



Forum [Foro]

ESTADO DE LA PRODUCCIÓN Y CONSUMO DE PLAGUICIDAS EN MÉXICO †

[STATE OF THE PRODUCTION AND CONSUMPTION OF PESTICIDES IN MEXICO]

Andy J. Moo-Muñoz¹, Erika P. Azorín-Vega², Ninfa Ramírez-Durán¹
and Martín P. Moreno-Pérez^{1*}

¹Universidad Autónoma del Estado de México, Paseo Tollocan esq. Jesús Carranza s/n. Toluca, Estado de México. Email: saieto@hotmail.com

²Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, Carretera México Toluca-La Marquesa s/n, Ocoyoacac, Estado de México.

* Corresponding author

SUMMARY

Background. One of the problems in Mexico about the use and quantification of pesticides, is that there is a lack of efficient regulation and monitoring because there is no detailed information on its use, so this work analyzes the use of pesticides in Mexico. **Objective.** To know the current situation of the use of chemical pesticides used in Mexico. **Methodology.** A search and systematic review of scientific publications related to pesticides in Mexico during the last 20 years in indexed or arbitrated journals. **Results.** The analysis of these investigations indicates that in Mexico in 2018 > 61,000 tons of pesticides were imported, although in 2017 the production was greater than 106 thousand tons. One of the problems in Mexico, as in other countries, is that there is a lack of efficient regulation and monitoring of the use of pesticides. During the last two decades the total consumption of pesticides in Mexico increased between 57-65%, the data from the available sources of their consumption show differences of the annual average of 27%, equivalent to 14,000 t per year, greater than the consumed in 2016 by countries such as Uruguay, Greece, Portugal, the Netherlands and Honduras. **Implications.** In order to reduce this problem, it is proposed to implement a "national logbook for the registration and use of pesticides" that includes the type of pesticide used, brand, active ingredient, applied dose (Kg / ha) and frequency of application. **Conclusions.** The obvious inconsistency of thousands of tons between national and international statistics is due to an inadequate quantification of pesticide use, a characteristic that occurs not only in Mexico. This situation is a serious global threat with environmental, economic and social implications, since the potential ecological damage is underestimated. Knowing the actual amount of pesticides used and will allow promoting real strategies aimed at reducing their use.

Keywords: Consumption; pesticides; environment; ecosystems; toxic.

RESUMEN

Antecedentes. Una de las problemáticas en México sobre la utilización y cuantificación de plaguicidas, es que se carece de una eficiente regulación y monitoreo al no existir información detallada sobre su uso, por lo que este trabajo analiza el uso de plaguicidas en México. **Objetivo.** Conocer la situación actual del uso de plaguicidas químicos utilizados en México. **Metodología.** Se realizó una búsqueda y revisión sistemáticamente de publicaciones científicas relacionadas con plaguicidas en México durante los últimos 20 años en revistas indizadas o arbitradas. **Resultados.** El análisis de estas investigaciones indica que en México en el año 2018 se importaron >61,000 toneladas de plaguicidas, a pesar de que en el año 2017 la producción fue mayor a 106 mil toneladas. Una de las problemáticas en México, como en otros países, es que se carece de una eficiente regulación y monitoreo del uso de plaguicidas. Durante las dos últimas décadas el consumo total de plaguicidas en México se incrementó entre 57-65 %, los datos de las fuentes disponibles de su consumo presentan diferencias del promedio anual del 27 %, que equivalen a 14,000 t por año, cantidad mayor a la consumida en 2016 por países como Uruguay, Grecia, Portugal, Holanda y Honduras. **Implicaciones.** Con la finalidad de disminuir esta problemática, se propone implementar una "bitácora nacional de registro y utilización de plaguicidas" que incluya, el tipo de plaguicida utilizado, marca, ingrediente activo, dosis aplicada (Kg/ha) y frecuencia de aplicación. **Conclusiones.** La evidente incongruencia de miles de toneladas entre las estadísticas nacionales con las internacionales, es debido a una inadecuada cuantificación del uso de plaguicidas, característica que se presenta no solo en México. Esta situación es una grave amenaza mundial con implicaciones ambientales, económicas y sociales,

† Submitted March 11, 2020 – Accepted March 30, 2020. This work is licensed under a CC-BY 4.0 International License.
ISSN: 1870-0462.

ya que el potencial daño ecológico es sub-estimado. Conocer la cantidad real de plaguicidas utilizados y permitirá promover estrategias reales encaminadas a disminuir su utilización.

Palabras Clave: Consumo; plaguicidas; ambiente; ecosistemas; tóxico.

INTRODUCCIÓN

El uso de plaguicidas es generalmente considerado indispensable para mantener o aumentar el rendimiento de la producción agrícola, con la finalidad de producir alimento para la población global en crecimiento (Varah et al., 2020; Organización Mundial de la Salud [OMS], 2018; Notarnicola et al., 2017). Los plaguicidas, son cualquier sustancia o mezcla de sustancias destinadas a prevenir, destruir, repeler o mitigar cualquier plaga, están compuestos por ingredientes activos (i. a.) e ingredientes inertes (i. i.), aunque "i. i." no significa "no tóxico" y en ocasiones su identidad son información confidencial (United States Environmental Protection Agency [USEPA], 2018; World Health Organization / Food and Agriculture Organization of the United Nations [WHO / FAO], 2016). Los plaguicidas se clasifican de diversas formas, ya sea por el organismo que controlan (microorganismos, plantas, animales), el modo de acción en el cual actúan, a los usos los que están destinados o a su composición química (Kaur et al., 2019; Yadav y Devi, 2017). Actualmente se encuentra información de más de 100,000 plaguicidas y miles de i. i.; de los cuales encuentran regulados aproximadamente 6,400 que incluyen sus productos de transformación, adyuvantes y disolventes utilizados (Pesticide Action Network [PAN], 2019). Aunque los plaguicidas químicos son comprobadamente eficaces, han causado contaminación en ecosistemas, efectos tóxicos y además de ser solubles en lípidos; generan resistencia en especies objetivo y daños en las especies no objetivo, incrementando el riesgo potencial en la salud humana (Nagy et al., 2019; Pan et al., 2018; Carvalho, 2017; Amizadeh et al., 2017). A pesar de las controversias de su utilización y que estos productos aumentan el rendimiento de la producción, es necesario fortalece el control de plaguicidas, debido a que son tóxicos para el ambiente y organismos expuestos estos plaguicidas (Brühl and Zaller, 2019; PAN UK, 2019; OMS, 2018). La agricultura es una actividad importante en México, por su aporte a la alimentación nacional y su contribución a la economía (Vargas-González et al., 2019; Silveira-Gramont et al., 2018). En el año 2017, la superficie sembrada en México fue mayor a 21 millones de ha con una producción agrícola total de 262 millones de toneladas (t) (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera-Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, [SIAP-SAGARPA], 2017), sin embargo, una de las problemáticas en México sobre la utilización y cuantificación de plaguicidas, es que se carece de una eficiente regulación y monitoreo, no existe información detallada sobre su uso. El catálogo de

plaguicidas publicado por Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS) no registra en su totalidad los productos y los i. a. (Arellano-Aguilar y Rendón, 2016). Esta situación representa es riesgo ambiental para México, ya que el eficiente registro del uso de plaguicidas es determinante para conocer el estatus de la cantidad real utilizada. Con la finalidad de encontrar estrategias para reducir las problemáticas ambientales asociadas a la utilización de plaguicidas, el objetivo de esta investigación es conocer la situación actual del uso de plaguicidas químicos utilizados en México.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se realizó una búsqueda y revisión sistemáticamente de publicaciones científicas relacionadas con plaguicidas en México durante los últimos 20 años en revistas indizadas o arbitradas en National Center for Biotechnology Information (NCBI), Redalyc y otras fuentes. Las palabras clave de la búsqueda fueron México, uso, plaguicidas, pesticidas, estadísticas; se descartaron bases de datos que no sean dependencias oficiales y artículos no publicados en revistas indexadas. Se obtuvo de la base de datos de la Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database (FAOSTAT), Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y la Secretaría de Economía (SE), los siguientes registros para México: A) Producción de plaguicidas por grupos a nivel nacional, B) consumo de plaguicidas (con distinción entre grupos) y C) importaciones y exportaciones totales de plaguicidas. Todos los registros fueron con temporalidad anual y expresada en miles de toneladas (mil t.). Los datos de producción entre los 3 plaguicidas (insecticidas, fungicidas y herbicidas) fueron analizados mediante un Análisis de Varianza (ANOVA) de medidas repetidas y post hoc Tukey ($p < 0.05$). Se realizó una prueba *t* para muestras repetidas ($p < 0.05$) entre las exportaciones e importaciones y así como del consumo de plaguicidas entre FAO y SEMARNAT. Para ambas pruebas se comprobó la normalidad de los datos (Shapiro-Wilk y prueba de Levene de igualdad de varianzas), se utilizó el programa SPSS® Statistics Version 25.

RESULTADOS

En el año 2017 la producción de plaguicidas en México fue mayor a 106 mil t. Durante el periodo 2000-2017, se encontraron diferencias ($F=57.76$, $p < 0.05$) entre la producción de tipos de plaguicidas, fungicidas (45 %), insecticidas (28 %) y herbicidas (27 %) (Figura 1), siendo los fungicidas el plaguicida más producido (promedio $>48,000$ t) en la última década.

Durante los últimos 10 años, se encontraron diferencias ($t=6.4$, $p<0.05$) entre el promedio anual de exportaciones (>36 mil t) e importaciones (>54 mil t) (Figura 2), y durante el año 2018, las exportaciones fueron >34,000 t y las importaciones >61,000 t presentando un déficit del 79 % respecto a las exportaciones (Figura 3). Respecto al consumo promedio de plaguicidas durante las dos últimas décadas, se encontraron diferencias ($t=9.4$, $p<0.05$) entre las estadísticas disponibles de la FAOSTAT (>39,000 t de i. a.) y la SEMARNAT (>53,000 t) (Figura 4), estas diferencias equivalen a 14,000 t de plaguicidas utilizados.

DISCUSIÓN

De acuerdo con la consulta de Registros Sanitarios de Plaguicidas, Nutrientes Vegetales y Límite Máximo de Residuos de la COFEPRIS (2018), en México en el año 2019 se manufacturaron 2,070 i. i. en más de 230 empresas, con vigencia indeterminada. Además de contar con 122 empresas certificadas con la NOM-034-FITO-1995, la cual establece los requisitos y

especificaciones para inicio de funcionamiento de personas interesadas en fabricación, formulación, maquila e importación de plaguicidas (SENASICA, 2016). Es notorio que a pesar de que México participa en convenios internacionales como el Codex alimentario (FAO/WHO, 2019), Convenio de Rottendam (Rotterdam Convention 2010), Convenio de Estocolmo (SEMARNAT, 2017) y el Protocolo de Montreal (PNUMA, 2016), todos con consecuencias operativas directas en el manejo de los plaguicidas, no obstante, que México participa en estos tratados, se encuentran registros sanitarios de plaguicidas con vigencia indeterminada de producción, otorgados por la COFEPRIS que incluyen sustancias de alta toxicidad documentadas por organismos internacionales y a pesar de ser casi indispensables para la producción comercial de cultivos gran escala, se tiene evidencia del que daño al ambiente (Tabla 1). Además, que se encuentran autorizados más de 180 i. a de plaguicidas catalogados como Plaguicidas Altamente Peligrosos, de los cuales 140 i. a. son prohibidos o no autorizados en otros países y 65 son altamente peligrosos (Bejarano, 2017).

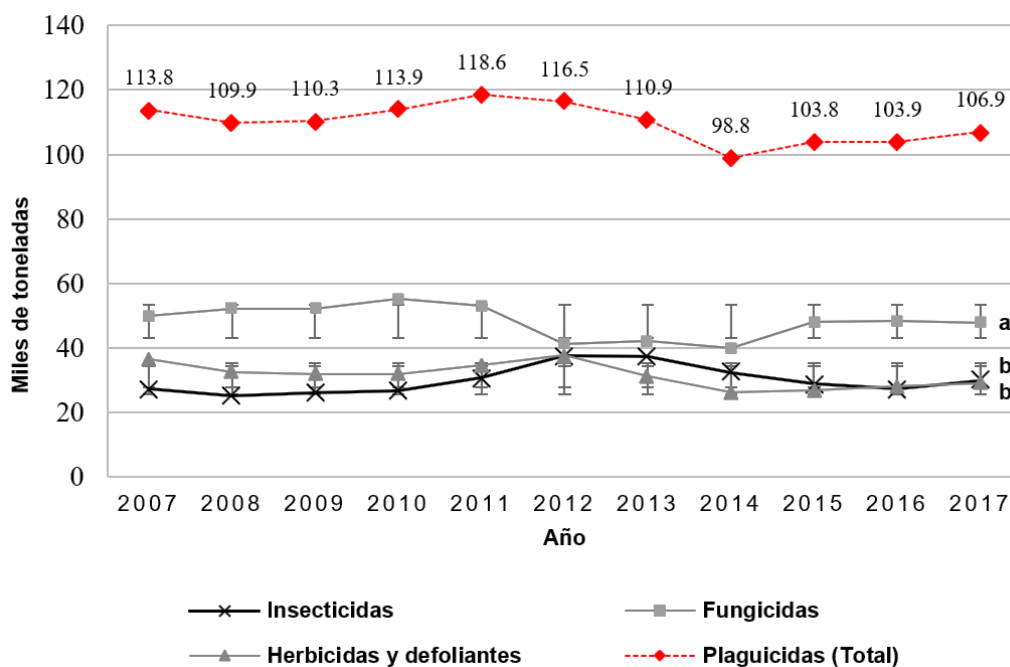


Figura 1. Producción plaguicidas en México (2007-2017) [†]. Fuente: Elaborado con datos de la SEMARNAT, (2019). [†]Datos previos al año 2007 no disponibles. Las barras representan la desviación estándar de la media. Letras diferentes indican diferencias estadísticas ($p < 0.05$).

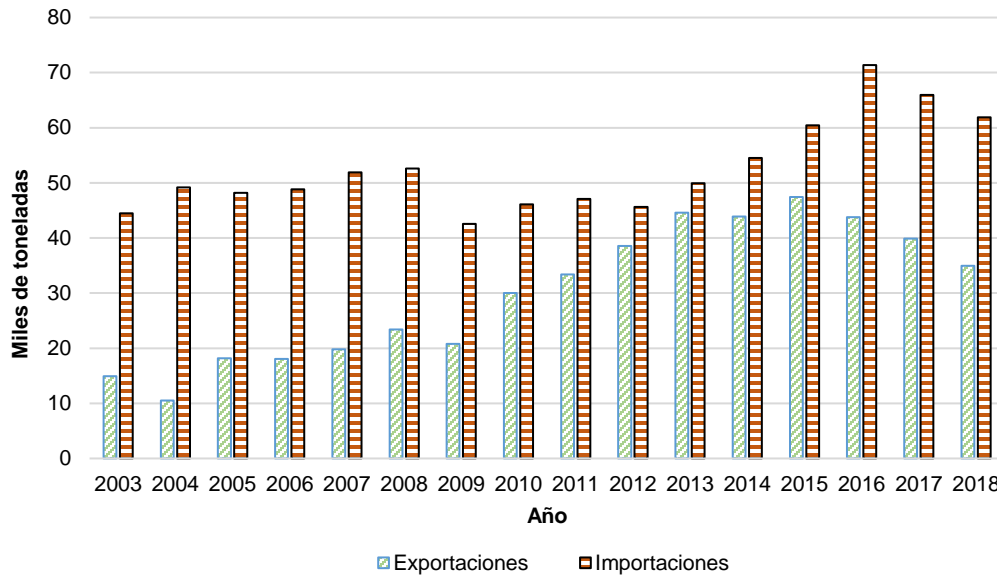


Figura 2. Exportaciones e importaciones de plaguicidas en México. Fuente: Elaborado con datos de la Secretaría de Economía. Sistema de Información Arancelaria Vía Internet [SIAVI] (2018).

García-Hernández et al. (2018), menciona que existe poca información publicada sobre los patrones de uso de plaguicidas en las prácticas agrícolas a nivel nacional, en su mayoría de las publicaciones son reportes cualitativos del uso de plaguicidas obtenidos mediante entrevistas. En México durante las dos últimas décadas (2000-2016), el consumo total de plaguicidas se incrementó entre 57-65 %. Estas estimaciones solo se pueden obtener mediante las estadísticas de la FAO y de la SEMARNAT, con datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Es notorio que comparativamente, los datos

disponibles del consumo de plaguicidas reportados por la FAOSTAT (i. a) y la SEMARNAT (sin especificar si es i. a.), presenten diferencias de aproximadamente del 27 % en promedio anual, equivalente a la utilización de 14,000 t de plaguicidas por año. Esta cantidad es similar a la consumida en el año 2016 por Bolivia (>14,000 t) y Bangladesh (>14,000), pero superior a países como Marruecos (>13,000 t), Uruguay (>13,000 t), Congo (>12,000 t), Grecia (>10,000 t), Portugal (>9,000 t), Holanda (>9,000 t), Egipto (>8,000 t), Honduras (>7,000 t), entre otros (FAO 2018).

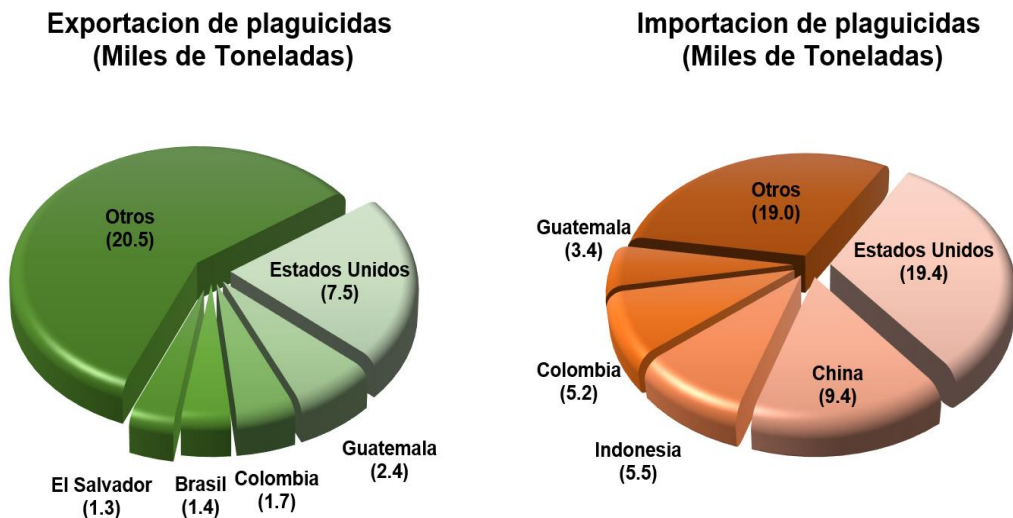


Figura 3. Principales países de exportación e importación de plaguicidas en México, 2018. Fuente: Elaborado con datos de la SIAVI, (2018).

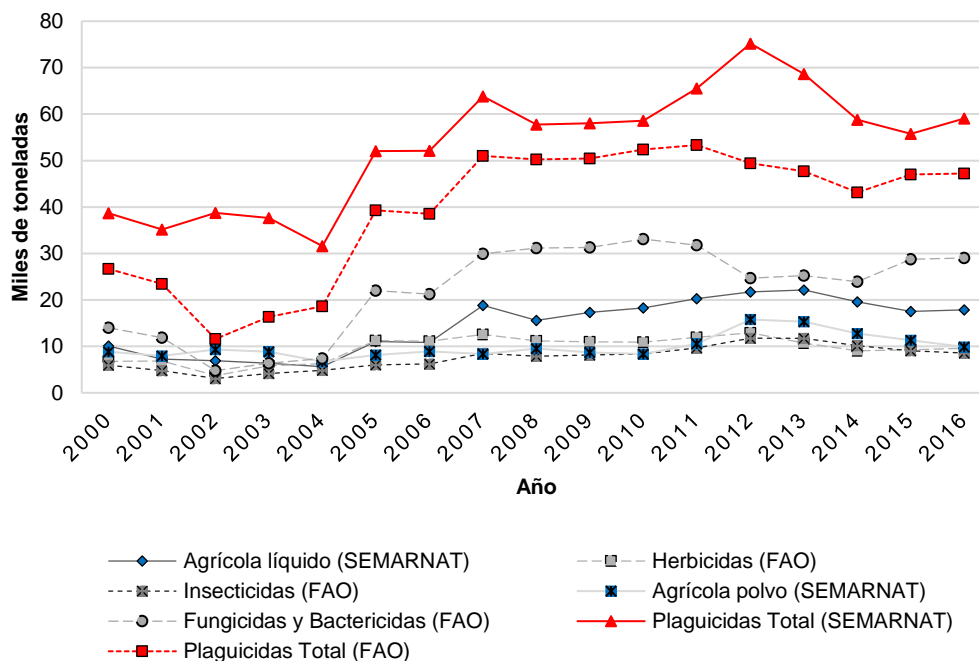


Figura 4. Consumo de plaguicidas en México de la SEMARNAT por tipo de producto y de la FAO de i. a. Fuente: Elaborado con datos de la SEMARNAT-SNIAR, (2019) y FAOSTAT, (2019).

Las incongruencias entre las estadísticas nacionales con las internacionales respecto al consumo total de plaguicidas también se encuentran en otros países que están entre los principales consumidores de plaguicidas (Tabla 2), aunque es escasa la información disponible. La problemática es que ante la evidente incongruencia entre las estadísticas Nacionales/regionales con las Internacionales, la cuantificación real del uso de plaguicidas en muchos países, incluyendo México, es imprecisa, con diferencias de miles de toneladas de i. a., esta situación es una grave amenaza mundial al ambiente, ya que el potencial daño ecológico causado a los ambientes es sub-estimado. Sin duda esta problemática puede deberse a la carencia de un registro y control eficiente de la utilización de plaguicidas por cada región y estado de cada país, en México recientes investigaciones confirman esta situación (Tabla 3). Con la finalidad de solucionar esta problemática, es necesario contar con un registro de plaguicidas confiable e implementar una “Bitácora nacional de registro y utilización de plaguicidas” que incluya, entre otros datos, el tipo de plaguicida utilizado, marca, i. a., dosis aplicada (Kg/ha) y frecuencia de aplicación. La reglamentación en México de plaguicidas deriva de la Secretaría de Salud (SSA), a través de la COFEPRIS, SEMARNAT y Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER), que ejercen atribuciones en registros, importación y exportación, respaldadas por las normas

vigentes en materia de plaguicidas como NOM-082-SAG-FITO/SSA1-2017, NOM-256-SSA1-2012, NOM-232-SSA1-2009 y NOM-034-FITO-1995 (COFEPRIS 2019); sin embargo las evidencias sugieren que las estrategias implementadas podrían ser más eficientes.

CONCLUSIONES

La incongruencia de los datos estadísticos y la evidencia del uso de plaguicidas altamente peligrosos en México, representa una amenaza subestimada con implicaciones negativas ambientales, económicas y sociales. Diseñar estrategias para la cuantificación real de plaguicidas, como un modelo a seguir, se propone: 1) Crear un programa de inventario y registro nacional de los plaguicidas utilizados, que incluya: tipo, marca, i. a., dosis aplicada (Kg/ha) y frecuencia de aplicación, por cada región y estado de cada país; 2) Disminuir sistemáticamente la cantidad de plaguicidas utilizados, principalmente lo altamente tóxicos y homologar los estándares a los de los convenios internacionales; 3) Involucrar a los productores y los sectores agrícolas, gubernamentales, empresariales y académicos para implementar estrategias coordinadas que promuevan una regulación eficiente del control y mercado de los plaguicidas, que incluyan la capacitación y certificación de personal para el manejo y la eliminación adecuada de los desechos.

Tabla 1. Estudios de contaminación ambiental de pesticidas que se comercializan en México.

Plaguicida	Tipo	Toxicidad o contaminación	Efecto	Modelo o método	Lugar	Ref.
Glifosato y Boscalid, Epoxiconazol y Tebuconazol	Herbicida fungicida	Presencia de mezclas de residuos de pesticidas en los suelos	Contaminación del suelo por residuos de y toxicidad en especies no objetivo	Cromatografía	Unión Europea	Silva et al. (2019)
Organoclorados, hexaclorocicloh exano, aldrina, clordanos, endosulfanes, metoxicloro, y heptacloro	Insecticida	Huevos de dos especies de tortugas marinas (Eretmochelys imbricata y Chelonia mydas)	Concentración de contaminantes en las tortugas	Cromatografía	México	Salvarani et al. (2019)
Azoxistrobin	Fungicida	Desarrollo	Afecta la supervivencia, el desarrollo y los genes implicados en el sistema endocrino, el estrés oxidativo y la apoptosis en embriones F1	Embriones F1 de pez cebra (<i>Danio rerio</i>)	China	Cao et al. (2018)
Paraquat y Maneb	Insecticida y fungicida	Metabolismo fisiológico	En combinación aumentan la producción de especies reactivas de oxígeno	Cultivos primarios de células madre neurales embrionarias (NSC) de rata	Suecia	Colle et al. (2018)
Difenoconazol, Ametrina y Diurón, y; Carbarilo, Clorpirifos, Diazinón y Etoprofos.	Fungicida Herbicida Insecticida	Estos riesgos de toxicidad y la liberación de pesticidas	Riesgos tóxicos para macro-invertebrados, algas, macrófitos.	Modelos recientes de ERA. PERPEST, SSD y msPAF	Costa Rica	Rämö et al. (2016)
Cumafós	Insecticida	Toxico para fauna de insectos beneficios	Residuos de cera en abejas	Cromatografía	México	Valdovinos-Flores et al. (2016)
Endosulfan	Insecticida	Suelo	Residuos en suelos	Cromatografía	México	Zúñiga-Violante et al. (2015)
Organoclorados	Insecticida	Riesgos a la salud humana	Residuos en carne de ovejas	Cromatografía	México	Pardío, et al. (2012)

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2. Diversos países que presentan informes regionales y de la FAOSTAT del consumo de plaguicidas.
Consumo de plaguicidas (miles de ton.)

País	Informe regional			Informe FAOSTAT			Diferencia (%)
	Dependencia	Cantidad	Año*	Cantidad	Dependencia	Año*	
China	National Bureau of Statics of China http://data.stats.gov.cn/english/easyquery.htm?cn=C01	1,783	2015	1,763	FAO	2015	1 %
USA	US EPA https://www.epa.gov/pesticides/pesticides-industry-sales-and-usage-2008-2012-market-estimates	> 536	2012	>407	FAO	2012	31 %
Brasil	CONAB (Compañía Nacional De Abastecimiento) e IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis) https://www.ibama.gov.br/	551	2016	>377	FAO	2016	46 %
Colombia	Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/pib/ambientales/Sima/Relacion_consumo_plaguicidas_13.xls	> 47	2015	>52	FAO	2015	11 %
India	Ministry of Agriculture & Farmers Welfare http://ppqs.gov.in/divisions/pesticides-monitoring-documentation	57	2016-17	>50	FAO	2016	12 %
México	SEMARNAT https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/indicadores17/conjunto_b/indicador/02_agua/2_2_5.html	59.06	2016	47.22	FAO	2016	25 %

*Último año de información disponible de la dependencia regional, comparado con el informe de la FAOSTA en el mismo periodo. Fuente: Elaboración propia con datos con base de datos de ministerios de agricultura de cada país y FAOSTAT, (2018).

Tabla 3. Métodos de estimación de plaguicidas utilizados en diversos estados de la república mexicana durante el periodo 2008-2018.

Plaguicida utilizado	Uso estimado (t)	Método de estimación	Estado	Año	Referencia
Organofosforados, piretroides, carbamatos y organoclorados.	N. R.	Cuestionarios	Nayarit	2014-2015	Benítez-Trinidad et al. (2018)

Plaguicida utilizado	Uso estimado (t)	Método de estimación	Estado	Año	Referencia
Insecticidas organofosforados, como el endosulfán, herbicidas (2,4-D, paraquat y glifosato) y fungicidas (clorotalonil y mancozeb)	16 a 211 t por temporada.	Análisis de información de fuentes bibliográficas	Sonora	2010-2014	Silveira-Gramont et al. (2018)
Plaguicidas en general	37,455 t (insecticidas) 31,195 t (herbicidas) 42,223 t (fungicidas)	Reporte de la FAO	Campeche, Chiapas, Chihuahua, Michoacán, Nayarit, Puebla, Sinaloa, Tamaulipas y Veracruz.	2013	Gálvez-Gamboa et al. (2018)
40% fungicidas, un 35% insecticidas y 25% herbicidas	270 de i.a.	Base de datos de las ventas de agroquímicos reportadas por distribuidoras	Sonora (Valle del Yaqui)	2009 -2010	García-Hernández et al. (2017)
Clorpirifos, 2,4-D; glifosato, captan, mancozeb.	9,878 t o miles de litros, para cereales	Entrevistas, inventarios e información bibliográfica	Guanajuato	2014-2015	Pérez-Olvera et al. (2017)
59 grupos químicos, siendo los dominantes los ditiocarbamatos, bupiridilos, organofosforados y organoclorados. Carbamatos y ditiocarbamatos, seguido de los compuestos de cobre y piretroides	78 t i.a. 223 t i. a. anuales	Inventario, bitácoras de aplicación de empresas agrícolas y de envases vacíos.	Sinaloa (Valle agrícola de Culiacán)	2011-2012	Leyva-Morales et al. (2014)
Organofosforados, sal de ácido benzoico y el grupo clorfenoxi en el Distrito de Riego (DR) 063 y oxiclورو de fosfometilglicina, y el grupo clorfenoxi en la zona agrícola de referencia (ZAR)	N. R.	Entrevistas a trabajadores	Puebla	2011	Ortega-Martínez et al. (2014)
	Zona agrícola DR 063, 707 t. Zona agrícola ZAR, 521 t.	Estudios sobre inventarios de consumo	Sinaloa	2007- 2008	Hernández-Antonio y Hansen (2011)
Insecticidas (45.9 %), seguidos de herbicidas (30.5 %) y fungicidas (20.1 %)	N. R.	Cuestionario	Nayarit	2007 y 2008	González-Arias et al. (2010)

Plaguicida utilizado	Uso estimado (t)	Método de estimación	Estado	Año	Referencia
Insecticidas como OP (metamidofos, malatión y diazinón), CB (metomilo, carbofurano, mancozeb y benomilo), piretroides (permetrina, cipermetrina y cihalotrina lambda); y herbicidas (paraquat, 2,4-D y glifosato).	N. R.	Cuestionario	Yucatán	2005	Pérez-Herrera et al. (2008)

N. R.= no registrado. Fuente: Elaboración propia.

Agradecimientos

Se agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada a Andy J. Moo Muñoz para realizar estudios de posgrado.

Financiamiento. Nada que declarar.

Conflicto de interés. Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

Cumplimiento de estándares éticos. Nada que declarar.

Disponibilidad de datos: Los datos están disponibles con Pablo Moreno (saieto@hotmail.com), previa solicitud.

REFERENCIAS

- Amizadeh, M., Safari-Kamalabadi, M., Askari-Saryazdi, G., Amizadeh, M. and Reihani-Kermani, H., 2017. Pesticide Exposure and Head and Neck Cancers: A Case-Control Study in an Agricultural Region. *Iranian Journal of Otorhinolaryngology*. 29(94):275-285.
- Arellano-Aguilar, O. y Rendón von Osten, J., 2016. *La huella de los plaguicidas en México*. Greenpeace México A. C, México.
- Bejarano, G. F., 2017. *Los Plaguicidas Altamente Peligrosos en México*. Ed. RAPAM, CIAD, Red Temática de Toxicología e Plaguicidas, UAEMEX, INIFAP, UCCS, IPEN, PNUD. Primera edición. México.
- Brühl, C. A. and Zaller, J. G., 2019. Biodiversity Decline as a Consequence of an Inappropriate Environmental Risk Assessment of Pesticides. *Frontiers in Environmental Science*, 7:177. doi:10.3389/fenvs.2019.00177
- Benítez-Trinidad, A., Herrera-Moreno, J., Xotlanihua-Gervacio, M., Bernal-Hernández, Y., Medina-Díaz, I., Barrón-Vivanco, B., González-Arias, C., Rojas-García, A. 2018. Patrón de uso de plaguicidas y biomarcadores bioquímicos en una población de fumigadores urbanos. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 34, 61-71. doi: 10.20937/RICA.2018.34.esp01.04
- Cao, F., Li, H., Zhao, F., Wu, P., Qian, L., Huang, L., Pang, S., Martyniuk, C. J., Qiu, L., 2019. Parental exposure to azoxystrobin causes developmental effects and disrupts gene expression in F1 embryonic zebrafish (*Danio rerio*). *Science of The Total Environment*, 646, 595–605. doi:10.1016/j.scitotenv.2018.07.331
- Carvalho, F. P., 2017. Pesticides, environment, and food safety. *Food and Energy Security*, 6(2), 48–60. doi:10.1002/fes3.108
- Colle, D., Farina, M., Ceccatelli, S., Raciti, M., 2018. Paraquat and Maneb Exposure Alters Rat Neural Stem Cell Proliferation by Inducing Oxidative Stress: New Insights on Pesticide-Induced Neurodevelopmental Toxicity. *Neurotoxicity Research*, 34(4):820-833. doi:10.1007/s12640-018-9916-0
- Comisión Federal para la Protección Contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS), 2018. *Consulta de Registros Sanitarios de Plaguicidas, Nutrientes Vegetales y LMR*. [En línea] Disponible en: <http://siipris03.cofepris.gob.mx/Resoluciones/Consultas/ConWebRegPlaguicida.asp> [Accesado 15 de Julio de 2019].
- Comisión Federal para la Protección Contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS), 2019. *Marco jurídico-NOMs-Plaguicidas*. [En línea] Disponible en: <http://transparencia.cofepris.gob.mx/index.php/es/marco-juridico/normas-oficiales-mexicanas/plaguicidas> [Accesado 7 de agosto de 2019].

- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2019. *FAOSTAT. Plaguicidas Uso*. Rome, Italy. [En línea] Disponible en: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/RP> [Accesado 21 de mayo de 2019].
- Food and Agriculture Organization of the United Nations & World Health Organization (FAO/WHO), 2019. *Codex Alimentarius*. [En línea] Disponible en: www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/about-codex/members/en/ [Accesado 14 de julio de 2019].
- García-Hernández, J., Leyva-Morales, J., Martínez-Rodríguez, I., Hernández-Ochoa, M., Aldana-Madrid, M., Rojas-García, A., Betancourt-Lozano, M., Perez-Herrera, N., Perera Ríos, J., 2018. *Estado actual de la investigación sobre plaguicidas en México*. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 34, 29-60.
- Gálvez-Gamboa, G. T., Sánchez-Servín, M. R., Parra-Cota, F., García-Pereyra, J., Aviña-Martínez, G. N. 2018. Plaguicidas en la agricultura mexicana y potenciales alternativas sustentables para su sustitución. *Revista biológico agropecuaria Tuxpan*, 7:1977-91.
- García-Hernández, J., Leyva-García, G., y Aguilera-Márquez, D. 2017. Los plaguicidas altamente peligrosos en el Valle del Yaqui, Sonora. In: Bejarano-González F (Eds.). *Los Plaguicidas Altamente Peligrosos en México*. México: RAPAM, CIAD, Red Temática de Toxicología e Plaguicidas, UAEMEX, INIFAP, UCCS, IPEN, PNUD. pp. 173-183.
- González-Arias, C.A., Robledo-Marengo, M. A., Medina-Díaz, I. M., Velázquez-Fernández, J. B., Girón-Pérez, M. I., Quintanilla-Vega, B., Ostrosky-Wegan, P., Pérez-Herrera, N. E., Rojas-García, A. E., 2010. Patrón de uso y venta de plaguicidas en Nayarit, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 26: 221-228.
- Hernández-Antonio, A. y Hansen, A. M., 2011. Uso de plaguicidas en dos zonas agrícolas de México y evaluación de la contaminación de agua y sedimentos. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 27:115-127.
- Leyva-Morales, J. B., García de la Parra, L. M., Bastidas-Bastidas, P. J., Astorga-Rodríguez, J. E., Bejarano-Rodríguez, J., Cruz-Hernández, A., Martínez-Rodríguez, I. E., Betancourt-Lozano, M. 2014. Uso de plaguicidas en un valle agrícola tecnificado en el noroeste de México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 30: 247-261.
- Kaur, R., Mavi, G. K., Raghav, S., Khan, I., 2019. Pesticides Classification and its Impact on Environment. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 8, 1889–1897. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2019.803.224>.
- Nagy, K., Zheng, C., Bolognesi, C., Ádám, B., 2019. Interlaboratory evaluation of the genotoxic properties of pencycuron, a commonly used phenylurea fungicide. *Science of The Total Environment*, 647, 1052–1057. doi:10.1016/j.scitotenv.2018.08.067
- Notarnicola, B., Sala, S., Anton, A., McLaren, S. J., Saouter, E., 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. doi:10.1016/j.jclepro.2016.06.071
- Organización Mundial de la Salud (OMS), 2018. *Residuos de los plaguicidas en los alimentos*. [En línea] Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/pesticide-residues-in-food> [Accesado 6 de abril de 2019].
- Ortega-Martínez, L. D., Martínez-Valenzuela, C., Huerta de la Peña, A., Ocampo-Mendoza, J., Sandoval-Castro, E., Jaramillo-Villanueva, J. L., 2014. Uso y manejo de plaguicidas en invernaderos de la región norte del estado de Puebla, México. *Acta Universitaria*, 24: 3-12. doi: 10.15174.au.2014.570.
- Pan, X., Cheng, Y., Dong, F., Liu, N., Xu, J., Liu, X., Wu, X., Zheng, Y., 2018. Stereoselective bioactivity, acute toxicity and dissipation in typical paddy soils of the chiral fungicide propiconazole. *Journal of Hazardous Materials*, 359, 194–202. doi:10.1016/j.jhazmat.2018.07.061
- Pardío, V., Martínez, D., Flores, A., Romero, D., Suárez, V., López, K., Uscanga, R., 2012. Human health risk of dietary intake of organochlorine pesticide residues in bovine meat and tissues from Veracruz, México. *Food Chemistry*, 135(3), 1873–1893. doi:10.1016/j.foodchem.2012.06.079
- Pérez-Herrera N., Polanco-Minaya, H., Salazar-Arredondo, E., Solís-Heredía, M. J., Hernández-Ochoa, I., Rojas-García, E., Alvarado-Mejía, J., Borja-Aburto, V.H., Quintanilla-Vega, B., 2008. PON1Q192R genetic polymorphism modifies organophosphorous pesticide effects on semen quality and DNA integrity in agricul-

- tural workers from southern México. *Toxicology and Applied Pharmacology*. 15; 230:261-8. doi: 10.1016/j.taap.2008.02.021.
- Pérez-Olvera, M. A., Navarro-Garza, H., Flores-Sánchez, D., Ortega-García, N., Tristán-Martínez, E., 2017. Plaguicidas altamente peligrosos utilizados en el Bajío de Guanajuato. In: Bejarano-González F (Eds.), *Los Plaguicidas Altamente Peligrosos en México*. México: RAPAM, CIAD, Red Temática de Toxicología e Plaguicidas, UAEMEX, INIFAP, UCCS, IPEN, PNUD. 221-245.
- Pesticide Action Network, North America (PAN), 2019. *Pesticide Database*. Berkeley, CA, 2019. [En línea] Disponible en: <http://www.pesticideinfo.org> [Accesado 23 de Nov. de 2019.]
- Pesticide Action Network UK (PANUK), 2019. *Conference of the Parties (COP) – May 2019*. [En línea] Disponible en: <https://www.panuk.org/conference-of-the-parties-cop-may-2019/> [Accesado 7 de Dic. de 2019].
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), 2016. *Manual del Protocolo de Montreal relativo a las sustancias que agotan la Capa de Ozono*. Secretaría del Ozono, PNUMA. Décima edición, Kenia. 793.
- Rämö, R. A., van den Brink, P. J., Ruepert, C., Castillo, L. E., Gunnarsson, J. S., 2016. Environmental risk assessment of pesticides in the River Madre de Dios, Costa Rica using PERPEST, SSD, and msPAF models. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(14), 13254–13269. doi:10.1007/s11356-016-7375-9.
- Rotterdam Convention, 2010. *Productos Químicos del Anexo III*. [En línea] Disponible en: <http://www.pic.int/EIConvenio/ProductosQu%C3%ADmicos/AnexoIII/tabid/2031/language/es-CO/Default.aspx>. [Accesado 20 de Dic. de 2019].
- Secretaría de Economía. Sistema de Información Arancelaria Vía Internet (SE-SIAVI), (2018). 38. *Productos diversos de la industria química*. [En línea] Disponible en: <http://www.economia-snci.gob.mx/> [Accesado 11 de Junio de 2019].
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), 2017. *Plan Nacional de Implementación del Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes México 2016*. SEMARNAT. Primera edición. México. 157.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), 2019. *Producción de insecticidas y plaguicidas de la Encuesta Mensual de la Industria Manufacturera*. [En línea] Disponible en: http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi_apps/WFServlet?IBIF_ex=D2_AGRIGAN05_06&IBIC_user=dgeia_mce&IBIC_pass=dgeia_mce&NOMBREANIO=* [Accesado 1 de Dic. de 2019].
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), (2019b). *Agua Indicador básico 2.2-5. Consumo aparente de plaguicidas*. [En línea] Disponible en: https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/indicadores17/conjuntob/indicador/02_agua/2_2_5.html [Accesado 22 de Mayo de 2019].
- Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA), 2016. *Directorios de empresas de plaguicidas*. [En línea] Disponible en: <https://www.gob.mx/senasica/documentos/empresas-de-plaguicidas-certificadas> [Accesado 5 de Julio de 2019].
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera/Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SIAP-SAGARPA), 2017. *Anuario Estadístico de la Producción Agrícola*. [En línea] Disponible en: <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola> [Accesado 1 de Sep. de 2019].
- Silva, V., Mol, H. G. J., Zomer, P., Tienstra, M., Ritsema, C. J., Geissen, V., 2018. Pesticide residues in European agricultural soils – A hidden reality unfolded. *Science of The Total Environment*, 653:1532-1545 doi:10.1016/j.scitotenv.2018.10.441.
- Salvarani, P. I., Morgado, F., Vieira, L. R., Osten, J. R., 2019. Organochlorines Contaminants in Eggs of Hawksbill (*Eretmochelys imbricata*) and Green Sea Turtles (*Chelonia mydas*) from Mexico coast. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*. 76(3):425-434. doi: 10.1007/s00244-018-00589-3
- Silveira-Gramont, M, I., Aldana-Madrid, M. L., Piri-Santana, J., Valenzuela-Quintanar A., I., Jasa-Silveira, G., Rodríguez-Olibarria, G., 2018. Plaguicidas agrícolas: un marco de referencia para evaluar riesgos a la salud en comunidades rurales en el estado de sonora, México. *Revista Internacional de*

- Contaminación Ambiental*, 34 (1): 7-21. doi: 10.20937/RICA.2018.34.01.01
- United States Environmental Protection Agency (USEPA), 2018. *Basic Information about Pesticide Ingredients*. [En línea] Disponible en: <https://www.epa.gov/ingredients-used-pesticide-products/basic-information-about-pesticide-ingredients> [Accesado 26 de Abril de 2019].
- Valdovinos-Flores, C., Gaspar-Ramírez, O., Heras-Ramírez, M. E., Lara-Álvarez, C., Dorantes-Ugalde, J. A., Saldaña-Loza, L. M., 2016. Boron and Coumaphos Residues in Hive Materials Following Treatments for the Control of *Aethina tumida* Murray. *PLOS ONE*, 11(4), e0153551. doi:10.1371/journal.pone.0153551.
- Varah, A., Ahodo, K., Coutts, S. R., Hicks, H. L., Comont, D., Crook, L., Hull, R., Neve, P., Childs, D. Z., Freckleton R. P., Norris, K., 2019. The costs of human-induced evolution in an agricultural system. *Nature Sustainability*, 3(1):63-71 doi:10.1038/s41893-019-0450-8.
- Vargas-González, G., Alvarez-Reyna, V. 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. *CienciaUAT*, 13(2): 113-127. doi: 10.29059/cienciauat.v13i2.1141.
- World Health Organization & Food and Agriculture Organization of the United Nations (WHO & FAO), 2016. *International code of conduct on pesticide management: guidelines on highly hazardous pesticides*. World Health Organization. Roma. 2016. vi. [En línea] Disponible en: <http://www.who.int/iris/handle/10665/20556> 1.
- Yadav, I. C. and Devi, N. L., 2017. Pesticides classification and its impact on human and environment. *Environmental Science and Engineering Volume 6: Toxicology*. 140-158.
- Zúñiga-Violante, E., Daesslé, L.W., Camarena-Ojinaga, M.L., Gutiérrez-Galindo, E.A. y Arellano-García M.E., 2015. Distribución de contaminantes orgánicos e inorgánicos en el valle agrícola de Maneadero, Baja California, México. *Investigación Ambiental* 7 (1), 13-24.