

Estimación de Riesgo por exposición a Residuos de Plaguicidas Organofosforados en Sedimento de Drenes Agrícolas en el Norte de Sinaloa

Jeován Alberto Ávila Díaz¹

jeovan.avila@uadeo.mx

<https://orcid.org/0000-0002-7692-4547>

Universidad Autónoma de Occidente,
Unidad Regional Los Mochis.
Departamento Académico de Ingeniería y
Tecnología. México.

Pedro Hernández Sandoval

pedro.hernandez@uadeo.mx

<https://orcid.org/0000-0001-7005-4555>

Universidad Autónoma de Occidente,
Unidad Regional Los Mochis.
Departamento Académico de Ciencias Naturales
y Exactas. México.

Marco Arturo Arciniega Galaviz

marco.arciniega@uadeo.mx

<https://orcid.org/0000-0001-8532-7130>

Universidad Autónoma de Occidente,
Unidad Regional Los Mochis.
Departamento Académico de Ingeniería y
Tecnología. México.

David Váldez Martínez

david.martinez@uadeo.mx

<https://orcid.org/0000-0001-9471-4001>

Universidad Autónoma de Occidente,
Unidad Regional Los Mochis.
Departamento Académico de Ingeniería y
Tecnología. México.

RESUMEN

Las intensas actividades agrícolas en Sinaloa, hacen del uso de plaguicidas organofosforados una práctica común. Debido a ello, agua, sedimento y organismos de drenes agrícolas, no se encuentran exentos de estar contaminadas por tales sustancias, representando un posible riesgo a la salud para la población. En esta investigación se evaluó la concentración de clorpirifos y dimetoato en sedimento y se estimó el riesgo a la salud por polvo y suelo respirable. Para el análisis en plaguicidas se utilizó un HPLC (Marca Shimadzu, modelo Prominence), con columna Kromasil C18, de 250 X 4.6 mm. La estimación de riesgos a la salud se efectuó en base a la ingesta diaria admisible (ADI) para cada plaguicida. En sedimento las estimaciones de riesgo no sobrepasaron los valores de la ADI, indicando que el ingreso de polvo y suelo por inhalación no representa un riesgo aparente. Se recomienda ampliar los criterios de detección y evaluación a organismos acuáticos que son extraídos para consumo, así como a otros grupos de plaguicida, que se sabe fueron y son utilizados en el sector agrícola regional. De esta manera, se contará con una evaluación de riesgo a la salud pública más completa y detallada, que servirá como herramienta para la toma de decisiones.

Palabras clave: riego a la salud; plaguicidas; polvo y suelo respirable.

¹ Autor principal.

Correspondencia: jeovan.avila@uadeo.mx

Risk Estimation Due to Exposure to organophosphate Pesticide Residues in Sediment from Agricultural Drains in Northern Sinaloa

ABSTRACT

The intense agricultural activities in Sinaloa make the use of organophosphate pesticides a common practice. Due to this, water, sediment and organisms from agricultural drains are not exempt from being contaminated by such substances, representing a possible health risk for the population. In this research, the concentration of chlorpyrifos and dimethoate in sediment was evaluated and the health risk from dust and respirable soil was estimated. For pesticide analysis, an HPLC (Shimadzu brand, Prominence model) was used with a Kromasil C18 column, 250 X 4.6 mm. The estimation of health risks was carried out based on the acceptable daily intake (ADI) for each pesticide. In sediment, the risk estimates did not exceed the ADI values, indicating that the entry of dust and soil through inhalation does not represent an apparent risk. It is recommended to expand the detection and evaluation criteria to aquatic organisms that are extracted for consumption, as well as to other groups of pesticides, which are known to have been and are used in the regional agricultural sector. In this way, there will be a more complete and detailed public health risk assessment, which will serve as a tool for decision-making.

Keywords: *health risks; pesticides; dust and respirable soil.*

Artículo recibido 20 julio 2023

Aceptado para publicación: 26 agosto 2023

INTRODUCCIÓN

Las intensas actividades agrícolas y pecuarias en los municipios de Ahome y Guasave, Sinaloa, hacen del uso de plaguicidas una práctica común en la zona norte Sinaloa. Debido a ello, el agua, sedimentos y organismos de drenes agrícolas, no se encuentran exentos de estar contaminadas por tales sustancias (Arellano-Aguilar et al, 2017). La FAO (2002) señala que en la actualidad el uso de los plaguicidas está enmarcado dentro de un manejo integrado de plagas, enfermedades y malezas, exigiendo conocer a profundidad las propiedades de estos compuestos, sus residuos en los cultivos, suelo, agua y organismos. De acuerdo con su estructura y características fisicoquímicas algunos plaguicidas persisten en el ambiente, acumulándose principalmente en agua, sedimento y suelo, subiendo por la cadena trófica, alcanzando a los seres humanos (Salazar-López y Almada-Madrid, 2011).

La región norte de Sinaloa se caracteriza por una actividad agrícola intensiva, en ella el uso y aplicación de plaguicidas organofosforados son de importancia (Hernández y Hansen, 2011). Estos plaguicidas al ser depositados en suelo pueden ser transportados a lugares más allá de su sitio de aplicación por los fenómenos de arrastre y lixiviación, sus residuos pueden contaminar cursos de aguas subterráneas y superficiales (Vymazal y Brezinová, 2015). Sin embargo, son escasos los estudios en los que se indique haber detectado este tipo de compuestos en sedimentos y agua de la zona costera y drenes agrícolas (Ávila-Díaz et al, 2021; Osuna y Rivas, 2004). Los compuestos contaminantes del ambiente, procedentes del sector agrícola, se han estudiado cada vez más debido a su toxicidad, persistencia y bioacumulación (Benítez-Díaz y Miranda-Contreras, 2013). Los plaguicidas organofosforados son un ejemplo típico de contaminantes antropogénicos que degradan los hábitat de importantes recursos bióticos y pueden afectar los ecosistemas (Badii y Varela, 2008). Imfeld y Vuilleumier (2012) señalan que otro aspecto vinculado con la presencia de plaguicidas en suelo es el impacto de estas sustancias sobre la microflora del suelo, cuyas funciones son esenciales para la productividad y sostenibilidad de la actividad agrícola y la calidad del ambiente. La presencia organofosforados en polvo y suelo constituye una importante vía de exposición hacia la población, ya que pueden ser inhalados y adherirse a la piel, mucosas y alimentos, a través de los cuales pueden ser ingeridas por los habitantes de las zonas agrícolas, siendo la población infantil la más susceptible debido a su tendencia a jugar en el suelo y llevarse objetos y manos a la boca (USEPA, 2011). Por lo anterior, es importante evaluar el impacto

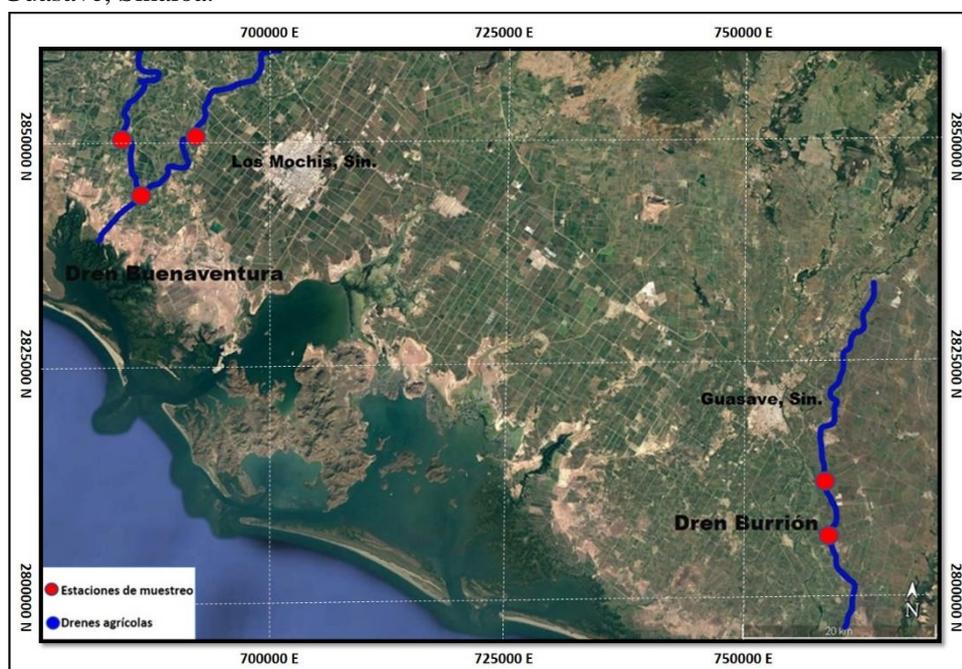
ecológico por la introducción de estos compuestos tóxicos en el entorno (Mooder et al, 2017), para esto es necesario identificarlos, cuantificarlos, conocer sus distribución, fuente de origen, rutas principales de entrada y efectos negativos dentro de los medios acuático y terrestre. Los drenes agrícolas Burrión y Buenaventura, ubicados en los distritos de riego 063 y 075, respectivamente, son dragados y expuestos sus sedimentos a la superficie, ante esta situación el objetivo de la presente investigación fue evaluar el grado de contaminación por clorpirifos y dimetoato en sedimento, y estimar el riesgo a la salud humana por la exposición a polvo y suelo respirable.

METODOLOGÍA

Área de estudio

El área de estudio comprendió la cuenca baja de los drenes agrícolas Buenaventura y Burrión (Figura 1). El primero ubicado en el municipio de Ahome y el segundo en el municipio de Guasave, ambos en el estado de Sinaloa. Presentan una longitud promedio de 35 km y descargan sus aguas en el Golfo de California. A lo largo de su trayectoria se descargan aguas residuales municipales sin tratamiento, descargas puntuales y no puntuales agrícolas.

Figura 1. Ubicación de los drenes agrícolas Buenaventura y Burrión en los municipios de Ahome y Guasave, Sinaloa.



Muestreo de sedimento.

Las muestras se tomaron en julio y noviembre de 2018, así como en febrero y junio de 2019, en tres

estaciones ubicadas en el dren Buenaventura y en dos en el dren Burrión. La distribución espacial de las estaciones de muestreo se eligió en base la accesibilidad al sitio, zona de dragado y su cercanía a lotes agrícolas. Además, se ubican en la cuenca baja de los drenes, donde se acumulan los sedimentos antes de ser descargadas en la zona costera.

El primer muestreo se realizó en julio de 2018, época de la transición seca-lluviosa antes de la actividad agrícola. El segundo muestreo en noviembre de 2018, al inicio de la temporada agrícola. El tercer muestreo se llevó a cabo en febrero de 2019, durante la época de mayor actividad agrícola y, por lo tanto, la de mayor aplicación de plaguicidas. El cuarto y último muestreo tuvo lugar en el mes de junio de 2019, al final de la temporada agrícola.

Siguiendo las indicaciones de la USEPA (1992), las muestras de sedimento se obtuvieron de forma manual a 10 cm de profundidad, se colocaron en recipientes de vidrio y se almacenaron en congelación hasta su análisis. Para llevar a cabo la extracción de los plaguicidas en los sedimentos, primero se secaron a 60 °C y se pasaron a través de la malla No. 120.

Análisis de clorpirifos y dimetoato en sedimento.

Reactivos

Los solventes empleados para el proceso de extracción y purificación fueron diclorometano grado HPLC (99.8 % de pureza, JT Baker) y metanol grado HPLC (99% de pureza, Sigma-Aldrich). Los estándares de referencia empleados fueron clorpirifos y dimetoato con pureza de 99.5 y 98.3 %, respectivamente, marca Chem Service, Inc. El límite de detección de clorpirifos fue de 0.054 µg/L y para dimetoato de 0.171 µg/L. En tanto el límite cuantificación de clorpirifos fue 0.153 µg/L y para dimetoato de 0.519 µg/L.

La cristalería fue lavada con detergente neutro, enjuagado con agua desionizada y secada a 100 °C, posteriormente, purificado con acetona grado HPLC, y nuevamente sometida a 100 °C para eliminación de residuos de solventes e impurezas.

Extracción de plaguicidas en sedimento

Se siguió la metodología descrita por Masís et al. (2008), para esto se pesaron 25 g de sedimento deshidratado, tamizado y homogeneizado para hacer tres extracciones sucesivas con 40 mL de cloruro de metileno y sonicación por 15 min a temperatura ambiente. El extracto se sometió a filtración simple

con papel whatman # 1 y posteriormente se filtró en equipo Millipore a través de una malla de nylon de 0.45 µm. Esta fracción se concentró en el rotoevaporador y se resuspendió en 1.5 mL de metanol. El análisis de residuos de clorpirifos y dimetoato se realizó siguiendo lo descrito por Ávila et al. (2021), utilizando un HPLC (Marca Shimadzu, modelo Prominence), con columna Kromasil C18, de 250 X 4.6 mm. Se utilizaron las condiciones cromatográficas que se muestran en tabla 1.

Tabla 1. Condiciones cromatográficas utilizadas para la detección de Clorpirifos y Dimetoato en muestras de sedimento de los drenes agrícolas Buenaventura y Burrión.

Condiciones cromatográficas	Clorpirifos	Dimetoato
Longitud de onda (nm)	247	220
Flujo (mL/min)	1	1
Volumen de inyección (µL)	20	20
Temperatura (°C)	40	35
Tiempo de retención (min)	15.3	8.9
Fase móvil	Metanol 80%	Metanol 40%

Estimación de riesgos a la salud basado en cálculo de la dosis diaria de plaguicidas a través de suelo contaminado (polvo y suelos respirable).

Los drenes agrícolas son dragados, por lo que los sedimentos son expuestos en la superficie y movilizadas por acción del viento; los sedimentos representan un riesgo a la población por los plaguicidas que pudieran estar en ellos. Siguiendo la metodología de Rojas-Fernández et al. (2019), a partir de las concentraciones de plaguicidas (Ps, mg/kg) encontradas en sedimentos de los drenes agrícolas, se calculó la dosis diaria por grupo etario (DdPS, µg/día), utilizando como base las estimaciones hechas por la USEPA (2011) para consumo de polvo y suelo respirable (Cps, mg/día), las cuales son de 100 mg/día para niños de 1 a 10 años, y 50 mg/día para adultos (20 años de edad), empleando la siguiente ecuación:

$$DdPS = Cps \times Ps \times 10^{-3}$$

Donde:

DdPS= dosis diaria de plaguicidas en suelo

Cps = consumo de polvo y suelo

Ps = concentración de plaguicidas en suelo

Este cálculo se realizó para clorpirifos que fue el único plaguicida encontrado en sedimentos. Con la finalidad de tener un término de comparación, se calculó la ingesta diaria admisible (IdA, mg/día) para el plaguicida encontrado y para los tres grupos etarios (niños de 1 y 10 años, y adultos de 20 años de edad). El cálculo se realizó a partir de la ingesta diaria admisible (ADI, por sus siglas en inglés, µg/día/kg peso corporal) establecida por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y la Organización Mundial de la Salud (OMS) (EUFIC 2013, EC 2021) y el peso corporal promedio (PC) para la población mexicana, utilizando la siguiente ecuación:

$$IdA = ADI \times PC$$

Donde:

IdA = ingesta diaria admisible

ADI = ingesta diaria admisible de referencia

PC = Peso corporal

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Presencia de plaguicidas en sedimentos y determinación de riesgo a la salud.

En el dren Buenaventura no se detectó la presencia de los plaguicidas de interés. Para el dren Burrión solo se cuantificó clorpirifos en un rango de 151-242 µg/kg. La detección y cuantificación de clorpirifos en el dren Burrión fue en concentraciones promedio de 171.8 y 197.8 µg/kg, respectivamente (Tabla 2).

Tabla 2. Clorpirifos y Dimetoato en sedimento (µg/Kg) en muestras de drenes agrícolas y sus concentraciones (medias por estación).

Estación	Dren Buenaventura		Dren Burrión	
	C	D	Sedimento (µg/Kg)	
			C	D
1	Nd	Nd	¹ 171.8 ±29.3	Nd
2	Nd	Nd	¹ 197.8 ±63.8	Nd
3	Nd	Nd		

¹Media de dos valores C= Clorpirifos D= Dimetoato Nd= No detectado

México es un país donde no existen regulaciones relacionadas con los niveles de plaguicidas en suelo, muchos menos en sedimentos; la OMS, FAO y la unión europea tampoco los han establecidos, por lo que se dificulta establecer como los residuos de plaguicidas afectan la salud y calidad de vida de trabajadores y habitantes de zonas agrícolas.

Morgan et al. (2014), sugieren que la ingesta de polvo y suelo contaminado podrían constituir un medio

de exposición a plaguicidas organofosforados. Esta ingesta afectaría en mayor grado a la población infantil en edad escolar debido a su tendencia a jugar en suelo y llevarse las manos a la boca (Rojas-Fernández et al., 2019). La ADI es utilizada como termino de referencia para la estimación de riesgos, entendiendo que se refiere a la dosis diaria de una sustancia química que es ingerida de por vida, y no presenta riesgos apreciables a la salud, de acuerdo a lo señalado por la FAO y OMS sobre residuos de plaguicidas (EUFIC, 2013). Basado en las concentraciones de clorpirifos encontrados en sedimentos, se presenta en la Tabla 3 una comparación entra IdA según la edad (1, 10 y 20 años) y la DdPS. Como se indica en la sección de materiales y métodos, el cálculo se realizó sobre el único plaguicida presente (clorpirifos) en sedimento del dren Burrión, el cual fue encontrado en los meses de noviembre de 2018 y febrero de 2019.

Se puede apreciar que, en ninguno de los grupos etarios la DsPS sobrepasa el IdA. Los resultados expuestos en la Tabla 3 parecieran indicar que la inhalación de polvo y suelo, en los diversos grupos etarios no representa un riesgo aparente. Morgan et al. (2014), señalan que para la estimación de riesgos de plaguicidas se deben incluir tres vías de exposición: la dietética, inhalaría y no dietética (polvo y suelo). Así también, en la mayoría de los casos, se consideran los plaguicidas de forma separada, como si fuesen formas aisladas de contaminación, cuando deberían considerarse como una exposición simultánea a varios xenobióticos, que pueden actuar de forma sinérgica y potenciar el riesgo (Rojas-Fernández et al, 2019).

Tabla 3. Ingesta diaria admisible (mg/día) de clorpirifos, calculada a partir de la ingesta diaria admisible (ADI, por sus siglas en inglés) y el peso corporal (PC) promedio por edad (se compara con la dosis diaria de plaguicida por consumo de polvo y suelo contaminado a partir de los niveles de plaguicidas en sedimentos).

Plaguicida	ADI* mg/kg/día	Ingesta diaria admisible por edad (IdA, mg/día)			Dosis diaria por polvo y suelo (DdPS, mg/día)	
		Edad 1 año PC 9.6 kg	Edad 10 año PC 28.9 kg	Edad 20 año PC 60.8 kg	Edad 1 a 10 años	Edad Adulta
Clorpirifos (Nov, 2018)	0.01	0.096	0.289	0.608	0.0217	0.0108
Clorpirifos (Feb, 2019)	0.01	0.096	0.289	0.608	0.0151	0.0075

ADI*: Ingesta diaria admisible según la FAO/OMS (EUFIC, 2021). Las ADI mostradas en la tabla se obtuvieron de la EU Pesticides Databases (EC, 2021).

García-Hernández et al (2018), mencionan que la mezcla de plaguicidas pudiera ser más tóxica, que

cada uno por separado, inclusive cuando de forma individual su ingesta diaria admisible este por debajo de la dosis tóxica. Es importante destacar que la población en los municipios de Ahome y Guasave también se encuentra expuesta a residuos de estas sustancias por el consumo de agua (Hernández y Hansen, 2011) y alimento (Osuna y Rivas, 2004). Estas evidencias pudieran indicar que la exposición a residuos de plaguicidas en los municipios de Ahome y Guasave es multifactorial y podrían tener consecuencias directas a la salud de la población. Cabe destacar que para esta investigación se utilizaron las concentraciones de clorpirifos encontradas en muestras de sedimento fresco del dren Burrión, y no en sedimento depositado en los márgenes del mismo dren. De acuerdo con ATSDR (1997), el analizar sedimento depositado en los márgenes de los drenes, implica que el plaguicida pudiera estar degradado por acción de la temperatura y la exposición a luz solar. Lo que se presenta en esta investigación es el escenario más crítico de acuerdo con la estimación realizada y con las concentraciones utilizadas no se encontró un posible riesgo.

CONCLUSIONES

La concentración de clorpirifos en suelo y polvo respirable aparentemente no representa un riesgo a la salud pública en el municipio de Guasave, a pesar de que se contempló el escenario más crítico, sin tomar en consideración que los sedimentos se degradan al exponerse a los factores ambientales. Esta vía de exposición no es la única a la que se expone la población, sino que debe considerarse la ingesta de agua y alimentos contaminados por plaguicidas, la suma de estos factores, pudieran contribuir a la generación de un problema de salud pública en el norte de Sinaloa.

Se recomienda ampliar los criterios de detección y evaluación a organismos acuáticos que habitan en los drenes agrícolas y que son utilizados como alimento, así como a los principales grupos de plaguicidas (organoclorados, carbamatos y piretroides), ya que es sabido que fueron y son utilizados en el sector agrícola regional. De esta manera se tendría una evaluación de riesgo a la salud pública más completa y detallada, que serviría como herramienta para la toma de decisiones en la restricción en el uso de plaguicidas.

LISTA DE REFERENCIAS

- Arellano-Aguilar O, Betancourt-Lozano M, Aguilar-Zárate G, Ponce de Leon-Hill C. (2017). Agrochemical loading in drains and rivers and its connection with pollution in coastal lagoons of the Mexican Pacific. *Environ Monit Assess* 189(6). <https://doi:10.1007/s10661-017-5981-8>.
- ATSDR. (1997). Agency for Toxic Substances and Disease Registry. CLORPIRIFOS (CHLORPYRIFOS) CAS # 2921-88-2. Consultado en marzo de 2023 en: https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts84.pdf.
- Ávila-Díaz, J, A, González-Márquez, L, Longoria-Espinoza, R, Ahumada-Cervantes, R, Leyva-Morales, B, Rodríguez-Gallegos, H. (2021). Chlorpyrifos and Dimethoate in Water and Sediments of Agricultural Drainage Ditches in Northern Sinaloa, Mexico. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 106:839–843.
- Badii, S. Mohammad, Varela, S. (2008). Insecticidas Organopfosforados: Efectos sobre la salud y el ambiente. En: *Culcyt; Toxicología de Insecticidas*, Año 5, No. 28, 5-17.
- Benítez-Díaz, P., Miranda-Contreras, L. (2013). Contaminación de aguas superficiales por residuos de plaguicidas en Venezuela y otros países de Latinoamérica. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 29 ,7-23. ISSN: 0188-4999. Consultado en mayo de 2023 en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=37028958001>.
- EFSA. (2013). European Food Information Council. Acceptable daily intakes (ADIs). Consultado en mayo de 2023 en: <http://www.efsa.europa.eu/en/understanding-science/article/qas-onacceptable-daily-intakes-adis>.
- EC (European Commission). (2021). EU pesticide database. Consultado en mayo de 2023 en: <http://ec.europa.eu/food/plant/pesticides/eupesticidesdatabase/public/?event=homepage&language=EN>.
- FAO. (2002). Agricultura mundial: hacia los años 2015/2030. Consultado en junio de 2023 en: <http://www.fao.org/docrep/004/y3557s/y3557s00.htm#TopOfPage>.
- García-Hernández J., Leyva-Morales J.B., Martínez-Rodríguez I.E., Hernández-Ochoa M.I., Aldana-Madrid M.L., Rojas-García A.E., Betancourt-Lozano M., Pérez-Herrera N.E., Perera-Ríos J.H. (2018). Estado actual de la investigación sobre plaguicidas en México. *Rev. Int. Contam. Ambie.*

34, 29-60.

- Hernández-Antonio A, Hansen AM. (2011). Uso de plaguicidas en dos zonas agrícolas de México y evaluación de la contaminación de agua y sedimento. *Rev Int Contam Amb* 27(2):115-127.
- Imfeld G., Vuilleumier S. (2012). Measuring the effects of pesticides on bacterial communities in soil: A critical review. *Eur. J. Soil Biol.* 49, 22-30. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2011.11.010>.
- Masís F., Valdez J, Coto T, León S. (2008). Residuos de agroquímicos en sedimentos de ríos; Poás, Costa Rica. *Agron Costarrisense* 32(1):113-123.
- Moeder M, Carranza-Díaz O, López-Angulo G, Vega-Aviña R, Chávez-Durán FA, Jomaa S, Winkler U, Schrader S, Reemtsma T, Delgado-Vargas F. (2017). Potential of vegetated ditches to manage organic pollutants derived from agricultural runoff and domestic sewage: A case study in Sinaloa (Mexico). *Sci Total Environ.* Nov 15;598:1106-1115. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.04.149>.
- Morgan M., Wilson N, Chuang J. (2014). Exposures of 129 preschool children to organochlorines, organophosphates, pyrethroids, and acid herbicides at their homes and daycares in North Carolina. *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 11 (4), 3743-3764. <https://doi.org/10.3390/ijerph110403743>.
- Osuna-Flores, I. Riva, M.C. (2004). Plaguicidas organofosforados en camarones, sedimento y agua superficial de la bahía de Ohuira, Topolobampo, Sinaloa, México. *Rev. Afinidad.* 61 (513), 387-392.
- Rojas-Fernández, José Alberto, Benítez-Díaz, Pedro Rafael, Rivas-Rojas, Edgard Alejandro, Miranda-Contreras, Leticia. (2019). Residuos de plaguicidas en suelos de uso agrícola y riesgo de exposición en la microcuenca los zarzales, municipio rivas dávila, estado mérida, venezuela. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 35(2), 307-315. Epub 19 de febrero de 2020. <https://doi.org/10.20937/rica.2019.35.02.04>.
- Salazar-López, Norma, J., Aldama-Madrid, María, L. A. (2011). Herbicida glifosato: usos, toxicidad y regulación. *Revistas de ciencias biológicas y de la salud.* Vol. XIII, No. 2:23-28. Consultado en junio de 2022 en: <http://www.biotecnia.uson.mx/revistas/articulos/16-BIO-11-DPA-04.pdf>.
- USEPA (United States Environmental Protection Agency). (1992). United States Environmental

Protection Agency. Method 614.1: The Determination of Organophosphorus Pesticides in Municipal and Industrial Wastewater. Consultado en noviembre de 2022 en: https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-10/documents/method_614-1_1992.p.

USEPA (United States Environmental Protection Agency). (2011). Soil and dust ingestion. En: Exposure factors handbook: 2011 edition. Office of Research and Development, National Center for Environmental Assessment, U.S. Environmental Protection Agency, Washington DC, EUA, pp. 5, 1-5, 52. Consultado en junio de 2023 en: <https://cfpub.epa.gov/ncea/risk/recordisplay.cfm?deid=236252>.

Vymazal J., Brezinová T. (2015). The use of constructed wetlands for removal of pesticides from agricultural runoff and drainage: A review. Environ. Int. 75, 11-20. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2014.10.026>.