

# Plaguicidas en la producción agrícola y su impacto en la salud pública en México

Víctor Daniel Manzano-Cruz<sup>1</sup>, Lilia Cedillo-Ramírez<sup>2</sup>, Omar Romero-Arenas<sup>3</sup> y Antonio Rivera<sup>2\*</sup>

Posgrado en Manejo Sostenible de Agroecosistemas<sup>1</sup>

Centro de Investigaciones en Ciencias Microbiológicas<sup>2</sup>, Centro de Agroecología<sup>3</sup>

Instituto de Ciencias

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP)

Puebla de Zaragoza, Pue.; México

\*Autor de correspondencia: jart70@yahoo.com

**Abstract** – The intensive use of pesticides is a global problem due to the adverse effects that affect ecosystems and indirectly on the public health of exposed populations. Different works have documented the relationship between acute and/or chronic exposure to pesticides with negative effects on public health. The objective of this work was to carry out a review of the scientific literature regarding the use of pesticides in agricultural practice and their effects on the health of the Mexican population. A review was conducted based on Cochrane Handbook. The online databases Scopus, PubMed and Web of Science were used, using the search terms “pesticides”, “health”, “disease”, “Mexico” and “agriculture”, combining them using Boolean operators. Twenty articles met the inclusion criteria, 56% reported studies on agricultural workers and 44% on populations where women and children are involved, with the states of Sinaloa and Baja California reporting the most studies, 17%, respectively and in the state of Guerrero with 13% of reports. The most reported public health effects are inhibition of cholinesterase, genotoxic damage, detection of residues in breast milk and alterations in the menstrual cycle.

*Key words: Pesticides, agroecology, public health, Mexico.*

**Resumen** - El uso intensivo de plaguicidas es una problemática global debido a los efectos adversos que se condicionan en los ecosistemas y de forma indirecta en la salud pública de las poblaciones expuestas. Diferentes trabajos han documentado la relación entre la exposición aguda y/o crónica a los plaguicidas con efectos negativos en salud pública. El objetivo de este trabajo fue realizar una revisión de la literatura científica referente al uso de plaguicidas en la práctica agrícola y sus efectos en la salud de la población mexicana. Se realizó una revisión basada en el Manual Cochrane. Se utilizaron las bases de datos online Scopus, PubMed y Web of Science, utilizando los términos de búsqueda “pesticides”, “health”, “disease”, “México” y “agriculture” combinándose por medio de operadores Booleanos. Veinte artículos cumplieron los criterios de inclusión, 56% se reportan estudios en trabajadores agrícolas y el 44% en poblaciones donde se involucran mujeres y niños, siendo los estados de Sinaloa y Baja California donde se reportan más estudios, 17% respectivamente y en el estado de Guerrero con un 13% de reportes. Los efectos relacionados a salud pública que más se reportan son la inhibición de la colinesterasa, daño genotóxico, detección de residuos en leche materna y alteraciones en el ciclo menstrual.

*Palabras claves: Plaguicidas, agroecología, salud pública, México.*

## I. INTRODUCCIÓN

La tecnificación agrícola, resultado de la revolución verde de mediados del siglo XX, permitió incrementar la producción de cultivos mediante la utilización de insumos derivados de los avances científicos de la época. Sin embargo, este progreso tuvo un costo incalculable a nivel ecológico, económico, político y social [1,2].

Los plaguicidas, que son sustancias o mezcla sustancias, químicas o biológicas destinadas a repeler, destruir o controlar cualquier plaga o regular el crecimiento vegetal [3], forman parte del paquete tecnológico heredado de la revolución verde y que aun en la actualidad continúa siendo estándar a nivel mundial en la práctica agrícola. Entre los años 2000 y 2018 el uso de estas sustancias aumentó casi una tercera parte, alcanzando en ese último año, los 4.1 millones de toneladas consumidas alrededor del

mundo. China, USA y Brasil se destacan como las naciones con mayor consumo de plaguicidas, mientras que el continente asiático, por si solo acapara más del 50% del consumo en el mundo [4,5].

El papel que los plaguicidas desempeñan en la agricultura es muy importante desde el punto de vista del control de plagas, la reducción de pérdidas en la producción de alimentos y el control de vectores de enfermedades, puntos críticos para mejorar la calidad de la alimentación. No obstante, su uso continuo ha provocado efectos adversos tanto al ambiente como a la salud humana a causa de la capacidad que tienen de contaminar el suelo, el agua, la vegetación, además del peligro que representan para los organismos vivos debido a su toxicidad [6,7].

Esta toxicidad intrínseca que ostentan, siendo sustancias con la capacidad específica de matar, representa un riesgo para el ser humano y otros seres vivos con funciones fisiológicas y/o bioquímicas similares a las de las especies que tienen como objetivo eliminar [8,9]. Diversas enfermedades neurodegenerativas, respiratorias, reproductivas, metabólicas y del desarrollo como lo son distintos cánceres, Alzheimer, Parkinson, esclerosis, asma, bronquitis, infertilidad, trastornos congénitos, déficit de atención, hiperactividad, autismo, diabetes u obesidad, han sido identificadas y vinculadas con la exposición crónica y sub-letal a distintos tipos de plaguicidas [10].

En México, durante el 2018 fueron aplicadas más de 53 mil toneladas de plaguicidas, sin embargo, los datos disponibles sobre la utilización de plaguicidas en la práctica agrícola siguen siendo limitados y superficiales, desconociéndose detalles como cuales son los grupos o ingredientes activos más utilizados y en que cultivos se aplican en mayor cantidad y frecuencia. Esta carencia de información cualitativa y cuantitativa, no oculta que existe evidencia suficiente para sugerir que la utilización de plaguicidas en el territorio mexicano ha contribuido al deterioro de la salud de la población expuesta, por lo que es fundamental que se identifique y delimite la relación existente, a fin de dimensionar adecuadamente la situación y así poder establecer acciones que permitan prever y controlar los daños a la salud que los plaguicidas generan [11]. Esta cuantificación de riesgos, que a su vez necesita de investigaciones que relacionen la producción de alimentos, los riesgos a la salud humana y la emergencia de enfermedades, es urgente a medida que el desarrollo socioeconómico se abre paso en regiones carentes de regulación y control en las operaciones agrícolas [12].

El presente trabajo presenta el estado en que se encuentra la investigación referente al uso de plaguicidas dentro del territorio mexicano y sus posibles efectos a la salud.

## II. MATERIAL Y METODOS

Se realizó una revisión basada en el Manual Cochrane (red internacional independiente de investigadores, profesionales, pacientes, cuidadores y personas interesadas por la salud, y desde que se fundó en 1993, Cochrane ha contribuido a transformar la manera en que se toman las decisiones en el terreno de la salud), esto con la finalidad de identificar, seleccionar y analizar las publicaciones científicas relevantes sobre el tema. Las bases de datos empleadas fueron Scopus, Web of Science y PubMed. Los términos de búsqueda que se utilizaron fueron “pesticides”, “health”, “disease”, “mexico” y “agriculture”. Estos términos se utilizaron con el método de truncamiento, a fin de ampliar la búsqueda al considerar las distintas terminaciones que cada de estas palabras de ellos puede tener.

En cada una de las bases de datos se efectuaron búsquedas parciales específicas para cada campo de búsqueda (título, resumen y palabras clave) en particular, con la finalidad de facilitar la selección e inclusión de los trabajos a evaluar (Tabla I).

Tabla I. Factores considerados en las búsquedas

Campo de búsqueda	Búsqueda parcial
Título	Mexico
Resumen	Pesticides AND agriculture AND (health OR disease) AND mexico
Palabras clave	pesticides OR agriculture OR health OR diseases OR mexico

Posteriormente, estas búsquedas parciales fueron combinadas mediante el operador AND para asegurar que los artículos identificados en cada una de las bases de datos cumplieran de manera simultánea con los términos de búsqueda en todos los campos. El único tipo de publicaciones que se consideraron fueron artículos científicos en idioma inglés o español, sin restricciones por fecha de publicación o país de origen.

Los artículos identificados se importaron al software de gestión de referencias bibliográficas Zotero, elegido por ser libre y de código abierto. En él se eliminaron todas las referencias duplicadas halladas al conjuntar las búsquedas de las tres bases de datos utilizadas. El protocolo de búsqueda descrito fue aplicado por dos revisores de forma independiente, a fin de reducir sesgos en la selección.

Una vez eliminados los artículos duplicados, los restantes fueron evaluados mediante los criterios de inclusión y exclusión. Aquellos artículos que cumplieron con todos y cada uno de los criterios de inclusión, sin cubrir ninguno de los criterios de exclusión, fueron considerados para la etapa de revisión a texto completo, garantizando así su alineación respecto al objeto de esta investigación y así poderles incluir dentro de la revisión propuesta (Tabla II).

De los artículos seleccionados para formar parte de la revisión, se extrajeron, además de sus conclusiones e ideas principales, información detallada de cada uno de ellos, tales como: autor(es), título, año de publicación, tamaño de muestra, población estudiada, estado donde realizó la investigación, objetivos, instrumentos de recolección de datos, tipo de exposición, tipo de plaguicida utilizado, tipo de condición médica que se presenta, entre otros.

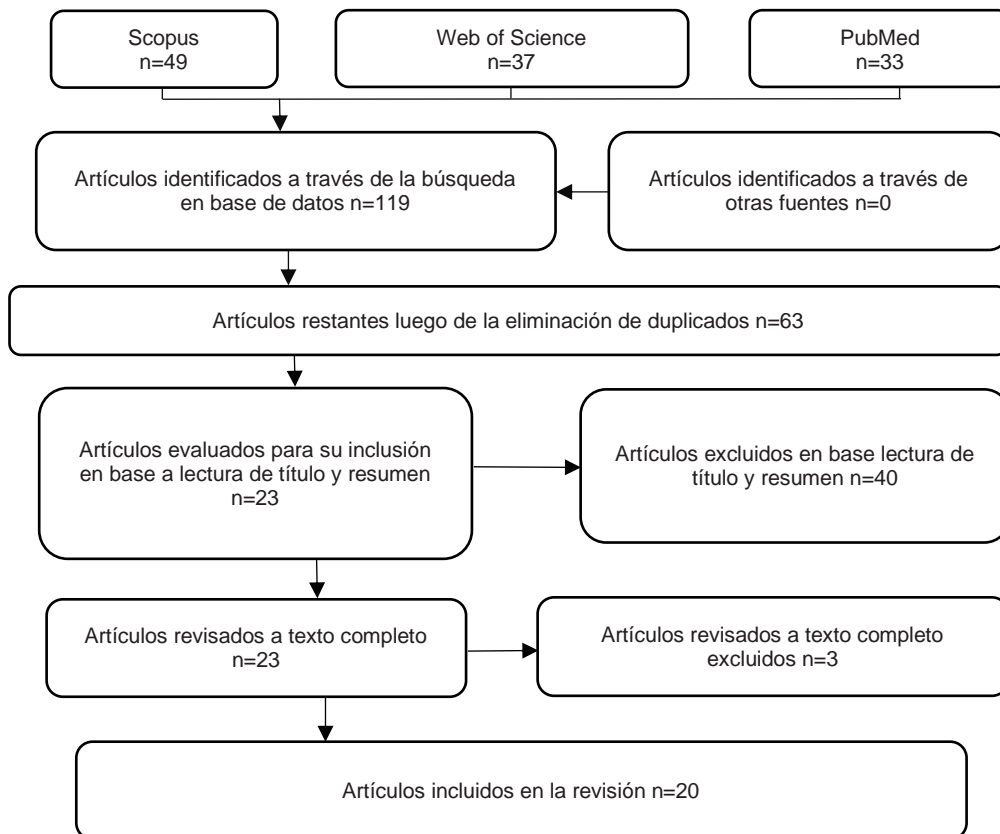
Tabla II. Criterios de selección de artículos

Criterios de inclusión	Criterios de exclusión
Investigación enfocada en seres humanos	Enfocado en especies no humanas
Población estudiada habita en territorio mexicano	La población en estudio habita fuera de México
La exposición se derivó de la práctica agrícola	La exposición no guarda relación con actividades agrícolas
Se identificó relación entre la exposición y el surgimiento de enfermedades o condiciones que favorezcan su aparición	No se establece ninguna relación entre la exposición y la aparición de enfermedades
El artículo contiene información primaria	La investigación no contiene información original
	Sin acceso al artículo

A partir de la información obtenida, los artículos se clasificaron en grupos con características comunes con la finalidad de identificar compatibilidades que facilitaran su análisis.

### III. RESULTADOS

La figura 1 resume el proceso de aplicación del protocolo de búsqueda, así como el número de artículos identificados y resultantes en cada etapa del proceso de selección. Una vez finalizado todo el proceso, únicamente 20 de los 119 artículos identificados inicialmente, cumplieron con todos los requisitos para ser incluidos en la revisión.



**Figura 1.** Diagrama de flujo de la selección de artículos

El concentrado de la información relacionada con las variables analizadas y elementos de los estudios en cada reporte analizados en la presente revisión. Y a partir de las características observadas en las distintas investigaciones, se agruparon en base a la compatibilidad de alguna de sus variables o características.

Los artículos incluidos en el presente estudio fueron publicados entre 1998 y 2020, identificándose trabajos de 11 estados de la república. El 60% de las investigaciones estaban enfocadas en estudiar los efectos de los plaguicidas en los trabajadores agrícolas, dejando de lado la evaluación del riesgo de estas sustancias en la población no expuesta ocupacionalmente. Solamente un artículo tuvo por objetivo el estudio de la población en general, mientras que tres más fueron específicos para niños. Otro dato a remarcar es que al menos una de cada cuatro publicaciones se enfocó en el estudio de los efectos de los plaguicidas en mujeres (Tablas III y IV).

Tabla III. Principales variables y elementos de estudio

Referencia(s)	Tipos(s) de pesticida(s)	Población estudiada	Estado	Variables cuantificadas	Análisis realizado	Tamaño de muestra
13-16	Organofosforados y carbamatos	Campesinos	Chiapas, Sinaloa, Campeche	Inhibición de la enzima colinesterasa, daño genotóxico	Método colorimétrico de Ellman, test de micronúcleos	n=65, n=558, n=127
17	Organoclorados	Mujeres embarazadas	Veracruz	Cantidad de pesticida en tejido adiposo	Cromatografía de gases	n=69
18	Mezcla desconocida	Residentes de zona agrícola	Baja California	Daño genotóxico	Micronúcleos, puentes de cromatina y gemas nucleares	n=25
19	Principalmente organofosforados y carbamatos	Niños	Sinaloa	Efecto genotóxico	Test de micronúcleos y anomalidades nucleares	n=125
20, 21	Organoclorados	Mujeres en periodo de lactancia.	Guerrero	Cantidad de pesticida en grasa de leche materna	Cromatografía de gases	n=342
22	Principalmente organofosforados y carbamatos	Campesinos	Guerrero	Efectos genotóxicos	Ensayo cometa y test de micronúcleos en células bucales	n=11
23	Varios	Campesinas y niños	Baja California	Daño genotóxico	Test de micronúcleos y anomalidades nucleares	n=71
24	Organoclorados	Mujeres en periodo de lactancia	Yucatán	Residuos de pesticida en leche materna	Cromatografía de gases	n=24
25	Organoclorados y organofosforados	Campesinos	Sinaloa	Concentración de plaguicidas en sangre y orina	Cromatografía de gases, biometría hemática diferencial, química sanguínea, enzimas fosfatasa alcalina, transaminasas y acetil colinesterasa	n=49
26	Organofosforados y piretroides	Campesinos	Sonora	Cantidad de metabolitos de pesticidas en la orina	Dilución de isotopos	n=20
27	Varios	Niños y adolescentes habitantes de comunidades agrícolas	Jalisco	Concentración de pesticidas en orina	Cromatografía y espectrometría	n=281
28	Organofosforados	Campesinos	Baja California	Inhibición de acetilcolinesterasa y determinación de síntomas neurológicos	Método colorimétrico de Ellman y la Mini International Neuropsychiatric Interview (MINI)	n=140
29	Organoclorados y organofosforados	Mujeres adolescentes	San Luis Potosí	Daño endocrino a través de la medición de las concentraciones de plaguicidas y niveles hormonales	Quimioluminiscencia, cromatografía y espectrofotometría	n=29
30	Organofosforados y carbamatos	Campesinos	Jalisco	Niveles de biomarcadores de estrés oxidativo y fluidez de la membrana	Oxido-reducción del glutatión, metabolitos de óxido nítrico, niveles de peróxido graso.	n=113
31	Glifosato, ácido aminometilfosfónico y picloram	Campesinos	Sonora	Cantidad de herbicidas en orina y daño celular	Cromatografía líquida y evaluación de micronúcleos y proliferación celular en cultivo de linfocitos	n=45
32	Organoclorados	Campesinos	Baja California Sur	Actividad de glutatión s-transferasa, identificación de polimorfismos	Cromatografía y espectrofotometría	n=63

En total fueron analizadas 1986 personas, en su mayoría a través de pruebas sanguíneas, de orina o evaluaciones al microscopio para identificaciones de anomalidades celulares. Además, la mayoría de las publicaciones refería la aplicación de cuestionarios para complementar y caracterizar la información

derivada de las pruebas de laboratorio. Pudo identificarse también que el 30% de las investigaciones fue referente al daño genotóxico que los plaguicidas provocan o promueven, 20% sobre alteraciones enzimáticas de la colinesterasa, otro 20% en la cuantificación de concentraciones de plaguicidas en el organismo, y el resto de estudios que no pertenecían a estas categorías. Respecto al tipo de plaguicidas mencionados en las distintas publicaciones, más del 60% registraron la utilización de organofosforados, 35% de organoclorados, y aun en menor cantidad, investigaciones de carbamatos y otros plaguicidas menos comunes.

Tabla IV. Análisis de los reportes en relación a los estudios realizados

Grupo	Estudios incluidos, referencias
Estudios referentes a la enzima colinesterasa	13-15, 28
Estudios focalizados en la salud de las mujeres embarazadas o lactantes	17, 20, 21, 24
Estudios acerca del daño genotóxico provocado por plaguicidas	16, 18, 19, 22, 23, 31
Estudios que cuantifican residuos en orina	25-27
Estudios no agrupados	29, 30, 32

#### A. Estudios referentes a la enzima colinesterasa

La inhibición de la enzima colinesterasa es un efecto característico de los organofosforados y carbamatos, lo cual ha promovido ampliamente su utilización como biomarcador de la absorción de estas clases plaguicidas. Muchos de estos compuestos aún siguen utilizándose en México a pesar de su prohibición en otras partes del mundo. En general, los estudios recopilados demuestran que la exposición tanto a carbamatos como a organofosforados disminuye de manera significativa la concentración de colinesterasa en los individuos expuestos. En Sinaloa pudo identificarse, además, que las afectaciones eran de mayor impacto en las mujeres, tanto en términos de disminución de la concentración enzimática y de hemoglobina, como en el aumento de la presencia de síntomas muscarínicos y nicotínicos, y algunas enfermedades como la anemia y la parasitosis. También se encontró evidencia que la reducción de la enzima puede asociarse con efectos neuropsicológicos como la depresión, el riesgo de suicidio y la ansiedad, que no afectan no a los trabajadores expuestos directamente a estas sustancias, sino a las comunidades donde estas actividades se ejecutan.

#### B. Estudios focalizados en la salud de mujeres embarazadas o lactantes

Los estudios identificados que se enfocaron en la población embarazada o lactante, coincidieron tener también como objetivo la evaluación de plaguicidas de la familia de organoclorados, los cuales se encuentran, desde hace algunos años, restringidos para su venta en el país. Un porcentaje muy elevado de las muestras analizadas resultaron positivas a la presencia de estos compuestos, sin embargo, también se pudo establecer la existencia de una tendencia a su disminución, sobre todo cuando los estudios comparaban datos provenientes de mujeres jóvenes, con otras de mayor edad. A pesar del panorama alentador no debe descuidarse el hecho que más allá de su prohibición legal, estos compuestos aun circulan en los campos mexicanos.

### C. Estudios referentes al daño genotóxico

La mayoría de las investigaciones que forman parte de esta revisión (60%) se basaron en la cuantificación del daño genotóxico de los plaguicidas. Se mencionan diversos métodos (intercambio de cromátidas hermanas, puentes de cromatina, gemas nucleares, ensayo cometa etc.) sin embargo el más utilizado en base a su costo-eficiencia es la cuantificación de micronúcleos. La tendencia fue clara, la presencia de estas anomalías celulares se relaciona significativamente con el deterioro de la salud del individuo, presencia que a su vez tiene por origen la exposición a los agroquímicos encargados del control de plagas. Estas diferencias fueron expuestas por los distintos estudios mediante la comparación a grupos de control sin exposición aparente.

### D. Estudios de residuos en orina

Aunque la cuantificación de la concentración de plaguicidas en la orina no se relaciona directamente con alguna condición de salud, los análisis por esta vía representan una alternativa de cuantificación dada la existencia de evidencia científica suficiente de que estas sustancias no transitan a través de los organismos sin causar ningún tipo de daño

## IV. CONCLUSION

De acuerdo con el análisis realizado y a pesar del limitado número de publicaciones científicas identificadas que han abordado el tema de la utilización de plaguicidas en la agricultura y su relación con la aparición y promoción de enfermedades en la población mexicana, existe una clara tendencia que asocia a estas dos variables. Siendo evidente que se trata de un problema que requiere atención urgente e integral por parte de toda la sociedad, pero para tomar las acciones más adecuadas es necesario acumular más información científica al respecto. Por tanto la presente revisión ofrece una síntesis de la evidencia disponible de aspectos cuantitativos y cualitativos de estudios primarios, con la intención de presentar la información existente respecto al tema del uso de los plaguicidas y sus efectos en la población mexicana.

## REFERENCIAS

- [1] Hazell, P. (2010). The Asian green revolution, En D. Spielman y R. Pandya-Lorch (Eds.), Proven successes in agricultural development (pp. 67-97). International Food Policy Research Institute. Recuperado de <http://environmentportal.in/files/Proven%20Successes.pdf>
- [2] Sarandón, S., Flores, C. (2014). La insustentabilidad del modelo de agricultura actual. En S. Sarandón y C. Flores (Eds.). Agroecología: Bases Teóricas para el Diseño y Manejo de Agroecosistemas Sustentables. Pp. 13-42.
- [3] OMS y FAO. (2015). Código internacional de conducta para la gestión de plaguicidas.
- [4] FAO. (2020). World Food and Agriculture - Statistical Yearbook 2020. Rome. <https://doi.org/10.4060/cb1329en>
- [5] FAO. (2020). Plaguicidas uso. <http://www.fao.org/faostat/es/#data/RP>
- [6] Aktar, M., Sengupta, D. y Chowdhury, A. (2009). Impact of pesticides use in agriculture: their benefits and hazards. *Interdisciplinary Toxicology*, 2(1): 1–12. <https://doi.org/10.2478/v10102-009-0001-7>
- [7] OMS y FAO. (2019). Global situation of pesticide management in agriculture and public health.

- [8] Karam, M., Ramírez, G., Bustamante, P., Galván, J. (2004). Plaguicidas y salud de la población. *CIENCIA ergo-sum, Revista Científica Multidisciplinaria de Prospectiva*, 11(3): 246-254.
- [9] INECC. (2019). Elementos para desarrollar una estrategia integral para la gestión responsable de los plaguicidas en México.
- [10] Mostafalou, S., Abdollahi, M. (2017). Pesticides: an update of human exposure and toxicity. *Archives of Toxicology*, 91(2): 549–599.
- [11] Garcia, J., Leyva, J., Martinez, I., Hernandez, M., Aldana, M., Rojas, A., Betancourt, M., Perez, N., Perera, J. (2018). Estado actual de la investigación sobre plaguicidas en México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 34: 29-60.
- [12] Richter, C., Custer, B., Steele, J., Wilcox, B., Xu, J. (2015). Intensified food production and correlated risks to human health in the Greater Mekong Subregion: a systematic review. *Environmental Health: A Global Access Science Source*, 14(43).
- [13] Tinoco-Ojanguren, R. Halperin, D. (1998). Poverty, production, and health: Inhibition of erythrocyte cholinesterase via occupational exposure to organophosphate insecticides in Chiapas, Mexico. *Archives of Environmental Health*, 53(1): 29-35.
- [14] Palacios-Nava, M., Moreno-Tetlacuilo, L. (2004). Health differences between male and female migrant agricultural workers in Sinaloa, Mexico [Diferencias en la salud de jornaleras y jornaleros agrícolas migrantes en Sinaloa, México]. *Salud Pública de México*, 46(4): 286–293.
- [15] Rendón, J., Tinoco-Ojanguren, R., Soares, A. Guilhermino, L. (2004). Effect of pesticide exposure on acetylcholinesterase activity in subsistence farmers from Campeche, Mexico. *Archives of Environmental Health*, 59(8): 418-425.
- [16] Martínez-Valenzuela, C., Gómez-Arroyo, S., Villalobos-Pietrini, R., Waliszewski, S., Calderón-Segura, M., Félix-Gastélum, R., Alvarez-Torres, A. (2009). Genotoxic biomonitoring of agricultural workers exposed to pesticides in the north of Sinaloa State, Mexico. *Environment International*, 35(8): 1155–1159.
- [17] Herrero-Mercado, M., Waliszewski, S., Valencia-Quintana, R., Caba, M., Hernandez-Chalate, F., Garcia-Aguilar, E., Villaba, R. (2010). Organochlorine pesticide levels in adipose tissue of pregnant women in Veracruz, Mexico. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 84(6): 652-656.
- [18] Zuñiga, E., Arellano, E., Camarena, L., Daessle, W., Von-Glascoe, C., Leyva, C. Ruiz, B. (2012). Genetic damage and exposure to pesticides among agricultural workers from Valle de San Quintin, Baja California, Mexico. *Revista de Salud Ambiental*, 12(2): 93-101.
- [19] Gómez-Arroyo, S., Martínez-Valenzuela, C., Calvo-González, S., Villalobos-Pietrini, R., Waliszewski, S. M., Calderón-Segura, M. E., Martínez-Arroyo, A., Felix-Gastelum, R., Lagarda-Escarrega, A. (2013). Assessing the genotoxic risk for Mexican children who are in residential proximity to agricultural areas with intense aerial pesticide applications [Evaluación del riesgo genotóxico de niños Mexicanos que viven cerca de zonas agrícolas con aspersión aérea de plaguicidas]. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 29(3), 217–225.
- [20] Chávez-Almazán, L., Diaz-Ortiz, J., Alarcon-Romero, M., Davila-Vazquez, G., Saldarriaga-Noreña, H., Waliszewski, S. (2014). Organochlorine Pesticide Levels in Breast Milk in Guerrero, Mexico. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 93(3): 294-298.
- [21] Chávez-Alamazán, L., Diaz-Ortiz, J., Saldarriaga-Noreña, H., Davila-Vazquez, G., Santiago-Moreno, A., Rosas-Acevedo, J., Sampedro-Rosas, M., López-Silva, S., Waliszewski, S. (2018). Regional analysis of the contamination by organochlorine pesticides in human milk in Guerrero, México [Análisis regional de la contaminación por plaguicidas organoclorados en leche humana en Guerrero, México]. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 34(2): 225-235.



- [22] Carbajal-López, Y., Gómez-Arroyo, S., Villalobos-Pietrini, R., Calderón-Segura, M. E., Martínez-Arroyo, A. (2016). Biomonitoring of agricultural workers exposed to pesticide mixtures in Guerrero state, Mexico, with comet assay and micronucleus test. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(3): 2513–2520.
- [23] Castañeda-Yslas, I., Arellano-García, M., García-Zarate, M., Ruíz-Ruíz, B., Zavala-Cerna, M., Torres-Bugarin, O. (2016). Biomonitoring with micronuclei Test in buccal Cells of female farmers and children exposed to pesticides of Maneadero Agricultural Valley, Baja California, México. *Journal of Toxicology*, 34: 356-364.
- [24] Polanco, A., Riba, M., Delvalls, A., Araujo, J., Kumar, B., Alvarez, F. (2017). Levels of persistent organic pollutants in breast milk of Maya women in Yucatán, México. *Environmental Monitoring and Assessment*, 189(2): 228-234.
- [25] Galindo-Reyes, J., Alegria, H. (2018). Toxic effects of exposure to pesticides in farm workers in Navolato, Sinaloa (México). *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 34(3): 505-516.
- [26] López-Gálvez, N., Wagoner, R., Beamer, P., De Zapien, J., Rosales, C. (2018). Migrant farmworkers exposure to pesticides in Sonora, México. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(12): 876-883.
- [27] Sierra-Diaz, E., Celis-de la Rosa, A., Lozano-Kasten, F., Trasande, L., Aaron Peregrina-Lucano, A., Sandoval-Pinto, E., Gonzalez-Chavez, H. (2019). Urinary Pesticide Levels in Children and Adolescents Residing in Two Agricultural Communities in Mexico. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(4): 562-570.
- [28] Serrano-Medina, A., Ugalde-Lizárraga, A., Bojórquez-Cuevas, M., Garnica-Ruiz, J., González-Corral, M., García-Ledezma, A., Pineda-García, G., Cornejo-Bravo, J. (2019). Neuropsychiatric Disorders in Farmers Associated with Organophosphorus Pesticide Exposure in a Rural Village of Northwest Mexico. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(5): 689-697.
- [29] Rodríguez-López, A., Mejía-Saucedo, R., Calderón-Hernández, J., Labrada-Martagón, V., Yáñez-Estrada, L. (2020). Alterations of the menstrual cycle of young adults not occupationally exposed to a mixture of pesticides from an agricultural area of San Luis Potosí, México. A pilot study [Alteraciones del ciclo menstrual de adolescentes expuestas no ocupacionalmente a una mezcla de plaguicidas de una zona agrícola de San Luis Potosí, México. Estudio piloto]. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 36(4): 997-1010.
- [30] Salazar-Flores, J., Pacheco-Moisés, F., Ortiz, G., Torres-Jasso, J., Romero-Rentería, O., Briones-Torres, A. y Torres-Sánchez, E. (2020). Occupational exposure to organophosphorus and carbamates in farmers in La Cienega, Jalisco, México: Oxidative stress and membrane fluidity markers. *Journal of Occupational Medicine and Toxicology*, 15(1): 1023-1034.
- [31] Balderrama-Carmona, A. P., Valenzuela-Rincón, M., Zamora-Alvarez, I. A., Adan-Bante, N.P., Leyva-Soto, I. A., Silva-Beltrán, N. P., Morán-Palacio, E. F. (2020). Herbicide biomonitoring in agricultural workers in Valle del Mayo, Sonora, México. *Environmental Science and Pollution Research International*, 27(23): 28480–28489.
- [32] Santillán-Sidón, P., Pérez-Morales, R., Anguiano, G., Ruiz-Baca, E., Osten, J.R.V., Olivas-Calderón, E., Vazquez-Boucard, C. (2020). Glutathione S-transferase activity and genetic polymorphisms associated with exposure to organochloride pesticides in Todos Santos, BCS, Mexico: A preliminary study. *Environmental Science and Pollution Research International*, 27(34), 43223-43232.