



## Determinación de plaguicidas organoclorados en el Río Tigre; Aldama, Tamaulipas y su potencial impacto a la fauna acuática

## Determination of organochlorine pesticides in the Tigre River; Aldama, Tamaulipas and their potential impact on the aquatic fauna

Liduvina Vázquez-Ruiz<sup>1\*</sup>, María de la Luz Vázquez-Sauceda<sup>1</sup>, Roberto Pérez-Castañeda<sup>1</sup>, Venancio Vanoye-Eligio<sup>1</sup>

### RESUMEN

Los plaguicidas organoclorados (OCs) son químicos utilizados para combatir vectores de enfermedades o en cultivos para prevenir plagas, pero afectan ecosistemas y su uso ha sido prohibido en México y en el mundo. En este estudio se determinó la presencia de OCs en el Río Tigre, municipio de Aldama, Tamaulipas, mediante cromatografía de gases en muestras de agua del poblado Morón, Tamaulipas en 2015. Se elaboró un mapa de los tipos de vegetación y actividades productivas aledañas al sitio de muestreo. Se evaluaron diferencias de la concentración media entre los distintos OCs encontrados. Se detectaron siete OCs (dicloran, endosulfán I y II, lindano, aldrín, dieldrín, y epóxido de heptacloro) en el sitio de muestreo. No se detectaron diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) entre ellos. Se discuten los potenciales impactos a la fauna acuática del ecosistema estuarino que tienen los niveles de plaguicidas encontrados en el Río Tigre.

Palabras clave: contaminación, agua, organoclorados, fauna

### ABSTRACT

Organochlorine pesticides (OCs) are chemicals used to combat disease vectors or on crops to prevent pests, but they affect ecosystems and their use has been banned in México and worldwide. In this study, the presence of OCs in the Tigre River, municipality of Aldama, Tamaulipas, was determined by gas chromatography in water samples from the town of Morón, Tamaulipas, in 2015. A map of vegetation types and productive activities near the sampling site was created. Differences in the mean concentration between the different OCs found were evaluated. Seven OCs (dichloran, endosulfan I and II, lindane, aldrin, dieldrin, and heptachlor epoxide) were detected at the sampling site with no significant differences between their concentrations. The potential impacts on the aquatic fauna of the estuarine ecosystem caused by the pesticides found in the Tigre River are discussed.

Keywords: contamination, water, organochlorine, wildlife

**Autor para correspondencia:** lvruiz@uat.edu.mx **Fecha de recepción:** 28 de junio de 2023

**Fecha de aceptación:** 30 de enero de 2024 **Fecha de publicación:** 31 de enero de 2024

<sup>1</sup>Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Tamaulipas, Ciudad Victoria, Tamaulipas, México.

## INTRODUCCIÓN

Los plaguicidas organoclorados (OCs) son químicos utilizados para combatir vectores de enfermedades o en cultivos para prevenir plagas, sin embargo, son compuestos sintéticos altamente persistentes en el ambiente, debido a su composición química, representando una amenaza para la salud pública y para la mayoría de las formas de vida (Sierra-Cortés et al., 2019). Los OCs pueden provocar alteraciones del ADN o de los cromosomas, en el embrión y sobre una gran variedad de funciones metabólicas y de reproducción. Por ello, los OCs fueron prohibidos en el mundo, aunque en muchos países se siguen empleando sin ningún control (Zaragoza-Bastida et al., 2016). En México fueron utilizados para aumentar la producción agrícola y satisfacer los requerimientos de calidad de los alimentos para su exportación (Uzcátegui et al., 2011) pero, a raíz del descubrimiento de las consecuencias provocadas al ambiente, su uso ha sido prohibido paulatinamente. En 1982, se prohibió el aldrín, endrín y mirex; en 1992 el heptacloro y dieldrín; para el 2004 de acuerdo con la CICOPLAFEST (Comisión Intersecretarial para el Control del Proceso y Uso de Plaguicidas), se restringió el uso del dicloro difenil tricloroetano (DDT), lindano, metoxicloro, dicofol y pentaclorofenol, mientras que el endosulfán sólo está permitido para uso agrícola e industrial (CICOP-LAFEST, 2004).

Se han realizado pocos estudios sobre los OCs presentes en cuerpos de agua; sin embargo, en Tamaulipas no se han desarrollado investigaciones sobre las concentraciones de plaguicidas OCs en agua, considerando el daño que causan al ambiente, por lo que es importante su estudio para conocer las concentraciones en las que se encuentran presentes. Derivado de lo anterior, se planteó determinar los plaguicidas OCs presentes en el Río Tigre, municipio de Aldama, Tamaulipas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El municipio de Aldama se ubica en la parte sur del estado de Tamaulipas. El río Tigre es un cuerpo de agua que atraviesa la cabecera municipal, en el cual se ubicó el sitio de muestreo en un punto aledaño al poblado Morón para la recolección de muestras de agua (Fig. 1).

Se colectaron las muestras de agua a 15 cm de profundidad en el segundo semestre del año 2015, tomando una muestra por mes con un intervalo de 30 días aproximadamente (mayo-octubre) en el sitio de estudio, dando un total de seis muestras. Cada una de ellas se colocó en frascos ámbar con un volumen de 1000 ml, con tapa de teflón. Todas las muestras se analizaron en el laboratorio como lo marca la normatividad PROY-NMX-AA-071-SCFI-08. La presencia de OCs se determinó por cromatografía de gases con un detector de captura de electrones (Hewlett Packard Modelo 5890 A, Palo Alto. EUA) en el laboratorio GISENALAB acreditado por la EMA (Entidad Mexicana de Acreditación A.C.). Se aplicó un ANOVA de una vía para evaluar las diferencias con respecto a las concentraciones promedio de los distintos OCs, transformando previamente los datos con raíz cuarta para cumplir con los supuestos de normalidad y homoscedasticidad.

Finalmente se elaboró un mapa geográfico con el sitio de muestreo incorporando la información de vegetación del INEGI serie V para la determinación de los tipos de vegetación o actividades productivas alrededor del sitio de muestreo.

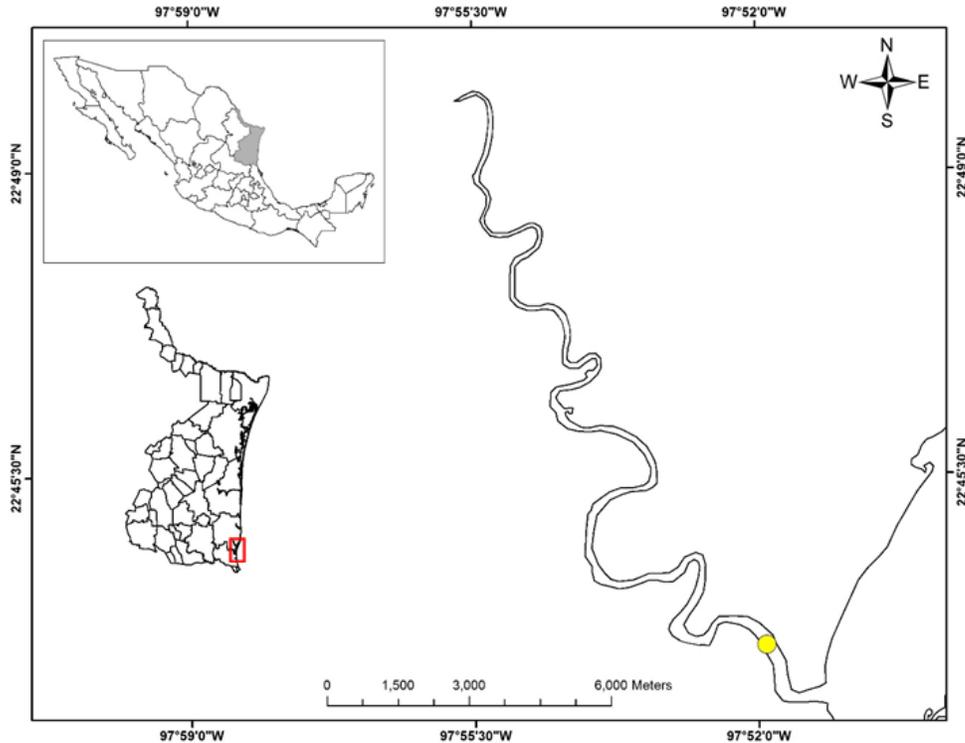


Figura 1. Ubicación geográfica de la zona de estudio mostrando el sitio El Morón donde se recolectaron las muestras de agua para detección de plaguicidas OCs.

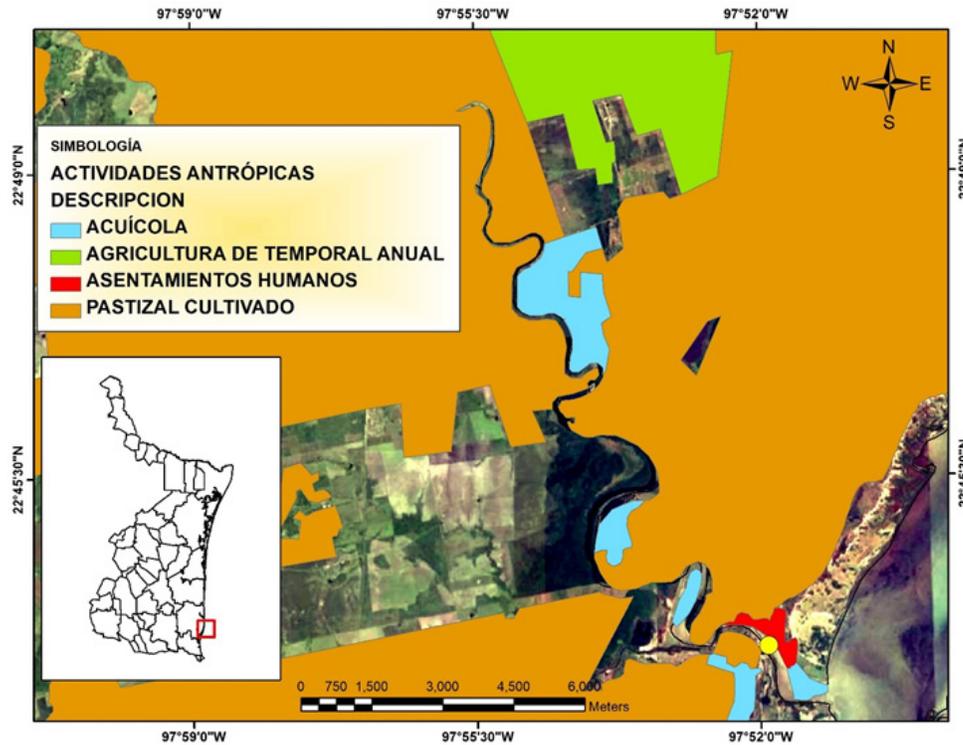
## RESULTADOS

Se detectaron siete OCs (dicloran, endosulfán I y II, lindano, aldrín, dieldrín, y epóxido de heptacloro) en las muestras de agua del sitio de muestreo tomadas para el segundo semestre del año 2015 (Tabla 1). No se detectaron diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) de las concentraciones promedio entre los distintos OCs.

El mapa geográfico muestra una mayor actividad ganadera en la zona desarrollada en el pastizal cultivado, seguida por la agricultura, acuicultura y finalmente asentamientos humanos (Fig. 2).

Tabla 2. Promedio ( $\pm$  desviación estándar) de las concentraciones de OCs determinadas para el sitio El Morón del Río Tigre, Aldama, Tamaulipas.

Ocs	Concentración ( $\mu\text{g/ml}$ )
Aldrín	$0.341 \pm 0.17$
Dieldrín	$0.381 \pm 0.17$
Endosulfán I	$0.305 \pm 0.20$
Epóxido de heptacloro	$0.379 \pm 0.13$
Dicloran	$0.376 \pm 0.15$
Y-BHC (lindano)	$0.363 \pm 0.14$
Endosulfán II	$0.336 \pm 0.14$



■ Figura 2. Ubicación de las distintas actividades antrópicas que se desarrollan en las zonas adyacentes al Río Tigre, municipio de Aldama, Tamaulipas.

## DISCUSIÓN

Los plaguicidas OCs se encuentran en los diferentes ecosistemas debido al uso que tienen por parte del hombre para combatir diferentes vectores y beneficiar principalmente las producciones agropecuarias (Sierra-Cortés et al., 2019). A nivel mundial los OCs se encuentran prohibidos por el daño que ocasionan a los ecosistemas y principalmente al humano (Albert & Benítez, 2005). Sin embargo, en México algunos de ellos están permitidos para su uso, otros están restringidos y unos más prohibidos (CICOPLAFEST, 2004).

En esta investigación, de los siete OCs detectados mediante la técnica de cromatografía de gases, el endosulfán I, II, lindano y dicloran están permitidos con restricciones para su uso en México, ya que la persistencia en el ambiente es de semanas en el caso de estos cuatro OCs. (CICOPLAFEST, 2004; EPA, 1980a, 1980b). El endosulfán I y II se utilizan para cultivos de alfalfa, algodón, apio, berenjena, brócoli, cafeto, calabacita, calabaza, cártamo, caña de azúcar, cebada, chabacano, chícharo, chile, ciruelo, col, durazno, fresa, jitomate, papa, maíz, fríjol y otros más (CICOPLAFEST, 2004). El lindano se utiliza principalmente para los cultivos de avena, cebada, maíz, trigo y sorgo, además de ser empleado para combatir plagas de piojos (CICOPLAFEST, 2004; Linares-Mazariegos, 2007). El dicloran se utiliza en cultivos de crisantemo, geranio, jitomate y rosal (Linares-Mazariegos, 2007).

Los OCs aldrín, dieldrín y epóxido de heptacloro están prohibidos debido a su persistencia en el ambiente que van de 5, 7 y 4 años respectivamente (CICOPLAFEST, 2004; EPA, 1980c, 1980d).

El aldrín y el dieldrín son utilizados en cultivos de maíz y algodón, mientras que el epóxido de heptacloro es el producto obtenido de la degradación del heptacloro que fue utilizado en otros años para el control de termitas en cultivos de algodón (CICOPLAFEST, 2004; EPA, 1980a, 1980d; Linares-Mazariegos, 2007). Es importante señalar que algunos de los siete OCs detectados en el área de estudio corresponden a plaguicidas prohibidos en México, desde hace aproximadamente 25 años, esto sugiere que han seguido utilizándose en ciertas zonas de la región al no encontrarse diferencias significativas entre los permitidos y los prohibidos.

El Río Tigre presenta actividades antropogénicas en la mayoría de su extensión como la acuícola, agricultura de temporada o anual, asentamientos humanos y pastizales inducidos. Esto propicia la entrada de OCs al cuerpo de agua durante todo el año. Los principales cultivos que se llevan a cabo en esta zona son sorgo de grano, cebolla, chile verde y en menor escala calabaza, cártamo, frijol, limón, maíz grano, melón, naranja, pastos, sábila, sorgo forrajero verde, tomate rojo y tomate verde (Gobierno del Estado de Tamaulipas, 2011; INEGI, 2009). Debido a lo anterior, es posible considerar que en estos cultivos se empleen los OCs detectados en el presente estudio, tales como aldrín, dieldrín, endosulfán I y II, dicloran y lindano. En el caso del epóxido de heptacloro y del lindano, debido a que se utilizan para combatir plagas de termitas e infecciones de piojos (CICOPLAFEST, 2004; EPA, 1980d; Linares-Mazariegos, 2007), es probable su uso en la ganadería practicada en la zona, así como su uso en el asentamiento humano del poblado El Morón.

La NOM-127-SSA1-1994 de México establece que los límites permisibles de aldrín, dieldrín, epóxido de heptacloro, lindano y endosulfán en agua ( $\mu\text{g/ml}$ ) son 0.0003, 0.002, 0.0005, 0.002 y 0.0087, respectivamente. Sin embargo, las concentraciones promedio de estos OCs observadas en el presente trabajo rebasaron el límite permisible. Otros trabajos de investigación, realizados en México sobre OCs en agua, también han detectado concentraciones que rebasan los límites permisibles (Hernández & Hansen, 2011; Islas & García, 2008; Montes-Nava, 2008).

### Potencial impacto a la fauna acuática

En el caso de los límites permisibles para la protección a la vida acuática en aguas costeras, la Ley Federal de Derechos establece valores ( $\mu\text{g/ml}$ ) para el aldrín 7.4, lindano 0.2, dieldrín 0.9 endosulfán I y II 0.03 y epóxido de heptacloro 0.5 (CONAGUA, 2015). Las concentraciones observadas en el presente estudio rebasan los límites permisibles (Tabla 1) para los OCs lindano, endosulfán I y II. De los tres OCs, el lindano es el que tiene mayor persistencia en el ambiente, hasta por dos años, ocasionando que el crecimiento y la salud de los organismos acuáticos se vea afectada. Se han reportado estudios en camarón expuesto a concentraciones similares a las observadas en el presente estudio, que muestran cambios en la osmorregulación y en los procesos enzimáticos con daños principalmente respiratorios al deteriorar las branquias (Galindo-Reyes & Fossato, 1999). Además, se ha demostrado que ocasionan afectaciones en el hígado y riñón (Ortiz, 2003). Otros estudios encontraron que el lindano causa alteraciones en los niveles de testosterona y vitelogenina en camarones juveniles. Huang y Chen (2004) encontraron que los niveles de testosterona y estrógenos fueron reducidos en machos y hembras juveniles, respectivamente, a pesar de no obtener diferencias significativas con respecto del grupo control utilizando concentraciones entre 0.1 a 1  $\mu\text{g/ml}$ .

Para el endosulfán I y II, estudios recientes indican que concentraciones por encima del límite permisible ocasionan daños en la fauna acuática en branquias y riñón, además de haber detectado concentraciones en músculo de peces (Sathishkumar, 2021). Castro-Castro et al. (2005) mencionan

que el endosulfán en crustáceos y moluscos disminuyen los aminoácidos libres en la hemolinfa e inhiben la Na-K-ATPasa branquial, ocasionando daños en la osmorregulación y en la respiración. En el área de estudio existe explotación pesquera de camarones y peces, así como de ostión (Periódico Oficial del Estado, 2013); por lo tanto, en caso de que algunos plaguicidas se encuentren en concentraciones que afecten la fauna acuática que habita en este ecosistema estuarino, se esperaría a su vez que la producción pesquera basada en esas especies de fauna también se vean afectadas. De hecho, se han realizado estudios donde se extrapolan resultados experimentales de la exposición de camarones a los pesticidas, evaluando el potencial riesgo de disminución de sus poblaciones silvestres (Moe et al., 2019). Asimismo, se ha documentado la disminución de sobrevivencia de algunos grupos taxonómicos de fauna estuarina en función de la cantidad de plaguicidas (Anderson et al., 2014), por lo que es evidente su potencial afectación a la fauna acuática.

Por otro lado, en el área de estudio existen 800 hectáreas de cultivo de camarón que utilizan el agua del ecosistema estuarino (Periódico Oficial del Estado, 2013), y en consecuencia una eventual contaminación por plaguicidas en el ecosistema estuarino tendría también afectaciones a los camarones cultivados.

Se ha demostrado que los OCs son bioacumulables y pueden llegar a estar presentes en el humano al consumir peces y mariscos que habitan en áreas con presencia de estos (Rodríguez, 2017). Por esta razón, es importante continuar con estudios de la zona con tejidos de la fauna acuática más representativa para el consumo humano, esto permitirá conocer la situación actual de la fauna acuática y de las poblaciones aledañas de humanos.

## CONCLUSIONES

Con base en los resultados obtenidos, se concluye que el Río Tigre tiene presencia de plaguicidas organoclorados (OCs), entre ellos el aldrín, dieldrín, endosulfán I y II, epóxido de heptacloro, dicloran y lindano, los cuales se encuentran prohibidos en México el aldrín, dieldrín y epóxido de heptacloro, mientras que tienen uso permitido con restricciones el lindano, endosulfán I y II y como uso permitido para agricultura e industria el dicloran.

Las concentraciones obtenidas en este estudio rebasan los límites permisibles para México en el agua y para la protección de la vida acuática lo rebasan el lindano, endosulfán I y II; además, al no detectarse diferencias significativas entre las concentraciones de los siete OCs se sugiere que en el tiempo de muestreo y previo a este, pudo existir una fuente antropogénica.

A pesar de haber determinado la presencia de plaguicidas OCs en el Río Tigre en el agua, es importante realizar estudios a futuro para determinar la concentración de éstos en el tejido de organismos que habitan en este ecosistema para poder analizar la bioacumulación y el posible riesgo hacia los consumidores de dichos organismos, así como la relación entre las concentraciones de OCs en el tejido como en el sedimento.

Además, sería conveniente establecer un monitoreo de seguimiento que permita determinar las variaciones futuras en las concentraciones de los plaguicidas en el cuerpo de agua.

## REFERENCIAS

- Albert, L. A., & Benítez, J. A. (2005). Impacto ambiental de los plaguicidas en los ecosistemas costeros. En A. V. Botello, J. Rendón-von Osten, G. Gold-Bouchot & C. Agraz-Hernández (Eds.), *Golfo de México. Contaminación e impacto ambiental: Diagnóstico y tendencias*. (2a ed., pp. 157-176). Universidad Autónoma de Campeche, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto Nacional de Ecología.
- Anderson, B., Phillips, B., Hunt, J., Siegler, K., Voorhees, J., Smalling, K., Kuivila, K., Hamilton, M., Ranasinghe, J. A., & Tjeerdema, R. (2014). Impacts of pesticides in a Central California estuary. *Environmental Monitoring and Assessment*, 186, 1801-1814. <https://doi.org/10.1007/s10661-013-3494-7>
- Castro-Castro, V., Siu-Rodas, Y., González-Huerta, L. V., & Sokolov, M. Y. (2005). Efecto tóxico de DDT y endosulfan en postlarvas de camarón blanco, *Litopenaeus vannamei* (Decapoda: Penaeidae) de Chiapas, México. *Revista de Biología Tropical*, 53(1-2), 141-151.
- CICOPLAFEST. (2004). *Catálogo oficial de plaguicidas, 1995*. Comisión Intersecretarial para el Control y uso de Plaguicidas, Fertilizantes y Sustancias Tóxicas (CICOPLAFEST). México. [www.sagarpa.gob.mx/cicoplafest/](http://www.sagarpa.gob.mx/cicoplafest/)
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). 2015. *Ley Federal de Derechos. Disposiciones Aplicables en Materia de Aguas Nacionales*. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/106744/Ley\\_Federal\\_de\\_Derechos\\_2015.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/106744/Ley_Federal_de_Derechos_2015.pdf).
- EPA. (1980a). Ambient water quality criterio endosulfan. EPA 440/5-80-046. Consultado en abril 2017 de [www.epa.gov](http://www.epa.gov)
- EPA. (1980b). Ambient water quality criterio hexachlorocyclohexane. EPA 440/5-80-054. Consultado en abril 2017 de [www.epa.gov](http://www.epa.gov)
- EPA. (1980c). Ambient water quality criterio aldrin/dieldrin. EPA 440/5-80-019. Consultado en abril 2017 de [www.epa.gov](http://www.epa.gov)
- EPA. (1980d). Ambient water quality criterio Heptacloro. EPA 440/5-80-052. Consultado en abril 2017 de [www.epa.gov](http://www.epa.gov)
- Galindo-Reyes, J. G., Fossato, V. U., Villagrana-Lizarraga, C., & Dolci, F. (1999). Pesticides in water, sediments, and shrimp from a coastal lagoon off the Gulf of California. *Marine Pollution Bulletin*, 38(9), 837-841.
- Gobierno del Estado de Tamaulipas. (2011). *Atlas de riesgos del Estado de Tamaulipas*. Protección Civil Tamaulipas. Servicio Geológico Mexicano. Secretaría de Economía. <https://www.tamaulipas.gob.mx/proteccioncivil/wp-content/uploads/sites/36/2017/09/ATLAS-DE-RIESGOS-DEL-ESTADO-DE-TAMAULIPAS.pdf>
- Hernández-Antonio, A., & Hansen, A. M. (2011). Uso de plaguicidas en dos zonas agrícolas de México y evaluación de la contaminación de agua y sedimento. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 27(2), 115-127.
- Huang, D. J., Wang, S. Y., & Chen, H. C. (2004). Effects of the endocrine disrupter chemicals chlordane and lindane on the male green neon shrimp (*Neocaridina denticulata*). *Chemosphere*, 57(11), 1621-1627. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2004.08.063>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía e Informática. INEGI. (2009). *Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Aldama, Tamaulipas. Clave geoestadística 28002*. <https://docplayer.es/95290980-Prontuario-de-informacion-geografica-municipal-de-los-estados-unidos-mexicanos-aldama-tamaulipas-clave-geoestadistica-28002.html>
- Islas-García, A. (2008). *Distribución de plaguicidas organoclorados en agua y sedimento durante*

- la época de secas y lluvias en la laguna de Agua Brava, Nayarit* [Tesis de maestría, Universidad Nacional Autónoma de México]. Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología.
- Linares-Mazariegos, R. M. (2007). *Evaluación ambiental de pesticidas organoclorados en sedimentos de la Laguna de Chantuto (Chiapas, México) y de la Bahía de Santander (Cantabria, España). Capítulo 1* [Tesis doctoral, Universidad de Cantabria]. Departamento de Ingeniería Química y Química Inorgánica.
- Moe, S. J., Hjermann, D. Ø, Ravagnan, E., & Bechmann, R. K. (2019). Effects of an aquaculture pesticide (diflubenzuron) on non-target shrimp populations: Extrapolation from laboratory experiments to the risk of population decline. *Ecological Modelling*, 413, 108833. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2019.108833>
- Montes-Nava, A. M. (2008). *Contaminación por plaguicidas en el sistema lagunar Navachiste-Macapule, Sinaloa, México* [Tesis de Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México]. Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología.
- Ortiz, J. B., de Canales, M. L. G., & Sarasquete, C. (2003). Histopathological changes induced by lindane ( $\gamma$ -HCH) in various organs of fishes. *Scientia Marina*, 67(1), 53-61. <https://doi.org/10.3989/scimar.2003.67n153>
- Periódico Oficial del Estado. (2013). *Plan municipal de desarrollo 2013-2016 del municipio de Aldama, Tamaulipas* (Tomo CXXXVIII. Martes 31 de diciembre de 2013). Gobierno del Estado de Tamaulipas.
- Rodríguez, Á. G. P. (2017). Contaminación del agua y bioacumulación en el ser humano de plaguicidas organoclorados en el estado de Yucatán, México. *Revista de la Universidad Marista de Mérida*, 1(1), 1-8.
- Sierra-Cortés, J. C., Vega y León, S., Gutiérrez-Tolentino, R., Ortis-Salinas, R., Pérez-González, J. J., & Escobar-Medina, A. C. (2019). Plaguicidas organoclorados en agua de la laguna negra de puerto Marqués, Acapulco, Guerrero, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 35(2), 397-406. <https://doi.org/10.20937/rica.2019.35.02.11>
- Sathishkumar, P., Mohan, K., Ganesan, A. R., Govarthanam, M., Yusoff, A. R. M., & Gu, F. L. (2021). Persistence, toxicological effect and ecological issues of endosulfan—a review. *Journal of Hazardous Materials*, 416, 125779. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.125779>
- Uzcátegui, J., Araujo, Y., & Mendoza, L. (2011). Residuos de plaguicidas organoclorados y su relación con parámetros físico-químicos en suelos del municipio Pueblo Llano, Estado Mérida. *Bioagro*, 23(2), 115-120.
- Zaragoza-Bastida, A., Valladares-Carranza, B., Ortega-Santana, C., Zamora-Espinosa, J., Velázquez-Ordoñez, V., & Aparicio-Burgos, J. (2016). Repercusiones del uso de los organoclorados sobre el ambiente y salud pública. *Abanico Veterinario*, 6(1), 43-55. <https://www.scielo.org.mx/pdf/av/v6n1/2448-6132-av-6-01-00043.pdf>