

The logo for CienciaUAT, featuring the text "CienciaUAT" in a bold, orange, sans-serif font. The "U" and "A" are slightly larger and more prominent than the other letters.

CienciaUAT

ISSN: 2007-7521

ISSN: 2007-7858

Universidad Autónoma de Tamaulipas

Vargas-González, Gabriela; Alvarez-Reyna, Vicente de Paul;
Guigón-López, César; Cano-Ríos, Pedro; García-Carrillo, Mario
Impacto ambiental por uso de plaguicidas en tres áreas
de producción de melón en la Comarca Lagunera, México
CienciaUAT, vol. 13, núm. 2, 2019, Enero-Junio, pp. 113-127
Universidad Autónoma de Tamaulipas

DOI: <https://doi.org/10.29059/cienciauat.v13i2.1141>

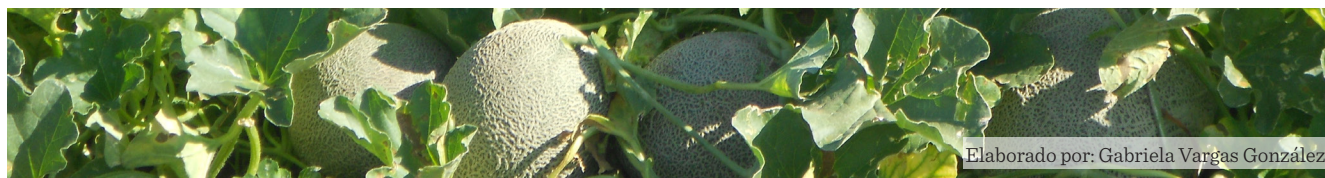
Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=441960176009>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

UAEM The logo for redalyc.org, featuring the text "redalyc.org" in a red, sans-serif font, with a small red square icon to the right.

Sistema de Información Científica Redalyc

Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso
abierto



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

*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:

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

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: oxícloruro 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-butil, 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 ($21 \leq CIA \leq 40$), 18 % de peligro bajo ($0 \leq CIA \leq 20$) 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	3742	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
Estreptomicina (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
Oxicloruro de	67	33.30	50	1.25	1.5	31.2
cobre			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			Temprana	Tardía	Temprana	Tardía
	ACm-RGt	M-V 1	1.96	11.57	78	383
		M-V 2	4.44	6.41	169	171
		M-V 3	6.02	N.S.	166	N.S.
		M-V 4	2.52	7.99	108	260
	ACn-RGr	M-V 5	2.92	4.59	104	135
		M-V 6	0.70	4.15	35	132
		M-V 7	2.06	6.98	107	296
		Total	20.62	41.69	767	1 377
Tlahualilo			Intermedia		Intermedia	
	ACm-RGt	TL 1	7.65		240	
		TL 2	3.10		113	
	ACn-RGr	TL 3	4.21		99	
		TL 4	3.20		104	
	SD-RGr	TL 5	1.24		53	
		TL 6	3.08		97	
		Total	22.48		706	
Mapimí			Intermedia	Tardía	Intermedia	Tardía
	ACm-RGt	MP 1	5.49	13.83	199	504
		MP 2	6.22	7.23	201	249
	ACn-RGr	MP 3	20.50	27.16	500	721
		MP 4	5.16	6.69	219	243
	SD-RGr	MP 5	N.S.*	8.50	N.S.	201
		MP 6	10.25	24.00	363	630
		Total	47.62	87.41	1 482	2 548

*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 oxicloruro 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, oxicloruro 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 agromónicas). 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., Kam-bouzia, 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 Recto 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_CNPS_MELON/PLAN%20RECTOR%20QUE%20CONTIENE%20PROGRAMA%20DE%20TRABAJO%202012/PR_CNPS_%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.