los huertos.

Deihimfard y col. (2014), usaron el modelo del CIA para clasificar el riesgo inherente de 48 insecticidas empleados en 28 provincias iraníes y para evaluar su impacto ambiental en el campo y las escalas provinciales de 2001 a 2005. Los puntajes más altos de CIAC se debieron a una mayor utilización (cantidad de ingrediente activo), en lugar de una mayor toxicidad de los insecticidas. El mayor uso de insecticidas no se relacionó con el aumento en el área cultivada, sino con el tipo de cultivo (pistachos, verduras), equipos de pulverización inadecuados y prácticas de almacenamiento inadecuadas, los cuales son problemas comunes en los países en desarrollo.

De esta forma, los resultados reportados en el presente estudio, pueden servir como una línea de base, para evaluar y comparar los logros de las estrategias tendientes a reducir los riegos de los plaguicidas en la producción de melón en la Comarca Lagunera, a través de los años. El modelo del CIA permitió estimar, categorizar y evaluar el nivel de peligro y riesgo de uso en campo (CIAC) de los plaguicidas utilizados, así como su contribución a la carga ambiental total (IAT) entre las áreas de estudio. Estos indicadores proporcionan una escala cuantificable que simplificaría el proceso de evaluación del riesgo de los plaguicidas, ya que como se ha demostrado, cuando se calculan repetidamente los resultados, pueden ser útiles para mostrar tendencias en el tiempo, con respecto al efecto combinado de la reducción de la utilización de plaguicidas, la selección de productos menos tóxicos, los nuevos métodos de manejo de plagas y tecnologías de producción, las mejoras en las prácticas de uso de plaguicidas, y la capacitación a los productores.

CONCLUSIONES

El modelo del CIA permitió identificar los plaguicidas que ejercen el mayor impacto ambiental adverso en las principales áreas de producción de melón en la Comarca Lagunera: clorotalonil, azufre elemental y endosulfan en Mapimí; carbendazim, endosulfan y carbofuran, en Matamoros-Viezca, y mancozeb, oxiclورو de cobre y endosulfan en Tlahualilo. Los sistemas de producción que generan la mayor presión ambiental son ACn-RGr y ACm-RGt. Además, el CIA proporciona una escala cuantificable que permitirá evaluar futuros cambios en el uso regional de plaguicidas.

REFERENCIAS

- Agboyi, L. K., Djade, K. M., Ahadji-Dabla, K. M., Ketoh, G. K., Nuto, Y., and Glitho, I. A. (2015). Vegetable production in Togo and potential impact of pesticide use practices on the environment. *International Journal of Biological and*

Chemical Sciences. 9(2):723-736.

Arora, S., Kanojia, A. K., Kumar, A., Sardana, H. R., and Sarkar, S. K. (2012). Impact of biopesticide formulation on tomato (*Lycopersicon esculentum*): economics and environmental effects. *The Indian Journal of Agricultural Sciences*. 82(12): 67-70.

Ávila, K., Chaparro-Giraldo, A., and Reyes, G. (2011). Environmental effect of conventional and GM crops of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) and corn (*Zea mays* L.). *Agronomía Colombiana*. 29(3): 341-348.

Biddinger, D. J., Leslie, T. W., and Joshi, N. K. (2014). Reduced-risk pest management programs for Eastern US peach orchards: effects on arthropod predators, parasitoids, and select pests. *Journal of Economic Entomology*. 107(3): 1084-1091.

Chen, X. D., Gill, T. A., Pelz-Stelinski, K. S., and Stelinski, L. L. (2017). Risk assessment of various insecticides used for management of Asian citrus psyllid, *Diaphorina citri* in Florida citrus, against honey bee. *Apis mellifera*. *Ecotoxicology*. 26(3): 351-359.

Chew-Madinaveitia, Y. I., Vega-Piña, A., Palomo-Rodríguez, M. y Jiménez-Díaz, F. (2008). Enfermedades del melón (*Cucumis melo* L.) en diferentes fechas de siembra en la Región Lagunera. México. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*. 7(2): 133-138.

Cross, P. (2013). Pesticide hazard trends in orchard fruit production in Great Britain from 1992 to 2008: a time-series analysis. *Pest Management Science*. 69(6): 768-774.

Daza-Hurtado, G., Trejo-Calzada, R. y Martínez-Saldaña, J. (2001). Producción de melón (*Cucumis melo* L.) bajo acolchado y microtúneles en la Comarca Lagunera. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*. 2(1): 43-47.

Deihimfard, R., Soufizadeh, S., Moinoddini, S. S., Kambouzia, J., Zand, E., Damghani, A. M., ..., and Saberpour, L. (2014). Evaluating risk from insecticide use at the field and regional scales in Iran. *Crop Protection*. 65: 29-36.

Eshenaur, B., Grant, J., Kovach, J., Petzoldt, C., Degni, J., and Tette, J. (2015). Environmental Impact Quotient: "A Method to measure the environmental impact of pesticides. [En línea]. Disponible en: <https://nysipm.cornell.edu/eiq/calculator-field-use-eiq/>. Fecha de consulta: 15 de junio de 2017.

Espinoza, A. J. J., López, R. M. G. y Ruiz, T. J. (2010). Factibilidad técnica y económica del establecimiento del cultivo del melón con riego por goteo en el municipio de Mapimí, Durango, México. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*. 9(2): 91-97.

Espinoza, A. J. J., Lozada-Cota, M. y Leyva-Nájera, S.

(2011). Posibilidades y restricciones para la exportación de melón cantaloupe producido en el municipio de Mapimí, Dgo., México al mercado de los Estados Unidos. *Revista Mexicana de Agronegocios*. 15(28): 593-604.

Espinoza, A. J. J., Ramírez, M. A., Guerrero, R. L. A. y López C. S. (2017). Estrategias, alianzas y portafolio de negocios para desarrollar la competitividad del cultivo del melón en la Comarca Lagunera, México. *Nova Scientia*. 9(19): 441-463.

Espinoza, A. J. J., Salinas, G. H., Orona, C. I. y Palomo, R. M. (2009). Planeación de la investigación del INIFAP en la Comarca Lagunera en base a la situación de mercado de los principales productos agrícolas de la región. *Revista Mexicana de Agronegocios*. 13(24): 758-773.

EXTOXNET, The Extension Toxicology Network (2017). Pesticide Information Profiles (PIPs). [En línea]. Disponible en: <http://extoxnet.orst.edu/pips/ghindex.html>. Fecha de consulta: 30 de junio de 2017.

FAO, Food and Agriculture Organization (2008). Guidance document No 2: Guidance on the use of environmental impact quotient in IPM impact assessment series. [En línea]. Disponible en: <http://v1.vegetableipmasia.org/docs/EIQ%20Review%20Fin.pdf>. Fecha de consulta: 21 de enero de 2017.

Feola, G., Rahn, E., and Binder, C. R. (2011). Suitability of pesticide risk indicators for less developed countries: a comparison. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 142(3-4): 238-245.

Gaytán, M. A., Chew, M. Y. I., Espinoza, A. J. J., Reta, S. D. G. y Reyes, J. I. (2012). Efecto del injerto y uso de microtúneles más ambiente natural en el rendimiento de sandía en la Región Lagunera. *Agrofaz*. 12(4): 73-78.

González, H. (2014). Specialization on a global scale and agrifood vulnerability: 30 years of export agriculture in Mexico. *Development Studies Research. An Open Access Journal*. 1(1): 295-310.

Guigón-López, C. y González-González, P. A. (2007). Manejo de plagas en el cultivo de chile y su impacto ambiental en la zona agrícola de Jiménez-Villa López, Chihuahua, México. *Tecnociencia Chihuahua*. 1(2): 36-46.

Ibrahim, Y. A. (2016). Health and environmental impacts of pesticides: A responsibility principle and two novel systems for hazard classification and external cost determination. *Journal of Toxicology and Health*. 3(1): 1-9.

Ioriatti, C., Agnello, A. M., Martini, F., and Kovach, J. (2011). Evaluation of the environmental impact of apple pest control strategies using pesticide risk indicators. *Integrated Environmental Assessment and Management*. 7(4): 542-549.

- Kniss, A. R. and Coburn, C. W. (2015). Quantitative evaluation of the environmental impact quotient (EIQ) for comparing herbicides. *PloS One*. 10(6): 1-13.
- Kromann, P., Pradel, W., Cole, D., Taipe, A., and Forbes, G. A. (2011). Use of the environmental impact quotient to estimate health and environmental impacts of pesticide usage in Peruvian and Ecuadorian potato production. *Journal of Environmental Protection*. 2(5): 581-591.
- March, G. J. (2014). Agricultura y plaguicidas: Un análisis global (No. 632.95). Fundación Agropecuaria para el Desarrollo de Argentina (FADA). [En línea]. Disponible en: <http://fundacionfada.org/informes/agricultura-y-plaguicidas-un-analisis-global/>. Fecha de consulta: 15 de junio de 2017.
- Nava-Camberos, U., Chew-Madinaveitia, Y. I. y Cano-Ríos, P. (2007). Etiología, epidemiología y manejo del amarillamiento del melón en la Comarca Lagunera. En L. A. Maldonado-Navarro y G. A. Fierros-Leyva (Eds.), *Estrategias de Manejo Integrado de Mosquita Blanca y Virosis en Cucurbitáceas* (pp. 10-28), Sonora, México: Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación/Instituto de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias.
- Notarnicola, B., Sala, S., Anton, A., McLaren, S. J., Saouter, E., and Sonesson, U. (2017). The role of life cycle assessment in supporting sustainable agri-food systems: A review of the challenges. *Journal of Cleaner Production*. 140: 399-409.
- Ordoñez-Beltrán, M. F., Jacobo-Cuéllar, J. L., Quintana-López, E., Parra-Quezada, R. Á., Guerrero-Prieto, V. M. y Ríos-Velasco, C. (2016). Pulgón lanígero e impacto ambiental por el uso de pesticidas en manzano en Chihuahua, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 7(3): 573-583.
- PAN, Pesticides Database, Pesticide Action Network Pesticides Database (2017). Alphabetic List of All Chemicals in the PAN Pesticides Database. Disponible en: http://www.pesticideinfo.org/List_ChemicalsAlpha.jsp. Fecha de consulta: 30 de junio de 2017.
- Pérez-Olvera, M. A., Navarro-Garza, H., and Miranda-Cruz, E. (2011). Use of pesticides for vegetable crops in Mexico. In M. Stoytcheva (Ed.), *Pesticides in the Modern World-Pesticides Use and Management* (pp. 97-118). Rijeka, Croatia: InTech.
- PPDB, Pesticide Properties DataBase (2017). A to Z List of Active Ingredients. [En línea]. Disponible en: <https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/atoz.htm>. Fecha de consulta: 30 de junio de 2017.
- Ramírez-Barraza, B. A., García-Salazar, J. A. y Morales-Flores, J. S. (2015). Producción de melón y sandía en la Comarca Lagunera: un estudio de planeación para reducir la volatilidad de precios. *Ciencia Ergo Sum*. 22(1): 45-53.
- Ramírez, M. R. y Jacobo, J. L. (2002). Impacto ambiental del uso de plaguicidas en huertos de manzano del noroeste de Chihuahua, México. *Revista Mexicana de Fito patología*. 20(2): 168-173.
- SAGARPA, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (2012). Plan Rector Sistema Nacional Producto Melón, en *Documento validado por el comité sistema producto melón*. [En línea]. Disponible en: http://dev.pue.itesm.mx/sagarpa/nacionales/EXP_CNISP_MELON/PLAN%20RECTOR%20QUE%20CONTIENE%20PROGRAMA%20DE%20TRABAJO%202012/PR_CNISP_%20MELON_%202012.pdf. Fecha de consulta: 30 de junio de 2017.
- Sarwar, M. (2015). The killer chemicals as controller of agriculture insect pests: The conventional insecticides. *International Journal of Chemical and Biomolecular Science*. 1(3): 141-147.
- SEMARNAT, Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (2014). Programa para mejorar la calidad del aire en la región de la Comarca Lagunera 2010-2015. [En línea]. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/69302/1_ProAire_Comarca_Lagunera_2010-2015.pdf. Fecha de consulta: 10 de junio de 2017.
- SIAP-SAGARPA, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera/Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (2017). Avance de siembras y cosechas. Resumen nacional por estado. [En línea]. Disponible en: http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/AvanceNacionalCultivo.do Fecha de consulta: 3 de abril de 2017.
- Storck, V., Karpouzias, D. G., and Martin-Laurent, F. (2017). Towards a better pesticide policy for the European Union. *Science of the Total Environment*. 575: 1027-1033.
- US EPA, United States Environmental Protection Agency (2017). Databases Related to Pesticide Risk Assessment. [En línea]. Disponible en: <https://www.epa.gov/pesticide-science-and-assessing-pesticide-risks/databases-related-pesticide-risk-assessment>. Fecha de consulta: 2 de julio de 2017.
- Vargas-González, G., Alvarez-Reyna, V. D. P., Guigón-López, C., Cano-Ríos, P., Jiménez-Díaz, F., Vásquez-Arroyo, J. y García-Carrillo, M. (2016). Patrón de uso de plaguicidas de alto riesgo en el cultivo de melón (*Cucumis melo* L.) en la Comarca Lagunera. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*. 3(9): 367-378.

4. CONCLUSIÓN GENERAL

La producción de melón en la Comarca Lagunera se realiza con una gran variedad de plaguicidas. El uso predominante e incorrecto de los insecticidas endosulfan (organoclorado), carbofuran (carbamato), imidacloprid (neonicotinoide) y metamidofos (organofosforado), y los fungicidas clorotalonil (cloronitrilo), y mancozeb (carbamato), implica riesgos sanitarios y ambientales para la región. El modelo del CIA permitió determinar el mayor impacto ambiental adverso de los plaguicidas usados en las principales áreas de producción: clorotalonil, azufre elemental y endosulfan en Mapimí; carbendazim, endosulfan y carbofuran, en Matamoros-Viesca; mancozeb, oxiclورو de cobre y endosulfan en Tlahualilo. Los sistemas de producción que generan la mayor presión ambiental son: acolchado en canal con riego por gravedad y acolchado en cama con riego por goteo. Además, el CIA proporciona una escala cuantificable que permitirá evaluar futuros cambios en el patrón de uso regional de plaguicidas.

Ante este panorama, es necesario fomentar tres aspectos que lleven al uso correcto de los plaguicidas químicos en la región: practicar alternativas de control fitosanitario que disminuyan el uso de plaguicidas sintéticos en los sistemas de producción, vigilar la aplicación de la regulación vigente, y evitar el uso de Plaguicidas Altamente Peligrosos y promover su prohibición en México.

5. REFERENCIAS

- Abdelraheem, E. M., Hassan, S. M., Arief, M. M., & Mohammad, S. G. (2015). Validation of quantitative method for azoxystrobin residues in green beans and peas. *Food Chem*, *182*, 246-250.
- Agboji, L. K., Djade, K. M., Ahadji-Dabla, K. M., Ketoh, G. K., Nuto, Y., & Glitho I. A. (2015). Vegetable production in Togo and potential impact of pesticide use practices on the environment. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, *9*(2), 723-736.
- Agencia de Servicios a la Comercialización y Desarrollo de Mercados Agropecuarios (2000, 10 de abril). El Melón Mexicano: Ejemplo de Tecnología Aplicada. *Revista Claridades Agropecuarias No. 84*. Recuperado de <https://www.gob.mx/aserca/documentos/revista-claridades-agropecuarias?state=published>
- Agrochemical Consulting and Registration Office (2021). Russian Agrochemical Consulting and Registration Office. Recuperado de <http://polgar-acro.eu/news/changes-in-procedures-for-registration-in-the-russian-federation/>
- Akashé, M. M., Pawade, U. V., & Nikam, A. V. (2018). Classification of pesticides: A review. *Int. J. Res. Ayurveda Pharm*, *9*(4).
- Alarcón, V. A. L., & Fuentes, P. S. (2017). Hortalizas aprovechables por sus frutos: Melón. En J. V. Maroto-Borrego, & C. Baixauli-Soria (Coords.), *Cultivos hortícolas al aire libre* (pp. 569-592). España: Cajamar Caja Rural.
- Albert, L. A., & Viveros, R. A. D. (2019). *Plaguicidas y ambiente*. México: RAPAM, CCMSS, Asociación de Consumidores Orgánicos, Red Temática de Toxicología de Plaguicidas. RA: 03-2016-071810215800-01
- Álvarez-Ojeda, M. G., Guerrero-Gámez, C. E., Morales-Loredo, A., Chew-Madinaveitia, Y. I., Gutiérrez-Mauleón, H., & Alvarado-Gómez, O. G. (2012). Detección por RT-PCR del virus del amarillamiento y enanismo en cucurbitáceas (CYSDV) del centro-norte de México. *Revista fitotecnia mexicana*, *35*(5), 43-47.
- Amaro, A. L., Oliveira, A., & Almeida, D. P. (2015). Biologically active compounds in melon: Modulation by preharvest, post-harvest, and processing factors. En V. Predy (Ed.), *Processing and impact on active components in food* (pp. 165-171). United States of America: Academic Press.
- Ambrus, Á., & Yang, Y. Z. (2016). Global harmonization of maximum residue limits for pesticides. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *64*(1), 30-35.
- Aquino M. J. G. (2004). *Guía para el buen uso y manejo de plaguicidas*. Estado de México, México: ICAMEX.
- Arora, S., Kanojia, A. K., Kumar, A., Sardana, H. R., & Sarkar, S. K. (2012). Impact of biopesticide formulation on tomato (*Lycopersicon esculentum*): economics and environmental effects. *The Indian Journal of Agricultural Sciences*, *82*(12), 67-70.
- Arora, N. K., Verma, M., Prakash, J., & Mishra, J. (2016). Regulation of Biopesticides: Global Concerns and Policies. En N. K. Arora, S. Mehnaz,

- & R. Balestrini (Eds.), *Bioformulations: for Sustainable Agriculture* (pp. 283-299). Berlin, Germany: Springer
- Asif, H. M., Rehman, S. U., Akram, M., Akhtar, N., Sultana, S., & Rehman, J. U. (2014). Medicinal properties of *Cucumis melo* Linn. *RADS Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 2(1), 58-62.
- Ávila, K., Chaparro-Giraldo, A., & Reyes, G. (2011). Environmental effect of conventional and GM crops of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) and corn (*Zea mays* L.). *Agronomía Colombiana*, 29(3), 341-348.
- Bedi, J. S., Gill, J. P., Aulakh, R. S., & Kaur, P. (2015). Pesticide residues in bovine milk in Punjab, India: spatial variation and risk assessment to human health. *Arch Environ Contam Toxicol*, 69(2), 230-240.
- Bedmar, F. (2011). Informe especial sobre plaguicidas agrícolas. *Ciencia Hoy*, 21(122), 9-35.
- Begum, A., Alam, S. N., & Jalal Uddin, M. (2017). Management of pesticides: Purposes, uses, and concerns. En M. S. Khan, & M. S. Rahman (Eds.), *Pesticide Residue in Foods* (pp. 53-86). New York, USA: Springer.
- Bejarano, G. F., Álvarez, S. J. D., Arámbula, M. E., Arellano, A. O., Bastidas, B. P., J., Beltrán, C. V. D. L. A., Bernardino, H. H. U., ... & Waliszewski, K. S. M. (2018). *Highly Hazardous Pesticides in Mexico*. México: RAMPAM.
- Biddinger, D. J., Leslie, T. W., & Joshi, N. K. (2014). Reduced-risk pest management programs for Eastern US peach orchards: effects on arthropod predators, parasitoids, and select pests. *Journal of Economic Entomology*, 107(3), 1084-1091.
- Bisognin, D. A. (2002). Origin and evolution of cultivated cucurbits. *Ciência Rural*, 32, 715-723.
- Brancato, A., Brocca, D., De Lentdecker, C., Erdos, Z., Ferreira, L., Villamar-Bouza, L. (2018). Setting of import tolerances for flubendiamide in apricots, peaches, nectarines, plums and soya beans. *EFSA Journal*, 16(1), e05128.
- Buijs, J., van der Meulen, B., & Jiao, L. (2018). China's Food Safety Law. Legal Systematic Analysis of the 2015 Food Safety Law of the People's Republic of China. *European Institute for Food Law Working Paper Series* (2018/01).
- Cano-Ríos, P., Ávila-García, M. R., Nava-Camberos, U., Sánchez-Galván, H., López-Ríos, E., Rangel-Santos, M., Blanco-Contreras, E. & Jiménez-Díaz, F. (2001). Plantas hospedantes de la "mosquita blanca de la hoja plateada", *Bemisia argentifolii* (Bellows & Perring) (Homoptera: Aleyrodidae) en la Comarca Lagunera, Coahuila, México. *Folia Entomol Mex*, 40(1), 53-64.
- Cano-Ríos, P., & Espinoza-Arellano. (2002). Melón: Generalidades de su producción. En J. D. J. Espinoza-Arellano (Ed.), *El melón: Tecnologías de producción y comercialización* (pp. 1-9). Coahuila, México: CELALA, CIRNOC, INIFAP.
- Castro-Martínez, E., & Moreno-Alvarado, L. E. (2002). Manejo integrado de maleza en melón. En J. D. J. Espinoza Arellano (Ed.), *El melón: Tecnologías de producción y comercialización* (pp. 95-112). Coahuila, México: CELALA, CIRNOC, INIFAP.
- Chen, X. D., Gill, T. A., Pelz-Stelinski, K. S., & Stelinski, L. L. (2017). Risk assessment of various insecticides used for management of Asian citrus

- psyllid, *Diaphorina citri* in Florida citrus, against honey bee, *Apis mellifera*. *Ecotoxicology*, 26(3), 351-359.
- Chew-Madinaveitia, Y. I., & Jiménez-Díaz, F. (2002). Enfermedades del melón. En J. D. J. Espinoza Arellano (Ed.), *El melón: Tecnologías de producción y comercialización* (pp. 161-195). Coahuila, México: CELALA, CIRNOC, INIFAP.
- Chew-Madinaveitia, Y. I., Vega-Piña, A., Palomo-Rodríguez, M., & Jiménez-Díaz, F. (2008). Enfermedades del melón (*Cucumis melo* L.) en diferentes fechas de siembra en la Región Lagunera. México. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 7(2), 133-138.
- Chew-Madinaveitia, Y. I., Gaytán-Mascorro, A., Serrano-Gómez, C., & Nava-Camberos, U. (2009). Manejo del virus del amarillamiento y achaparramiento de las cucurbitáceas (CYSDV) en el cultivo de melón. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 8(2), 105-108.
- Cloyd, R. A., & Cowles, R. S. (2010). Manejo de resistencia: principios de resistencia, modo de acción y rotación de insecticidas. *Connect Agric Exp Stn*, 1-12.
- Costa, L. G. (1987). Toxicology of pesticides: A brief history. En L. G. Costa, C. L. Galli, & S. D. Murphy, (Eds.), *Toxicology of Pesticides: Experimental, Clinical, and Regulatory Perspectives* (pp. 1-10). Berlin, Germany: Springer-Verlag
- Cross, P. (2013). Pesticide hazard trends in orchard fruit production in Great Britain from 1992 to 2008: a time-series analysis. *Pest Management Science*, 69(6), 768-774.
- Cuevas, L. R. (2010). Argentina and Chile - overview on chemical control legislation (labeling, SDS, existing and new substances) and aspects of GHS. En T. Bokhout (Director) *ChemCon the Americas 2010*. Conferencia llevada a cabo en ChemCon, Filadelfia, USA.
- Davis, F. R. (2019). Pesticides and the perils of synecdoche in the history of science and environmental history. *History of Science*, 57(4), 469-492.
- Daza-Hurtado, G., Trejo-Calzada, R., & Martínez-Saldaña, J. (2001). Producción de melón (*Cucumis melo* L.) bajo acolchado y microtúneles en la Comarca Lagunera. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 2(1), 43-47.
- Deihimfard, R., Soufizadeh, S., Moinoddini, S. S., Kambouzia, J., Zand, E., Damghani, A. M., Mosleh, L., & Saberpour, L. (2014). Evaluating risk from insecticide use at the field and regional scales in Iran. *Crop Protection*, 65, 29-36.
- Díaz O., & Betancourt A. C. R. (2018). Los pesticidas; clasificación, necesidad de un manejo integrado y alternativas para reducir su consumo indebido: una revisión. *Revista Científica Agroecosistemas*, 6(2), 14-30.
- Donley, N. (2019). The USA lags behind other agricultural nations in banning harmful pesticides. *Environmental Health*, 18(1), 44.
- El-Wakeil, N. E. (2013). Retracted article: botanical pesticides and their mode of action. *Gesunde Pflanzen*, 65(4), 125-149.
- Endl, J., Achigan-Dako, E. G., Pandey, A. K., Monforte, A. J., Pico, B., & Schaefer, H. (2018). Repeated domestication of melon (*Cucumis melo*) in Africa and

- Asia and a new close relative from India. *American Journal of Botany*, 105(10), 1662-1671.
- Espinoza-Arellano, J. D. J., Cano-Ríos, P., Medina-Elizondo, M., & Molina-Morejón, V. M. (2010a). Evaluación técnica y económica de la generación y transferencia de la tecnología de producción “camas angostas” en melón en la Comarca Lagunera, México. *Agrofaz*, 10(2), 137-144.
- Espinoza-Arellano, J. D. J., López-Robledo, M., & Ruíz-Torres, J. (2010b). Factibilidad técnica y económica del establecimiento del cultivo del melón con riego por goteo en el municipio de Mapimí, Durango, México. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 9(2), 91-97.
- Espinoza-Arellano, J. D. J., Lozada-Cota, M., & Leyva-Najera, S. (2011). Posibilidades y restricciones para la exportación de melón cantaloupe producido en el municipio de Mapimí, Dgo., México al mercado de los Estados Unidos. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 28, 593-604.
- Espinoza-Arellano, J. D. J., Ramírez-Menchaca, A., Guerrero-Ramos, L. A., & López-Chavarría, S. (2017). Estrategias, alianzas y portafolio de negocios para desarrollar la competitividad del cultivo del melón en la Comarca Lagunera, México. *Nova scientia*, 9(19), 441-463.
- Espinoza-Arellano, J. D. J., Orona-Castillo, I., Guerrero-Ramos, L. A., Molina-Morejón, V. M., & Ramírez-Quiroga, E. C. (2019). Análisis del financiamiento, comercialización y rentabilidad del cultivo del melón con enfoque de “siembras por etapas” en la Comarca Lagunera de Coahuila, México. *CienciaUAT*, 13(2), 71-82.
- Ferrer, C., Lozano, A., Uclés, S., Valverde, A., & Fernández-Alba, A. R. (2017). European Union proficiency tests for pesticide residues in fruit and vegetables from 2009 to 2016: Overview of the results and main achievements. *Food Control*, 82, 101-113.
- Fishel, F. M. (2008). Pesticide characteristics. *EDIS*, (6), 1-3.
- Fishel, F. M. (2009). Pest management and pesticides: A historical perspective. *EDIS*, (1), 1-6.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2003). *International Code of Conduct on the Distribution and Use of Pesticides*. Recuperado de <https://www.fao.org/3/y4544e/y4544e.pdf>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2008). *Guidance document No 2: Guidance on the use of environmental impact quotient in IPM impact assessment series*. Recuperado de <https://www.fao.org/3/ca8263en/ca8263en.pdf>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2013). Advancement of pesticide regulatory management in Asia. Bangkok. Recuperado de <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=XF2013001652>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2019) *FAO Statistical Database, Compare Data*. Recuperado de <http://www.fao.org/faostat/en/#compare>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2021). *FAO Statistical Database, Production*. Recuperado de <https://www.fao.org/faostat/en/#data>

- Franco B. M. F., Pazin, M., Pereira, L. C., & Junqueira D. D. (2015). Impact of pesticides on environmental and human health. En A. C. Andrazza, & G. Scola, *Toxicology studies-cells, drugs and environment* (pp. 195-233.). Rijeka, Croatia: Intech.
- Fundo, J. F., Miller, F. A., Garcia, E., Santos, J. R., Silva, C. L., & Brandão, T. R. (2018). Physicochemical characteristics, bioactive compounds and antioxidant activity in juice, pulp, peel and seeds of Cantaloupe melon. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 12(1), 292-300.
- Garcia-Garcia, E., Bussacos, M. A., & Fischer, F. M. (2005). Impacto da legislação no registro de agrotóxicos de maior toxicidade no Brasil. *Revista de Saúde Pública*, 39(5), 832-839.
- García-Hernández, J., Leyva-Morales, J. B., Martínez-Rodríguez, I. E., Hernández-Ochoa, M. I., Aldana-Madrid, M. L., Rojas-García, A. E., ... & Perera-Rios, J. H. (2018). Estado actual de la investigación sobre plaguicidas en México. *Rev. Int. Contam. Ambie.* 34 (Especial sobre Contaminación y Toxicología por Plaguicidas) 29-60.
- Gavrilescu, M. (2005). Fate of pesticides in the environment and its bioremediation. *Engineering in life sciences*, 5(6), 497-526.
- Goutam, E., Singh, K. K., & Vishwakarma, G. (2020). Scientific Cultivation of Muskmelon (*Cucumis melo* L.). *Biotica Research Today*, 2(7), 580-583.
- Gupta, R. C. (2011). *Toxicology of organophosphate and carbamate compounds*. USA: Academic Press.
- Hamilton, D., Yoshida, M., Wolterink, G., & Solecki, R. (2017). Evaluation of pesticide residues by FAO/WHO JMPR. En Á. Ambrus, & D. Hamilton (Eds.), *Food Safety Assessment of Pesticide Residues* (pp. 113-196). Singapore: World Scientific.
- Handford, C. E., Elliott, C. T., & Campbell, K. (2015). A review of the global pesticide legislation and the scale of challenge in reaching the global harmonization of food safety standards. *Integr Environ Assess Manag*, 11(4), 525-536.
- Hassaan, M. A., & El Nemr, A. (2020). Pesticides pollution: Classifications, human health impact, extraction and treatment techniques. *The Egyptian Journal of Aquatic Research*, 46(3), 207-220.
- Hazra, D. K., & Purkait, A. (2019). Role of pesticide formulations for sustainable crop protection and environment management: A review. *J. Pharmacogn. Phytochem*, 8, 686-693.
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. (2017). Agenda técnica agrícola Durango y La Laguna. México: SAGARPA-COFUPRO-INIFAP.
- Ioriatti, C., Agnello, A. M., Martini, F., & Kovach, J. (2011). Evaluation of the environmental impact of apple pest control strategies using pesticide risk indicators. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 7(4), 542-549.
- Islam, M. N., Bint-E-Naser, S. F., & Khan, M. S. (2017). Pesticide food laws and regulations. In M. S. Khan, & M. S. Rahman (Eds.), *Pesticide Residue in*

- Foods: Sources, Management, and Control* (pp. 37-51). Cham, Switzerland: Springer.
- Jardim, A. N., & Caldas, E. D. (2012). Brazilian monitoring programs for pesticide residues in food—Results from 2001 to 2010. *Food Control*, 25(2), 607-616.
- Jayaraj, R., Megha, P., & Sreedev, P. (2016). Organochlorine pesticides, their toxic effects on living organisms and their fate in the environment. *Interdisciplinary toxicology*, 9(3-4), 90-100.
- Kalyabina, V. P., Esimbekova, E. N., Kopylova, K. V., & Kratasyuk, V. A. (2021). Pesticides: formulants, distribution pathways and effects on human health—a review. *Toxicology reports*, 8, 1179-1192.
- Kapoor, B., & Sharma, K. (2020). Biorational pesticides: an envirosafe alternative to pest control. *INDIAN FARMER*, 7, 722-733.
- Kaur, R., Mavi, G. K., Raghav, S., & Khan, I. (2019). Pesticides classification and its impact on environment. *Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci*, 8(3), 1889-1897.
- Kentucky Pesticide Safety Education Program. (2017). *Pesticide Formulations*. Kentucky, USA: University of Kentucky Department of Entomology, University of Kentucky College of Agriculture. Recuperado de <https://www.uky.edu/Ag/Entomology/PSEP/3formulations.html>
- Kerje, T., & Grum, M. (2000, March). The origin of melon, *Cucumis melo*: a review of the literature. En *VII Eucarpia Meeting on Cucurbit Genetics and Breeding 510* (pp. 37-44).
- Kirkbride, J. H. (1993). *Biosystematic Monograph of the Genus Cucumis (Cucurbitaceae)*. North Carolina, USA: Parkway Publishers.
- Kromann, P., Pradel, W., Cole, D., Taipe, A., and Forbes, G. A. (2011). Use of the environmental impact quotient to estimate health and environmental impacts of pesticide usage in Peruvian and Ecuadorian potato production. *Journal of Environmental Protection*. 2(5): 581-591.
- Lester, G. (2006, August). Consumer preference quality attributes of melon fruits. In *IV International Conference on Managing Quality in Chains-The Integrated View on Fruits and Vegetables Quality 712* (pp. 175-182).
- Lester, G. E., & Crosby, K. M. (2002). Ascorbic acid, folic acid, and potassium content in postharvest green-flesh honeydew muskmelons: Influence of cultivar, fruit size, soil type, and year. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 127(5), 843-847.
- Ley Federal de Sanidad Vegetal. (2017). *Última reforma publicada en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 26 de diciembre de 2017*. México, D.F. Recuperado de <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LFSV.pdf>
- Ley General de Salud. (2021). *Última reforma publicada en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 22 de noviembre de 2021*. Ciudad de México. Recuperado de: <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGS.pdf>
- Lian, Q., Fu, Q., Xu, Y., Hu, Z., Zheng, J., Zhang, A., ... & Wang, H. (2021). QTLs and candidate genes analyses for fruit size under domestication and differentiation in melon (*Cucumis melo* L.) based on high resolution maps. *BMC plant biology*, 21(1), 1-13.
- Lim, T. K. (2012). *Cucumis melo* (Inodorus group). En *Edible Medicinal And Non-Medicinal Plants* (pp. 210-218). Dordrecht, The Netherlands: Springer.

- Luan, F., Delannay, I., & Staub, J. E. (2008). Chinese melon (*Cucumis melo* L.) diversity analyses provide strategies for germplasm curation, genetic improvement, and evidentiary support of domestication patterns. *Euphytica*, *164*(2), 445-461.
- Lushchak, V. I., Matviishyn, T. M., Husak, V. V., Storey, J. M., & Storey, K. B. (2018). Pesticide toxicity: a mechanistic approach. *EXCLI journal*, *17*, 1101.
- Mahmood, I., Imadi, S. R., Shazadi, K., Gul, A., & Hakeem, K. R. (2016). Effects of pesticides on environment. En K. R. Hakeem, M. S. Akthar, & S. N. A. Abdullah (Eds.), *Plant, soil and microbes* (pp. 253-269). Cham, Switzerland: Springer.
- Mallick, M. F. R., & Masui, M. (1986). Origin, distribution and taxonomy of melons. *Scientia Horticulturae*, *28*(3), 251-261.
- Manchali, S., & Murthy, K. N. C. (2020). Muskmelon. En A. K. Jaiswal (Ed.), *Nutritional Composition and Antioxidant Properties of Fruits and Vegetables* (pp. 533-546). Cambridge, MA, USA: Academic Press.
- Manyilizu, W. B. (2019). Pesticides, anthropogenic activities, history and the health of our environment: lessons from Africa. En L. Larramendy, & S. Soloneski (Eds.), *Pesticides-Use and Misuse and Their Impact in the Environment* (pp. 111-120). London: IntechOpen.
- Martínez-Navarrete, N., Vidal, M. D. M. C., & Lahuerta, J. J. M. (2008). Los compuestos bioactivos de las frutas y sus efectos en la salud. *Actividad dietética*, *12*(2), 64-68.
- Martínez-Saldaña, J., Medina-Cazares, T., Macías-R, H., & Vuelvas-Cisneros, M. A. (2005). Acolchado plástico en la canaleta de riego para cultivos hortícolas con riego por gravedad. *Agrofaz: publicación semestral de investigación científica*, *5*(3), 15-22.
- Masís, M. F., Hernández, C. R., & Piedra, M. G. (Eds.) (2017). *Química Agrícola*. San José, Costa Rica: Editorial Universidad Estatal a Distancia.
- Menon, S. V., & Ramana Rao, T. V. (2012). Nutritional quality of muskmelon fruit as revealed by its biochemical properties during different rates of ripening. *International Food Research Journal*, *19*(4), 1621-1628.
- Mesnage, R., & Antoniou, M. N. (2018). Ignoring adjuvant toxicity falsifies the safety profile of commercial pesticides. *Frontiers in public health*, *5*, 361.
- Milind, P., & Kulwant, S. (2011). Musk melon is eat-must melon. *IRJP*, *2*(8), 52-57.
- Moo-Muñoz, A., Azorín-Vega, E., Ramírez-Durán, N., & Moreno-Pérez, P. (2020). State of the production and consumption of pesticides in Mexico. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, *23*(2), 1-12.
- Munshi, A. D., & Alvarez, J. M. (2004). Hybrid melon development. *Journal of new seeds*, *6*(4), 321-360.
- Mununa, F., Mkenda, J., & Sikay, M. (2014). Post-registration surveillance of pesticides: towards best practices of pesticide management (BPPM) for environmental and human health protection in Tanzania. *African Newsletter on Occupational Health and Safety*, *24*(3), 66-68.
- Naciones Unidas. (2019). Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos (SGA). Recuperado de

- https://unece.org/fileadmin/DAM/trans/danger/publi/ghs/ghs_rev08/ST-SG-AC10-30-Rev8s.pdf
- Nagy, K., Duca, R. C., Lovas, S., Creta, M., Scheepers, P. T., Godderis, L., & Ádám, B. (2020). Systematic review of comparative studies assessing the toxicity of pesticide active ingredients and their product formulations. *Environmental Research*, 181, 108926.
- Naidu, R., Biswas, B., Willett, I. R., Cribb, J., Singh, B. K., Nathanail, C. P., ... & Aitken, R. J. (2021). Chemical pollution: A growing peril and potential catastrophic risk to humanity. *Environment International*, 156, 106616.
- Narváez-Valderrama, J. F., Palacio-Baena, J. A., & Molina-Pérez, F. J. M. (2012). Persistencia de plaguicidas en el ambiente y su ecotoxicidad: Una revisión de los procesos de degradación natural. *Gestión y ambiente*, 15(3), 27-38.
- Nava-Camberos, U., Chew-Madinaveitia, Y. I., & Cano-Ríos, P. (2007) Etiología, epidemiología y manejo del amarillamiento del melón en la Comarca Lagunera. En L. A. Maldonado-Navarro, & G. A. Fierros-Leyva (Eds.), *Estrategias de Manejo Integrado de Mosquita Blanca y Virosis en Cucurbitáceas* (pp. 10-28). Sonora, México: SAGARPA-INIFAP.
- Nicolopoulou-Stamati, P., Maipas, S., Kotampasi, C., Stamatis, P., & Hens, L. (2016). Chemical pesticides and human health: the urgent need for a new concept in agriculture. *Frontiers in public health*, 4, 148.
- Nuñez-Palenius, H. G., Gomez-Lim, M., Ochoa-Alejo, N., Grumet, R., Lester, G., & Cantliffe, D. J. (2008). Melon fruits: genetic diversity, physiology, and biotechnology features. *Critical reviews in biotechnology*, 28(1), 13-55.
- Ocampo-Girón E. (2019). *Monitoreo de fitonematodos en varios cultivos de seis estados de México y control químico* (Tesis doctoral). Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, México.
- OHP. (2021). Chemical Class Chart: greenhouse & nursery production. Vol XXII. Recuperado de <https://www.ohp.com/Literature/>
- Onwona-Kwakye, M., Mengistie, B., Ofosu-Anim, J., Nuer, A. T. K., & Van den Brink, P. J. (2019). Pesticide registration, distribution and use practices in Ghana. *Environment, Development and Sustainability*, 21(6), 2667-2691.
- Ordoñez-Beltrán, M. F., Jacobo-Cuéllar, J. L., Quintana-López, E., Parra-Quezada, R. Á., Guerrero-Prieto, V. M. y Ríos-Velasco, C. (2016). Pulgón lanígero e impacto ambiental por el uso de pesticidas en manzano en Chihuahua, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(3), 573-583.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura/Organización Mundial de la Salud. 2019. *Código Internacional de Conducta para la Gestión de Plaguicidas-Directrices sobre los Plaguicidas Altamente Peligrosos*. Recuperado de <https://www.fao.org/publications/card/es/c/a5347a39-c961-41bf-86a4-975cdf2fd063>
- Organización Mundial de la Salud. (2020). Clasificación recomendada por la OMS de los plaguicidas por el peligro que presentan y directrices para la clasificación 2019. Recuperado de <https://www.who.int/es/publications/i/item/9789240005662>

- Ortíz, I., Avila-Chávez, M. A., & Torres, L. G. (2014). Plaguicidas en México: usos, riesgos y marco regulatorio. *Revista Latinoamericana de Biotecnología Ambiental y Algal*, 5(1), 1-21.
- Özkara A, Akyıl D, Konuk, M. 2016. Pesticides, environmental pollution, and health. En: Larramendy M.L., Soloneski S. (Eds.). *Environmental Health Risk - Hazardous Factors to Living Species* (97-118). InTech
- Pacheco-Ortiz, N., Inzunza-Ibarra, M. A., Arreola-Ávila, J. G., Esquivel-Arriaga, O., García-Herrera, G., & Trejo-Calzada, R (2011). Efecto de la coloración del acolchado plástico y riego por cintilla sobre la producción de melón (*Cucumis melo* L). *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 10(1), 11-17.
- Paris, H. S., Amar, Z., & Lev, E. (2012). Medieval emergence of sweet melons, *Cucumis melo* (Cucurbitaceae). *Annals of Botany*, 110(1), 23-33.
- Pattnaik, M., Pany, B. K., Jena, D., Pal, A. K., Sahu, G. (2020). Effect of organochlorine pesticides on living organisms and environment. *Chem Sci Rev Lett*, 35(9), 682-686.
- Pelaez, V., da Silva, L. R., & Araujo, E. B. (2013). Regulation of pesticides: a comparative analysis. *Science and Public Policy*, 40(5), 644-656.
- Pérez-Herrera, N. E., Alvarado-Mejía, J. A., Castillo-Burguete, M. T., González-Navarrete, R. L., & Quintanilla-Vega, M. B. (2012). Efectos reproductivos en agricultores expuestos a plaguicidas en Muna, Yucatán. En L. A. Cedillo & F. K. Cano Robles (Eds.), *Género, Ambiente y Contaminación por Sustancias Químicas* (pp. 79-94). México D. F., México: SEMARNAT.
- Pesticide Action Network International. (2014). *List of highly hazardous pesticides*. Germany: PAN International. Recuperado de http://www.pan-germany.org/download/PAN_HHP_List_140527
- Pesticide Action Network International. (2021). *PAN International List of Highly Hazardous Pesticides*. Recuperado de https://pan-international.org/wp-content/uploads/PAN_HHP_List.pdf
- Pitrat, M. (2016). Melon genetic resources: phenotypic diversity and horticultural taxonomy. En R. Grumet, N. Katzir, & J. Garcia-Mas (Eds), *Genetics and genomics of Cucurbitaceae* (pp. 25-60). Cham, Swiaterlnad: Springer
- Ponce, G., Cantú, P. C., Flores, A., Badii, M., Zapata, R., López, B., & Fernández, I. (2006). Modo de acción de los insecticidas. *Revista salud pública y nutrición*, 7(4).
- Ramírez-Delgado, M., Nava-Camberos, U., & Fu-Castillo, A. A. (2002). Manejo integrado de plagas en el cultivo melón. En J. D. J. Espinoza Arellano (Ed.) *El melón: Tecnologías de producción y comercialización* (pp. 161-195.). Coahuila, México: CELALA, CIRONOC, INIFAP.
- Sarkar, S., Gil, J. D. B., Keeley, J., & Jansen, K. (2021). *The use of pesticides in developing countries and their impact on health and the right to food*. Belgium: European Union.
- Sarwar, M. (2015). The killer chemicals as controller of agriculture insect pests: The conventional insecticides. *International Journal of Chemical and Biomolecular Science*, 1(3), 141-147.
- Schaefer, H., Heibl, C., & Renner, S. S. (2009). Gourds afloat: a dated phylogeny reveals an Asian origin of the gourd family (Cucurbitaceae) and numerous

- oversea dispersal events. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 276(1658), 843-851.
- Schreinemachers, P., Afari-Sefa, V., Heng, C. H., Dung, P. T. M., Praneetvatakul, S., & Srinivasan, R. (2015). Safe and sustainable crop protection in Southeast Asia: status, challenges and policy options. *Environmental Science & Policy*, 54, 357-366.
- Sebastian, P., Schaefer, H., Telford, I. R., & Renner, S. S. (2010). Cucumber (*Cucumis sativus*) and melon (*C. melo*) have numerous wild relatives in Asia and Australia, and the sister species of melon is from Australia. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(32), 14269-14273.
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural - Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (2019). Manual para el buen uso y manejo de plaguicidas en campo. México: SADER-SENASICA.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2021). *Anuario Estadístico de la Producción Agrícola*. Gobierno de México. Recuperado de <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Shah, R. (2020). Pesticides and Human Health. En A. Nuro (Ed.), *Emerging Contaminants* (pp. 57-78). London, United Kingdom: IntechOpen.
- Shahid, S. A., & Al-Shankiti, A. (2013). Sustainable food production in marginal lands—Case of GDLA member countries. *International soil and water conservation research*, 1(1), 24-38.
- Sharma, A., Kumar, V., Shahzad, B., Tanveer, M., Sidhu, G. P. S., Handa, N., ... & Thukral, A. K. (2019). Worldwide pesticide usage and its impacts on ecosystem. *SN Applied Sciences*, 1(11), 1-16.
- Sistemas Computacionales y Comunicaciones. (2009). *La Comarca Lagunera - Información General*. Recuperado de <https://www.comarcalagunera.com/portal/laguna/comarca.php>
- Smith, A.G., 2011. Toxicology of DDT and some analogues. En: R. Krieger. (Ed.), *Hayes' Handbook of Pesticide Toxicology* (pp. 1975–2032.), 3rd ed. London: Academic Press.
- Sola, P., Mvumi, B., Ogendo, P. J. O., Mponda, O., Kamanula, J., Nyirenda, S., Stevenson, P. (2014). Botanical pesticide production, trade and regulatory mechanisms in sub-Saharan Africa: Making a case for plant-based pesticidal products. *Food Security*, 6, 369–384.
- Stoll, M. (2012). Rachel Carson's Silent Spring, a Book that Changed the World. *Environment & Society Portal, Virtual Exhibitions*. Recuperado de chrome-extension://efaidnbnmnibpcjpcglclefindmkaj/https://www.environmentandsociety.org/sites/default/files/rachelcarson_silentspring_version2.pdf
- Sud, D., & Kaur, P. (2012). Heterogeneous photocatalytic degradation of selected organophosphate pesticides: a review. *Critical reviews in environmental science and technology*, 42(22), 2365-2407.
- Taylor, E. L., Holley, A. G., & Kirk, M. (2007). Pesticide development: a brief look at the history. *Southern Regional Extension Forestry*, 1, 1-7.
- Terziev, V., & Petkova-Georgieva, S. (2019). Human health problems and classification of the most toxic pesticides. *IJASOS-International E-journal of Advances in Social Sciences*, 5(15), 1349-1356.

- UNICOOP (2015). *Manuel para el buen uso y manejo de plaguicidas*. Santa Rita, Paraguay: UNICOOP.
- United States Environmental Protection Agency. (2019). *National Pesticide Information Center*. Recuperado de <http://npic.orst.edu/reg/epareg.html>.
- United States Environmental Protection Agency. (2021) *Laws & Regulations*. Recuperado de <https://www.epa.gov/laws-regulations>.
- Van Asselt, E. D., Banach, J. L., & Van Der Fels-Klerx, H. J. (2018). Prioritization of chemical hazards in spices and herbs for European monitoring programs. *Food Control*, 83, 7-17.
- van der Velde-Koerts, T., Margerison, S., Breyse, N., Lutze, J., Mahieu, K., Reich, H., ... & Ossendorp, B. C. (2018). Impact of proposed changes in IESTI equations for short-term dietary exposure to pesticides from Australian and Codex perspective. *Journal of Environmental Science and Health, Part B*, 53(6), 366-379.
- Vargas-González, G., Alvarez-Reyna, V. D. P., Guigón-López, C., Cano-Ríos, P., Jiménez-Díaz, F., Vásquez-Arroyo, J. & García-Carrillo, M. (2016). Patrón de uso de plaguicidas de alto riesgo en el cultivo de melón (*Cucumis melo* L.) en la Comarca Lagunera. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 3(9), 367-378.
- Vargas-González, G., Alvarez-Reyna, V. D. P., Guigón-López, C., Cano-Ríos, P., & García-Carrillo, M. (2019). Impacto ambiental por uso de plaguicidas en tres áreas de producción de melón en la Comarca Lagunera, México. *Ciencia UAT*, 13(2): 113-127.
- Vázquez-Martínez, J., Rios-Flores, J. L., Ruiz T. J., & Sepúlveda-Bojórquez, M. (2007). Evolución de la productividad económica relativa de los principales cultivos en la Comarca Lagunera, México 1978-1999. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 6(1), 109-115
- Vishwakarma, V. K., Gupta, J. K., & Upadhyay, P. K. (2017). Pharmacological importance of *Cucumis melo* L.: An overview. *Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research*, 8-12.
- Vryzas, Z. (2018). Pesticide fate in soil-sediment-water environment in relation to contamination preventing actions. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 4, 5-9.
- Weller, S., Culbreath, A., Gianessi, L., Godfrey, L., Jachetta, J., Norsworthy, J., ... & Madsen, J. (2014). The contributions of pesticides to pest management in meeting the global need for food production by 2050. *Issue Paper-Council for Agricultural Science and Technology*, (55), 1-28.
- Wilhoit, L. (2018). History of Pesticide Use Reporting in California. En M. Zhang, S. Jackson, M. A. Robertson, & M. R. Zeiss (Eds.), *Managing and Analyzing Pesticide Use Data for Pest Management, Environmental Monitoring, Public Health, and Public Policy* (pp. 3-14). Washington, DC, USA: American Chemical Society.
- Wong, H. L., Garthwaite, D. G., Ramwell, C. T., & Brown, C. D. (2017). How does exposure to pesticides vary in space and time for residents living near to treated orchards? *Environmental Science and Pollution Research*, 24(34), 26444-26461.

- Wood, A. (2021). *Chemical Classes. Compendium of pesticide common names*. Recuperado de https://pesticidecompendium.bcpc.org/summ_groups.html
- World Health Organization. (2009). *The WHO recommended classification of pesticides by hazard and guidelines to classification*. Recuperado de http://www.who.int/ipcs/publications/pesticides_hazard/en/
- Yadav, I. C., & Devi, N. L. (2017). Pesticides classification and its impact on human and environment. *Environ Sci Eng*, 6, 140-158.
- Yeung, M. T., Kerr, W. A., Coomber, B., Lantz, M., & McConnell, A. (2017). Why maximum residue limits for pesticides are an important international issue. En C. Barret (Ed.), *Declining international cooperation on pesticide regulation* (pp. 1-9). Cham, Switzerland: Palgrave Macmillan.
- Zacharia, J. T. (2011). Identity, physical and chemical properties of pesticides. En: M. Stoycheva (Ed.) *Pesticides in the modern world-trends in pesticides analysis* (pp. 1-18). Rijeka, Croatia: INTECHOPEN.
- Zaragoza-Bastida, A., Valladares-Carranza, B., Ortega-Santana, C., Zamora-Espinosa, J., Velázquez-Ordoñez, V., & Aparicio-Burgos, J. (2016). Implications of the use of organochlorine in the environment, and public health. *Abanico veterinario*, 6(1), 43-55.
- Zaynab, M., Fatima, M., Sharif, Y., Sughra, K., Sajid, M., Khan, K. A., ... & Li, S. (2021). Health and environmental effects of silent killers Organochlorine pesticides and polychlorinated biphenyl. *Journal of King Saud University-Science*, 33(6), 101511.
- Zikankuba, V. L., Mwanyika, G., Ntwenya, J. E., & James, A. (2019). Pesticide regulations and their malpractice implications on food and environment safety. *Cogent Food & Agriculture*, 5(1), 1-15.