

Plaguicidas organoclorados, un problema ambiental en la Laguna Negra de Puerto Marqués-Acapulco, México

Jesús Clemente Sierra Cortés^{1*}, Rey Gutierrez Tolentino^{1**}, Salvador Vega y León¹, Rutilio Ortíz Salinas¹, Arturo Escobar Medina¹, José Jesús Pérez González¹ y Beatriz Schettino Bermúdez¹

Resumen. *El objetivo del trabajo fue describir las concentraciones de plaguicidas organoclorados detectados en la Laguna Negra de Puerto Marqués, Acapulco. Este cuerpo acuático es un ecosistema costero compuesto por manglar; es un sitio clave en el crecimiento y desarrollo de especies marinas de interés comercial, además de ser un atractivo turístico cercano a una población en crecimiento. Se realizaron muestreos bimestrales durante un año, colectando muestras de agua, sedimento y peces juveniles. La extracción de los compuestos organoclorados en cada una de las matrices se realizó de acuerdo a los lineamientos internacionales (ONU y Estados Unidos). Las determinaciones se efectuaron en un cromatógrafo de gases con captura de electrones. La concentración de compuestos organoclorados en agua fue de 1291 µg/L, en sedimento fue de 1134 µg/kg, y en peces de 485 µg/kg; algunos compuestos rebasan el límite permisible en puntos específicos de la laguna, por ejemplo, lindano, epóxido de heptacloro, dieldrin y DDT. En la época*

¹ Profesor Investigador del Departamento de Producción Agrícola y Animal, Universidad Autónoma Metropolitana- Xochimilco.

* Estudiante de la Maestría en Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma Metropolitana- Xochimilco.

** e-mail: reygut@correo.xoc.uam.mx.

de seca se apreció una mayor concentración de compuestos organoclorados en el agua y sedimento, mientras que la mayor concentración en peces fue en la época de lluvia. Los resultados demostraron una alteración grave del ecosistema por efecto de múltiples factores que han degradado su función biológica. Es importante realizar un estudio integral para reducir el impacto negativo al sistema lagunar debido a la disminución de peces y crustáceos importantes para la población local.

Palabras clave: *Ecosistema lagunar, Contaminante orgánico persistente, Degradación, Valor biológico.*

Abstract. *The objective of this work was to describe the effects of concentrations of organochlorine pesticides detected in the Laguna Negra of Puerto Marques, Acapulco. Being a coastal ecosystem composed of mangroves that they are a key site in the growth and development of marine species of commercial interest as well as being a tourist attraction close to a growing population. Bimonthly samplings were carried out for a year in which samples of water, sediment and juvenile fishes were collected. The extraction of the organochlorine contaminants in each of the matrices was carried out according to the guidelines of the United Nations and the United States Environmental Protection Agency. The determinations were carried out on an electron capture gas chromatograph. The levels detected in water (1291 µg/L), sediment (1134 µg/kg) and fish (485 µg/kg) showed that some compounds exceed the permissible limit at specific points in the lagoon, such as lindane, heptachlor epoxide, Dieldrin and DDT. The dry season showed higher concentration of organochlorine pesticides in the water and sediment while the highest concentrations in fishes were detected during the rainy season. Observations made in the field showed a serious alteration of the ecosystem due to multiple factors that have degraded its biological function. It is important to conduct a comprehensive study to reduce the negative impact to the lagoon system due to the decrease of fish and crustaceans important to the local population.*

Keywords: *Lagoon ecosystem, Persistent Organic pollutant, Degradation, Biological value.*

INTRODUCCIÓN

Dentro de los ecosistemas naturales, las lagunas costeras tienen una relevancia importante por ser el lugar de desove, crecimiento y desarrollo de especies marinas, de las cuales la mayoría son de interés comercial (PNUMA, 2004). Se ha demostrado, históricamente, que las actividades humanas han afectado a una infinidad de ecosistemas debido al desconocimiento de sus funciones para el equilibrio del entorno y del humano mismo. En muchos casos, se han considerado a las lagunas costeras como focos de infección y áreas inútiles para el desarrollo de actividades agrícolas y ganaderas (Benitez y Barcenás, 1996; Pérez *et al.*, 2013). Esto ha ocasionado que dichos lugares sean rellenados para favorecer la construcción de unidades habitacionales, centros recreativos y reservorio de desechos sólidos y aguas residuales por parte de una población o industria. Un enfoque diferente es como sitio de dilución o degradación de contaminantes sin alterar al ambiente, tal situación ha provocado la desaparición de vegetación, aves, peces y otros organismos de gran importancia en el equilibrio del ecosistema (Barakat *et al.*, 2013; Ali *et al.*, 2014).

Dicha situación es generalizada en los sistemas lagunares a nivel mundial y nacional, por lo cual se han establecido estrategias para integrar la actividad humana y la conservación del ecosistema, aunado a un programa de monitoreo constante para vigilar, evaluar y redefinir las acciones para mantener una adecuada calidad del agua a través de características establecidas en los estudios de conservación: materia orgánica, concentración de contaminantes inorgánicos/orgánicos, coliformes, temperatura, material suspendido, entre otros (Gao *et al.*, 2008).

La variedad de formas de vida en el mar involucra múltiples dimensiones, medidas y unidades (biodiversidad marina) que incluye todos los niveles de organización, desde genes hasta la biosfera, pasando por especies, poblaciones, comunidades y ecosistemas (Mancera-Pineda *et al.*, 2013), por tanto, la biodiversidad suministra protección, alimento, materiales y medicamentos, un elemento clave para el desarrollo social, intelectual

y espiritual de las sociedades. La pérdida de especies residentes puede llevar a extinciones locales y globales, sobre todo, para los taxones con distribución limitada o dependientes exclusivamente de un determinado hábitat (Hernández-Romero *et al.*, 2004). De acuerdo a la World Resources Institute, en México se ha perdido 65% de los manglares para favorecer zonas agrícolas, ganaderas, acuícolas, centro turísticos y deportivos (Semarnat, 2003); las condiciones de las zonas agrícolas en la parte superior de una cuenca hidrológica y la intensidad de lixiviación de plaguicidas y fertilizantes varía de una región a otra, sin embargo, la mayor vulnerabilidad ocurre en regiones con altas precipitaciones, en suelos principalmente arenosos, y en sistemas agrícolas intensivos (Cotler e Iura, 2012).

Se ha demostrado que los plaguicidas organoclorados son muy persistentes y estables en la mayoría de las condiciones ambientales debido a su baja volatilidad, solubilidad y reactividad; tienen una alta capacidad de bioacumulación en la cadena alimentaria (solubles en grasa), son resistentes a la degradación microbiana y representan una gran amenaza para la salud humana y el ecosistema mundial (García-Gutiérrez y Rodríguez-Meza, 2012). La acumulación de los plaguicidas organoclorados en la especie humana se ha relacionado con el riesgo de desarrollar varios tipos de cáncer: mama, cuello uterino, próstata y pulmón, donde se ha detectado la presencia de residuos de plaguicidas en leche y muestras de sangre de agricultores. Además, como el humano es el último eslabón de cualquier cadena alimentaria, es probable que consuma diferentes niveles de estos compuestos. Esta preocupación, tanto en los países industrializados como en desarrollo, constituye la base de las regulaciones de plaguicidas que controlan su producción, uso y disposición en el ambiente, y su presencia en los alimentos (CICOPLAFEST, 2004).

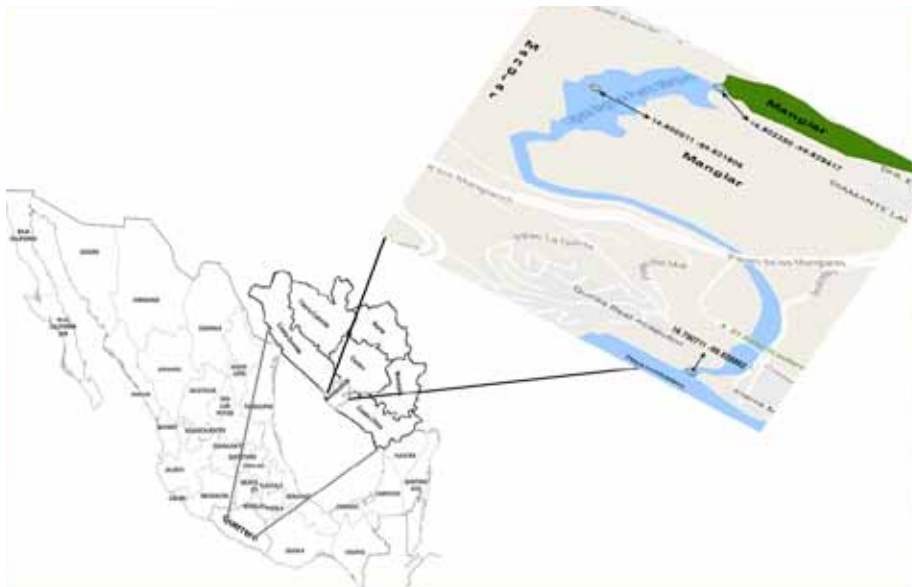
En la Laguna Negra de Puerto Marqués se ha descrito una contaminación biológica en el agua debido a las descargas de aguas residuales provenientes del Río Sabana que cruza varios municipios poblacionales, así como aquellos desarrollos urbanos y turísticos que están alrededor de la Laguna.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización de la zona de estudio

El estado de Guerrero tiene una extensión de 63,794 km² que pertenece a 3.2% del territorio de la República Mexicana. Cuenta con una superficie territorial de 1'959'247 km². Se ubica en la región pacífico sur entre los meridianos 18°54'-16°18' latitud N y 97° 57'- 102° 11' Longitud O, con una superficie territorial de 6'362'100 km². Limita al norte con los estados de Michoacán de Ocampo, Estado de México y Morelos; al noreste con Puebla; al este con Oaxaca, y al sur con el Océano Pacífico (Figura 1) (INEGI, 2012).

Figura 1. Ubicación de la zona de estudio en Puerto Marqués, Acapulco, Guerrero, México.



INEGI: Prospectiva estadística. Guerrero, diciembre, 2012.

La Laguna Negra de Puerto Marqués se encuentra en el municipio de Acapulco de Juárez a inmediaciones de la bahía de Puerto Marqués, formando parte del sistema de cuencas de la costa de Guerrero y, por consiguiente, pertenece al organismo de cuenca pacífico sur. Esta laguna está cubierta por mangle casi en su totalidad, su principal uso es de refugio faunístico y florístico, forma parte de un sistema hidrológico constituido por el río de la Sabana-laguna de tres palos-Laguna Negra de Puerto Marqués, formando parte del sistema de cuencas de la costa de Guerrero, cubre un área aproximada de 66.4 ha, con una profundidad media de 3.7 m, y se comunica con el mar por un canal que divide al cerro de Punta Diamante de la zona de playas de Copacaba-Bonfil-Barra vieja. A lo largo de ella se descargan escurrimientos de aguas que provienen del río de la Sabana en su parte alta (área rural del municipio de Acapulco), en su parte media y parte baja (áreas conurbadas de mayor crecimiento del municipio de Acapulco) (CNA, 2008).

Muestreo

La toma de muestras se realizó durante dos épocas del año, de octubre 2012 a octubre 2013: la estación seca (noviembre-abril) y la época de lluvia (junio-octubre). El muestreo fue dirigido para el sistema lagunar, contemplando las desembocaduras de ríos, canales y descargas de aguas residuales, descrito por Hernández y Hansen (2011). Se determinaron nueve sitios de muestreo georeferenciados con sistema de posicionamiento global GPS (Global Positional System) para la colecta de agua, sedimentos y peces, a lo largo del canal principal, formado de manera natural por la vegetación de manglar, al interior de la laguna y en el área denominada placeton (área de menor cobertura vegetal). La toma de las muestras se llevó a cabo en los puntos señalados en la figura 2.

Figura 2. Ubicación de los puntos de muestreo en la zona de estudio de la Laguna Negra de Puerto Marqués, Acapulco, Guerrero



Se realizó un análisis de las determinaciones de los parámetros físicos y químicos del agua en un estudio realizado por Robles *et al.* (2002), con la finalidad de asociar algunas situaciones con respecto al comportamiento de los plaguicidas. De acuerdo al autor de dicho trabajo, estos parámetros no han cambiado mucho.

Agua

Las muestras de agua fueron superficiales simples, colectadas mediante una botella de vidrio de color ámbar de 4 litros a una profundidad de 30 a 50 cm, tomando aproximadamente un volumen de 3.9 L. Se adicionó 90 mL de hexano grado cromatográfico y por agitación se realizó la extracción *in situ* de los compuestos clorados, realizando el mismo procedimiento una vez más. La fase orgánica (hexano) de la muestras se colectó en frascos de vidrio de 250 mL, previamente tratados de acuerdo con el método propuesto por la EPA 3510C (1996). Las muestras fueron transportadas al laboratorio en una hielera a 4°C y mantenidas en refrigeración hasta su purificación en columnas cromatográficas empacadas con florisil. El extracto orgánico se obtuvo por medio de una mezcla de éter de petróleo y hexano (UNEP, 1982), posteriormente se concentró en un rotavapor y trasvasando el volumen a un vial para su análisis en cromatografía de gases.

Sedimento

Las muestras de sedimento se obtuvieron mediante una draga Van Vee (Fernández-Bringas *et al.*, 2008). De la parte central de la draga, se retiró la muestra de aproximadamente 1 kg de sedimento y se colocaron en frascos de vidrio que se encontraban envueltos en papel aluminio, sellados, y se mantuvieron almacenados a una temperatura de 5°C. Las muestras fueron conservadas en frascos de vidrio previamente tratadas y mantenidas a una temperatura de 4°C durante su transporte. En laboratorio, el sedimento fue secado a una temperatura de 40°C, posteriormente se tamizó y se tomó una muestra representativa para su extracción en el sistema Soxhlet, empleando una mezcla de hexano y diclorometano (1:1 v/v) (EPA, 3540). El extracto orgánico se purificó en columnas cromatográficas empacadas con florisil, empleando una mezcla de éter de petróleo

y hexano para extraer los análisis de interés (UNEP, 1982), posteriormente se concentró en un rotavapor y trasvasando el volumen a un vial para su análisis en cromatografía de gases (EPA, 8081B).

Peces

En la colecta de peces se empleó una atarraya, donde se capturaron, se descamaron y eviscerados *in situ*. Limpios los organismos, se envolvieron en papel aluminio y se colocaron en bolsas de plástico de polietileno, éstos se conservaron a 4°C en una hielera para su transporte y almacenamiento. En laboratorio se extrajo el músculo para su extracción en el sistema Soxhlet (EPA 3540). El extracto orgánico se purificó en columnas cromatográficas empacadas con florisil. El extracto de interés se obtuvo por medio de una mezcla de éter de petróleo y hexano, posteriormente se concentró en un rotavapor (EPA 3500C) y trasvasando el volumen a un vial para su análisis en cromatografía de gases (EPA 8081B).

Análisis cromatográfico

Para la determinación y cuantificación, se utilizó un cromatógrafo de gases marca Shimadzu GC 2010 Plus, equipado con un detector de captura de electrones (Ni^{63}) y columna capilar de sílice de 30 m de longitud por 0.25 mm de diámetro interno, y un recubrimiento de 0.25 μm de metil-fenil-silicón al 5%; como gas acarreador se empleó el nitrógeno con un flujo de 30.0 mL/min. La temperatura del horno se programó de 100°C hasta 280°C, la temperatura del inyector fue de 225°C y la temperatura del detector a 310°C. Se utilizó el siguiente programa de temperaturas: T1= 100°C por 2 minutos, después con incremento de 15°C/minuto hasta T2= 160°C, por 5 minutos, para finalmente incrementar 5°C/minuto hasta llegar a T3= 280°C, manteniéndose por 5 minutos; en un tiempo final de

40 min. El registro e integración de los puntos de retención de los compuestos se realizó mediante el software Shimadzu GC solution Chromatography Data System Version 2.4. Se inyectó 1 μL del estándar (16 component Organochlorine Pesticides Mixture) de la marca CHEM SERVIC Analytical Standards de 100 mg en 1 mL con No. Cat. 608/625/8080/8081.

Control de calidad analítica

Durante los procedimientos de extracción y purificación de los plaguicidas organoclorados en las diversas matrices, se realizaron réplicas por cada lote de 6 muestras, blanco de reactivos (únicamente solventes) y blancos fortificados (con la adición de plaguicidas organoclorados a concentración conocida sin la muestra) con la intención de garantizar la calidad de los resultados. El límite de cuantificación para el agua fue de 0.2 a 0.16 ng/mL, y para las muestras de sedimento y músculo de peces fue de 0.25 a 0.5 ng/g. Se utilizó una solución estándar de una mezcla de 16 compuestos de plaguicidas organoclorados (Chem. Service, Inc): Alicíclicos: alfa-HCH, beta-HCH, gamma-HCH y delta-HCH; aromáticos: p,p'-DDE, p,p'-DDT y p,p'-DD; ciclodiénicos: aldrín, dieldrín, endrín, endrín aldehído, heptacloro, epóxido de heptacloro, endosulfan I, II y sulfato de endosulfan. Los porcentajes de recuperación obtenidos de los blancos fortificados fueron en un intervalo de 80% (compuestos alicíclicos, principalmente) a 110 por ciento.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características físico-químicas

De acuerdo a Robles *et al.* (2002), al aplicar un análisis de componentes principales se lograron identificar aquellas variables que se asocian con

la contaminación de la Laguna, apreciando seis componentes que explicaron 74% del fenómeno. El primer componente correspondió a los sólidos disueltos, sólidos suspendidos, conductividad eléctrica, dureza (calcio y magnesio), cloruros y sulfatos; el segundo componente está asociado con la presencia de coliformes totales/fecales y estreptococos; el tercer componente está integrado por los ortofosfatos y fosfatos totales; el cuarto componente fue constituido por los nitritos; el quinto componente por el oxígeno disuelto, y finalmente el sexto componente formado por el nitrógeno orgánico.

En análisis por épocas de seca y lluvia se apreció una diferencia significativa en las condiciones del ambiente y del agua de la Laguna, donde el proceso de autopurificación cambia drásticamente; por ejemplo, en la época de seca, los microorganismos en el agua consumen los elementos nutritivos suministrados por las aguas residuales, lo que resulta en una disminución del oxígeno disuelto; con un aumento de la temperatura ambiental se provoca una mayor evaporación del agua de la Laguna y como consecuencia una concentración de los contaminantes en el sedimento y en las partículas sólidas suspendidas. Por lo que respecta a la época de lluvias, la combinación del viento aumenta los valores de oxigenación del agua, y los procesos de purificación se realizan de forma adecuada en favor de la degradación de los contaminantes.

La presencia de plaguicidas detectadas en la Laguna es parte de las tres fuentes contaminantes apreciadas en el lugar: biológica (coliformes), química (plaguicidas organoclorados) y física (por el arrastre de partículas en suspensión o sedimentos).

Contenido de plaguicidas en agua

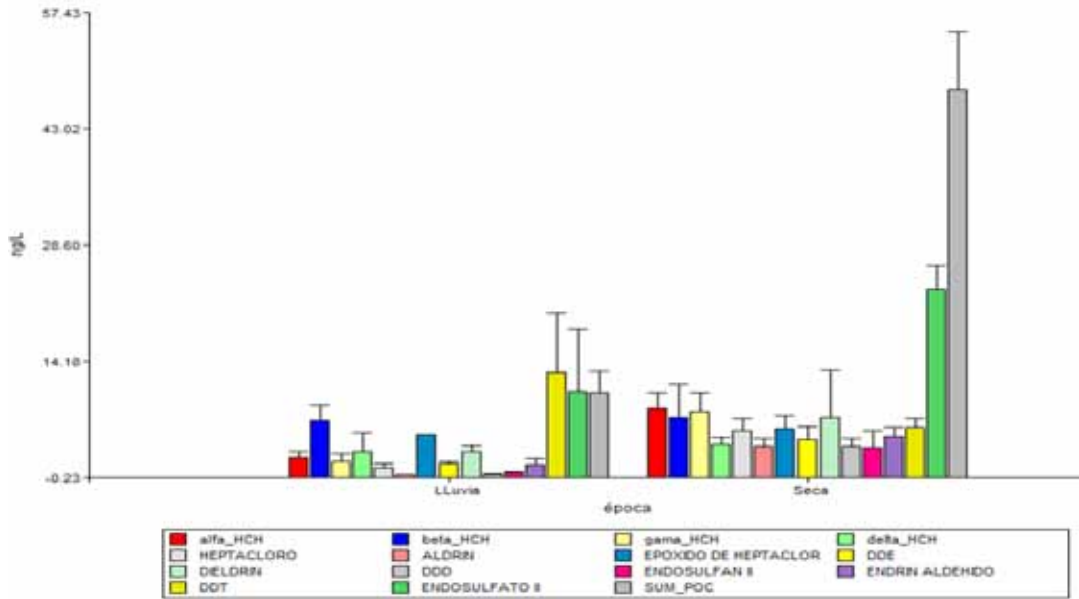
En la figura 3 se aprecia la distribución de los plaguicidas organoclorados en función a las temporadas de lluvia y seca; las concentraciones individuales y total (1291 ng/L) se presentaron altas en la época de seca,

donde existe una mayor evaporación y por tanto una concentración de los contaminantes en el agua en comparación a la época a la época de lluvia (278.10 ng/L). Para la temporada de seca, los compuestos principales fueron: Endosulfato II (23.15 ng/L), alfa HCH (8.34 ng/L), gama HCH (7.98 ng/L), dieldrin (7.25 ng/L), beta HCH (7.23 ng/L), y el compuesto con menor concentración fue el aldrin (3.63 ng/L). Los compuestos organoclorados con mayor presencia fueron el DDT (12.85 ng/L), endosulfato II (10.45 ng/L) y beta HCH (6.79 ng/L), y el de menor valor fue el DDD (0.15 ng/L).

En la época de lluvia, al existir un mayor volumen de agua en la Laguna, se observó un efecto de dilución y un ingreso de compuestos contaminantes por el río de la Sabana que alimenta al cuerpo acuático, donde se transporta las descargas de varios municipios agrícolas ubicados en la parte superior de la cuenca hidrológica y de los asentamientos urbanos cercanos como: Ciudad Renacimiento, rastro municipal de la Sabana, planta de tratamiento de aguas residuales del poblado de Puerto Marqués y de la zona hotelera cercana a la laguna (Hotel Princess), por lo que los aportes de sitios cercanos a la Laguna son la entrada de contaminantes orgánicos a este sistema lagunar, principalmente (Cai *et al.*, 2010).

Se ha demostrado que existe una degradación de algunos compuestos clorados en el ambiente, por ejemplo, el endosulfan es una mezcla de dos isómeros I y II-endosulfan en una relación aproximada de 70 y 30%, en donde es transformado por las bacterias a endosulfan sulfato en el suelo (Cotham y Bidelman, 1989). La presencia del endosulfan II sugiere una degradación del compuesto principal endosulfan debido a que está constituido por el I y II-endosulfan; asimismo, la aparición del endosulfato I en la Laguna se puede deber a una deposición histórica o producto de la degradación del endosulfan, ya que es producido por la oxidación del compuesto principal, lo cual resulta en un producto sumamente tóxico (Naqvi y Vaishnavi, 1993; Botello *et al.*, 2000; Tripathi y Verma, 2004; Carvalho *et al.*, 2009).

Figura 3. Distribución de los plaguicidas en agua superficial de la Laguna Negra de Puerto Marqués



Para el caso del DDT, éste es transformado a su metabolito DDE bajo condiciones aeróbicas (Singh *et al.*, 2005), y a DDD en ambientes anaeróbicos (Yang *et al.*, 2013). Las proporciones de DDE/DDT y (DDE+DDD)/DDT >1 sugieren una contaminación histórica, mientras que < 1 determina una aplicación reciente de DDT (Jaga y Dharmani, 2003). Los valores reportados DDE/DDT y (DDE+DDD)/DDT en el agua fueron de 1.3 y 0.88, respectivamente, donde el primer indicador manifiesta una acumulación histórica, mientras el segundo indicador sugiere una aplicación reciente de DDT. Por lo tanto, la mayor presencia del DDE en las muestras de agua, más que el DDD puede justificarse debido a que el DDD se degrada más rápido (Youssef *et al.*, 2015). Cabe mencionar que aunque el DDT ha

sido prohibido para fines agrícolas, en lugares tropicales se sigue utilizando en campañas de salud pública en el combate de vectores como la malaria (Benítez y Bárcenas, 1996; Carvalho *et al.*, 2009).

El HCH técnico está constituido de la siguiente manera: alfa-HCH 60-70%, beta-HCH, 5-14%, gama-HCH 8-15%, delta-HCH 2-16%, y finalmente 1-5% el resto de los isómeros (Will *et al.*, 1998; Breivik *et al.*, 1999). La presencia de los isómeros con mayor porcentaje fueron gama y beta-HCH en la Laguna en comparación a los otros isómeros, lo que indica aplicaciones recientes y una degradación del mismo (Gao *et al.*, 1998); debido a sus propiedades insecticidas son empleados en la agricultura. El lindano ha sido utilizado de manera individual en HCH técnico, este último contiene varios isómeros de HCH (Li *et al.*, 1998; Li *et al.*, 2001; Toan *et al.*, 2009).

La tabla 1 presenta los valores de algunos plaguicidas regulados por la NOM-127-SSA1-1994, aquí se aprecia que los valores detectados en la muestra de agua en la Laguna Negra exceden los límites permisibles, lo cual representa un problema hacia los organismos acuáticos, y con ello una afectación hacia el ecosistema lagunar. Es notorio que algunos sistemas naturales son reservorio de contaminantes orgánicos persistentes, como es el caso de los plaguicidas organoclorados. Apreciando que a mediano y largo plazos sean afectadas las relaciones bióticas y la estructura biológica del sistema acuático con consecuencias de pérdida de biodiversidad de flora y fauna.

Tabla 1. Comparación de los valores de plaguicidas organoclorados detectados con respecto a la NOM-127-SSA1-1994

Compuestos	Límite permisible en agua (µg/L)	Valor promedio de este estudio (µg/L)
Aldrin y dieldrin (separado o combinado)	0.03	3.35
DDT (total de isómeros)	1.00	4.21
Gama-HCH (Lindano)	2.00	6.01
Heptacloro y epóxido de heptacloro	0.03	5.70

Los plaguicidas más utilizados en México son de la familia de los carbamatos y las triazinas, que se distinguen por ser de actividad herbicida; en segundo lugar se encuentran los organoclorados que están en vías de ser sustituidos, aunque éstos se pueden mezclar con otros o encontrarse con otro nombre comercial y actúan como insecticidas de ingestión y contacto. El estudio de Bernal (2012a), en un análisis de agua de sistemas agrícolas de Guanajuato, detectó principalmente al epóxido de heptacloro, 4,4-DDD, metoxiclor y 4,4-DDT, rebasando el límite permisible por la NOM-127-SSA-1994 de agua de uso y consumo humano, ya que en México no existe legislación en materia de aguas superficiales que consideren dichos compuestos.

De acuerdo al catálogo de COFEPRIS (2016), se han señalado los plaguicidas que son prohibidos o de uso restringido para su aplicación en el ámbito agrícola, ganadero y en las campañas de salud, además de las normativas expedidas por la SSA, Sagarpa y Semarnat. Haciendo énfasis con la aplicación, equipo de protección personal, etiquetado, comercialización, entre otros; dicho documento es el rector a nivel federal de lo relacionado con los plaguicidas en México.

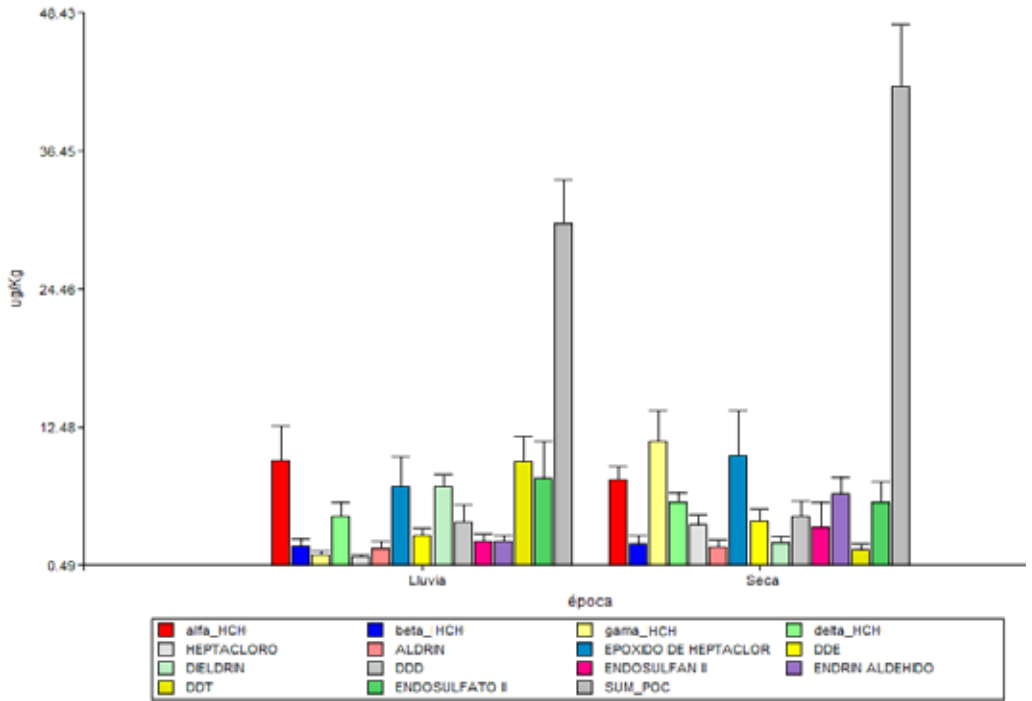
Contenido de plaguicidas en sedimento

En la figura 4 se aprecia la distribución de los plaguicidas detectados en los sedimentos en las épocas de lluvia y seca, donde la mayor concentración total de plaguicidas se encontró en la época de seca con 1133.9 $\mu\text{g}/\text{kg}$, en comparación en la época de lluvia con un valor de 812.5 $\mu\text{g}/\text{kg}$. En la temporada de seca, los valores promedio de compuestos con mayor concentración fueron: gama-HCH 11.20 $\mu\text{g}/\text{kg}$, epóxido de heptacloro 9.96 $\mu\text{g}/\text{kg}$, alfa-HCH 7.88 $\mu\text{g}/\text{kg}$, y el compuesto con menor concentración fue el DDT con 1.89 $\mu\text{g}/\text{kg}$. En la época de lluvia, los compuestos dominantes fueron: alfa-HCH (9.58 $\mu\text{g}/\text{kg}$), DDT 9.51 $\mu\text{g}/\text{kg}$, endosulfato 7.99 $\mu\text{g}/\text{kg}$, epóxido de heptacloro 7.36 $\mu\text{g}/\text{kg}$ y dieldrin 7.35 $\mu\text{g}/\text{kg}$; el compuesto con menor concentración fue el heptacloro con 1.23 $\mu\text{g}/\text{kg}$.

Las mayores concentraciones de plaguicidas se presentaron en los puntos de descarga debido posiblemente al arrastre de material particulado en comparación al resto de los sitios muestreados; se aprecia una relación de los contaminantes adheridos a las partículas de arcilla y materia orgánica; el sedimento es el principal reservorio de los compuestos clorados (Gao *et al.*, 1998).

Los sitios de descarga en la Laguna son los drenajes de los desarrollos turísticos-habitacionales y la planta de tratamiento de aguas residuales del poblado y del río de la Sabana, que son medios de arrastre de una gran cantidad de partículas, apreciando la combinación de la parte urbana y agrícola en dicho sistema acuático como lo establece Uresti-Marin *et al.*, 2008. La contaminación del sedimento en la Laguna provoca un impacto negativo en la fauna acuática (peces y organismos bentónicos) del lugar, reduciendo la supervivencia, crecimiento y alteración de los organismos que ahí habitan (Shen *et al.*, 2005).

Figura 4. Distribución de plaguicidas organoclorados en sedimento por épocas de la Laguna de Puerto Marqués



En la tabla 2, se comparan los resultados obtenidos en muestras de sedimentos de la Laguna Negra de Puerto Marqués y los límites permisibles por la legislación sanitaria de EEUU y Canadá, donde se aprecia que los compuestos señalados como gama HCH, epóxido de heptacloro y DDT rebasan los valores permisibles, mientras el dieldrin rebasa el valor permisible en la época de lluvia. Por ello, esta matriz ambiental representa un riesgo a la vida silvestre y, sobre todo, a los organismos que se alimentan de los sedimentos como es el caso de moluscos y algunos peces detritívoros, algunos de los cuales son de interés comercial (Calderon *et al.*, 2001; Zhou *et al.*, 2014).

Tabla 2. Comparación de valores permisibles de plaguicidas organoclorados en sedimentos marinos y promedios obtenidos en la Laguna Negra de Puerto Marqués

Compuestos	Límite Canadiense y NOAA * (µg/kg)**	Laguna Negra de Puerto Marqués (µg/kg)		
		Promedio de muestreos	Época de lluvia	Época de secas
Gama-HCH (Lindano)	0.99	7.84	1.44	11.20
Dieldrin	4.30	4.74	7.35	2.47
Epóxido de heptacloro	2.74	8.66	7.36	9.96
DDT	4.77	6.37	9.51	13.20
DDD	7.81	4.39	4.20	4.72
DDE	3.74	3.59	3.08	4.31

* NOAA= Administración Nacional Oceánica y Atmosférica, 2008; ** Nivel de efecto probable en organismos.

Contenido de plaguicidas en peces

Los peces colectados fueron entre machos y hembras juveniles con una talla en promedio de 12 cm y un peso alrededor de 100 g, siendo la talla del adulto entre 25 a 30 cm. Su hábito alimenticio por lo general es detritívoro. En algunos casos se capturan para ser servidos en algunos restaurantes como botana ligera.

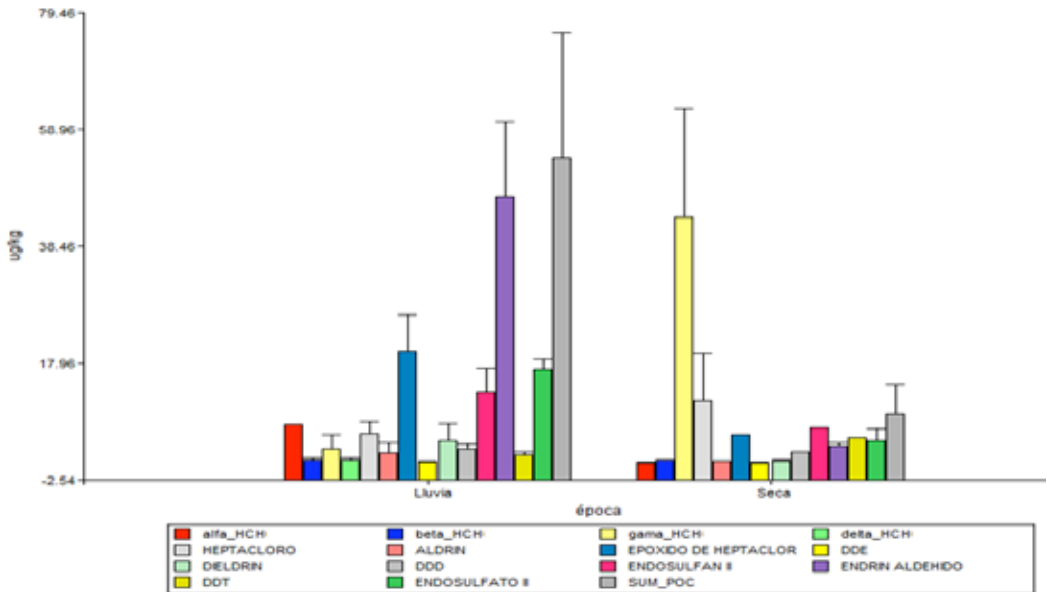
En la figura 5, se aprecia la distribución de los plaguicidas organoclorados en peces de acuerdo a la época, resultando que el promedio total fue mayor en la época de lluvia (485.4 µg/kg), que en la época de seca (162.9 µg/kg). Los peces colectados son conocidos como “popoyote” (*Profundulus hildebrandi*), cuyo hábito alimenticio es por material orgánico suspendido; en la época de lluvia existe mucha materia orgánica suspendida dada por los aportes de agua de forma natural (ríos) y debido a los asentamientos humanos (descargas residuales) cercanos

al cuerpo acuático (Dominguez-Ruiz *et al.*, 2007), asociando este hecho con la concentración detectada; además de una lenta liberación de los plaguicidas de los sedimentos de acuerdo a las condiciones ambientales como la temperatura, concentración de oxígeno y pH, entre otros (Hinojosa-Garro *et al.*, 2016).

En la temporada de lluvia, los compuestos con mayor concentración en el tejido de los peces colectados fueron: endrin aldehído (47.08 $\mu\text{g}/\text{kg}$), epóxido de heptacloro (20.05 $\mu\text{g}/\text{kg}$), endosulfato (16.93 $\mu\text{g}/\text{kg}$), endosulfan II (12.88 $\mu\text{g}/\text{kg}$) y alfa-HCH (7.20 $\mu\text{g}/\text{kg}$); el compuesto con menor concentración fue el DDE (0.63 $\mu\text{g}/\text{kg}$). En la temporada de seca los compuestos fueron: gama-HCH (43.65 $\mu\text{g}/\text{kg}$), heptacloro (11.43 $\mu\text{g}/\text{kg}$), endosulfan II (6.70 $\mu\text{g}/\text{kg}$) y epóxido de heptacloro (5.40 $\mu\text{g}/\text{kg}$).

De acuerdo a Guo *et al.* (2008), en la combinación de los plaguicidas organoclorados en el agua y sedimentos se aprecia un efecto de bioacumulación que logra producir efectos tóxicos en peces adultos, hallando únicamente peces o mariscos juveniles (Thomas *et al.*, 2012). A lo largo de los muestreos únicamente se logró la captura del popoyote, y de acuerdo a las versiones de los pescadores de la zona, éste no tiene un valor comercial destacable en comparación a peces que deberían de estar presentes como el robalo, tilapia y pargo, entre otros. Se concluye que la combinación de contaminantes de tipo biológico, físico y químico están impactando considerablemente la abundancia y diversidad de peces en la Laguna; siendo éste un claro ejemplo de la degradación de un ecosistema costero debido a las actividades antropogénicas (Arangure *et al.*, 2011).

Figura 5. Presencia de plaguicidas organoclorados en el pez “Popoyote” de la Laguna Negra de Puerto Marqués



Impacto en la diversidad biológica

El empleo por largo tiempo de los plaguicidas organoclorados ha demostrado que los insectos y malas hierbas han desarrollado una persistencia, por lo que es necesario el uso de compuestos o combinaciones más tóxicas, esto ha derivado que el ambiente, biodiversidad, agua, aire, suelo y salud humana se hayan visto dañados seriamente (Coat *et al.*, 2011; Bernal, 2012a).

La presión ejercida sobre la biodiversidad costera es cada vez más fuerte debido al aumento demográfico de la población humana, 67% de la población mundial vive en áreas costeras o en su proximidad, y se espera un mayor aumento poblacional de acuerdo a las proyecciones

demográficas mundiales, como es el caso de las ciudades de Sao Paulo, Shangai, Hong Kong y Jakarta (Mancera-Pineda *et al.*, 2013).

De acuerdo a Cotler e Iura (2012), la contaminación que se aprecia en el sistema lagunar del sitio de estudio se puede definir como difusa, pues existe el lavado de contaminantes a través del suelo o desde fuentes donde no se tiene bien descrito el origen exacto (tiraderos clandestinos). Este tipo de contaminación puede ser continua o intermitente, esta última relacionada con las actividades estacionales de la agricultura, aplicación de fertilizantes y plaguicidas, por lo que la contaminación apreciada en la Laguna está en función de la época del año, aunado a un proceso acelerado de eutrofización, presencia de contaminantes inorgánicos/ orgánicos; aumento de sólidos en suspensión que aumenta la turbidez del agua y, una reducción significativa del oxígeno disuelto, generando condiciones anóxicas en la columna de agua y fondo de la Laguna.

Con la situación de las épocas de seca y lluvia se aprecia un comportamiento diferente de los contaminantes, asociados con las condiciones ambientales, debido posiblemente a las inundaciones que pueden movilizar un mayor arrastre de sedimentos y contaminantes de todo tipo, causando un fuerte impacto en el ecosistema. Mientras que en la época de sequías, éstas se agudizan en determinados momentos, dado que al reducir la dilución se aumentan los problemas de toxicidad (Wang *et al.*, 2012). Así, que el cuidado del ambiente es de vital importancia para la salud ambiental y de los seres vivos, incluyendo al ser humano (Bernal *et al.*, 2012b).

Finalmente, a pesar de que México es signatario en varios tratados internacionales en cuanto a la regulación y eliminación de sustancias cloradas, se siguen apreciando concentraciones de éstos en agua u otras matrices ambientales; esto evidencia el abuso de insecticidas y herbicidas, aunado a un uso inadecuado en las plantaciones o prácticas erróneas de aplicación. El precio de bajo costo de algunos plaguicidas hace que sean atractivos para su consumo, representando un porcentaje reducido del costo total de producción de los cultivos comerciales, tal como el lindano y endosulfán (Bernal *et al.*, 2012b).

CONCLUSIONES

Datos previos han demostrado una contaminación severa en el sistema lagunar al aumentar la carga de materia orgánica, y probablemente un aumento de bacterias patógenas, por lo que la acción de autodepuración ha sido rebasada, con la consecuencia de apreciar concentraciones considerables de materia orgánica, y con ello un arrastre de contaminantes como los plaguicidas en el sedimento y agua, por eso la población de peces ha disminuido considerablemente y su diversidad. Únicamente se colectaron peces popoyote en una etapa juvenil, lo que ha resultado en la desaparición de la actividad pesquera de la zona aledaña; además de una baja calidad de la salud del ecosistema al apreciar una degradación de la flora y fauna, lo cual está provocando la desaparición y posibilidad de nichos para especies invasoras, rompiendo el equilibrio ecológico de la Laguna Negra.

El aporte de aguas que alimentan a la Laguna Negra de Puerto Marqués ha demeritado la calidad ambiental del ecosistema lagunar dado que los aportes son provenientes de zonas agrícolas y urbanas en donde se aplican plaguicidas organoclorados para el control de plagas y en campañas de control de vectores de enfermedades. Este hecho es fundamentado por estudios a nivel mundial, en donde se ha apreciado dicha situación con distintos grados de afectación.

BIBLIOGRAFÍA

- Ali, U. *et al.*, 2014, "Organochlorine pesticides (OCPs) in South Asian region: A review", en *Science of the total Environment* 476-477: 705-717.
- Arangure, J. *et al.*, 2011, "Evaluation of contamination levels by organochlorine pesticides residues on sediment and fishes from Aguamilpa reservoir, Nayarit, México", en *Waxapa* 1 (4): 20-35.

- Barakat, O. *et al.*, 2013, "Distribution and ecological risk of organochlorine pesticides and polychlorinated biphenyls in sediments from the Mediterranean coastal environment of Egypt", en *Chemosphere* 93 (2): 545-554.
- Benítez, A. y C. Barcenas, 1996, *Patrones de Uso de los Plaguicidas en la Zona Costera del Golfo de México*, en Botello, V. *et al.* (Eds.), *Golfo de México, Contaminación a Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias*, 155-167 pp., EPOMEX Serie Científica 5, Universidad Autónoma de Campeche, México.
- Bernal, M., 2012a "Contaminación del agua por plaguicidas", en Pérez, H. y A. Aguilar, (Eds.), *Agricultura y contaminación del agua*, 78-108 pp., Universidad Nacional Autónoma de México e Instituto de Investigaciones Económicas, México.
- Bernal, M. *et al.*, "Contaminación por plaguicidas", en Pérez, H. y A. Aguilar (Eds.), Universidad Nacional Autónoma de México e Instituto de Investigaciones Económicas, 173-206. ISBN: 978-607-02-3550-4.
- Botello, V. *et al.*, 2000, "Persistent organochlorine pesticides (POPs) in coastal lagoons of the subtropical Mexican Pacific", en *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 64: 390-397.
- Breivik, K. *et al.*, 1999, "Use of alpha-, beta- and gamma-hexachlorocyclohexane in Europe, 1970-1996", en *The Science of the Total Environment* 239: 151-163.
- Cai, G. *et al.*, 2010, "Concentration and distribution of 17 organochlorine pesticides (OCPs) in seawater from the Japan Sea northward to the Arctic Ocean", en *Chemistry* 53:1033-1047.
- Calderón, H. *et al.*, 2001, "Plaguicidas organoclorados en sedimentos y organismos acuáticos del lago de Catemaco, Veracruz, México", en *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 17(1): 23-30.
- Carvalho, P. *et al.*, 2009, "Pesticide and PCB residues in the aquatic ecosystems of Laguna de Términos, a protected area of the coast of Campeche, Mexico", en *Chemosphere* 74: 988-995.

- CICOPLAFEST (Comisión Intersecretarial para el Control del Proceso y uso de Plaguicidas, Fertilizantes y Sustancias Tóxicas), 2004, en <http://www.cofepris.gob.mx/cis/tramites/infPynv/InfRegPlag-NutVeg.htm>, consultado el 15/11/16.
- Consejo de Cuenca de la Costa de Guerrero (CNA), 2008, Plan de Gestión Integral Cuenca río La Sabana-Laguna de Tres Palos.
- Coat, S. *et al.*, 2011, "Organochlorine pollution in tropical rivers (Guadeloupe): Role of ecological factors in food web bioaccumulation", en *Environmental Pollution* 159: 1692-1701.
- COFEPRIS, 2016, Catálogo de plaguicidas, en www.cofepris.gob.mx/AZ/Paginas/Plaguicidas%20y%20Fertilizantes/CatalogoPlaguicidas.aspx, consultado 10/12/16.
- Cotham, E. Jr. y F. Bidleman, 1989, "Degradation of malathion, endosulfan and fenvalerate in seawater and seawater/sediment microcosms", en *Journal Agriculture Food and Chemistry* 37: 824-828.
- Cotler, H. y D. Iura, 2012, Contaminación potencial difusa por actividad agrícola, en <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/639/contaminacion.pdf>, consultado 16/05/17.
- Domínguez, E. *et al.*, 2007, "Monografía de *Profundulus hildebrandi* Miller", en E. Velázquez (Coord.), Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, México.
- Fernández, M. *et al.*, 2008, "Organochlorine pesticides in lacustrine sediments and tilapias of Metztitlan, Hidalgo, Mexico", en *Biological Tropical* 56 (3): 1381-1390.
- Gao, J. *et al.*, 1998, "Sorption of pesticides in the sediment of the Teufelsweiher pond (southern Germany). I: equilibrium assessments, effect of organic carbon content and pH", en *Water Resources* 32(5): 1662-1672.
- Gao, J. *et al.*, 2008, "Occurrence and distribution of organochlorine pesticides-lindane, p,p'-DDT, and heptachlor epoxide in surface water of China", en *Environment International* 34: 1097-1103.

- García, C. y D. Rodríguez, 2012, "Problemática y riesgo ambiental por el uso de plaguicidas en Sinaloa", en *Ra Ximhai, revista de Sociedad, Cultura y Desarrollo Sustentable* 8 (3): 1-10.
- PNUMA, 2004, Informe Geo México 2004. Perspectivas del medio ambiente en México. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA).
- Guo, Y. *et al.*, 2008, "Tissue distribution of organochlorine pesticides in fish collected from the Pearl River Delta, China: Implications for fishery input source and bioaccumulation", en *Environmental Pollution* 155: 150-156.
- Hernández, A. y A. Hansen, 2011, "Uso de plaguicidas en dos zonas agrícolas de México y evaluación de la contaminación de agua y sedimentos", en *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 27(2): 115-127.
- Hernández, H. *et al.*, 2004, "Water quality and presence of pesticides in a tropical coastal wetland in southern Mexico", en *Marine Pollution Bulletin* 48:1130-1141.
- Hinojosa, D. *et al.*, 2016, "Organochlorine Pesticides (OCPs) in Sediment and Fish of Two Tropical Water Bodies Under Different Land Use", en *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 97: 105-111.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), 2012, Perspectiva estadística Guerrero.
- Jaga, K. y C. Dharmani, 2003, "Sources of exposure to and public health implications of organophosphate pesticides", en *Revista Panamericana de Salud Pública* 14(3): 171-185.
- Li, F. *et al.*, 1998, "Technical hexachlorocyclohexane use trends in China and their impact on the environment", en *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 35: 688-697.
- Li, F. *et al.*, 2001, "Gridded usage inventories of technical hexachlorocyclohexane and lindane for China with 1/6° latitude by 1/4° longitude resolution", en *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 41: 261-266.

- Mancera, J. *et al.*, 2013, "Principales amenazas a la biodiversidad marina", en *Actual Biologica* 35(99): 111-133
- Naqvi, M. y C. Vaishnavi, 1993, "Bioaccumulative potential and toxicity of endosulfan an insecticide to non-target animals. Mini-review", en *Comparative Biochemistry and Physiology* 105C (3): 347-361.
- Norma Oficial Mexicana. NOM-027-SSA1-1993. Bienes y servicios. Productos de la pesca. Pescados frescos, refrigerados y congelados. Especificaciones sanitarias.
- Pérez, A. *et al.*, 2013, "Are coastal lagoons physically or biologically controlled ecosystems? Revisiting r vs. K strategies in coastal lagoons and estuaries", en *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 132: 17-33.
- Robles, E. *et al.*, 2002, Laguna negra (Puerto Marqués), refugio florístico y faunístico en riesgo de extinción, en <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/impactos/mexicona/R-0020.pdf>, consultado 15/04/2016.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat), 2013, Convenio de Estocolmo, en http://www.semarnat.gob.mx/archivosanteriores/temas/internacional/Documents/SAT/convenio_estocolmo.pdf, consultado 30/01/2015.
- Singh, P. *et al.*, 2005, "Persistent organochlorine pesticide residues in alluvial groundwater aquifers of Gangetic Plains, India", en *Bulletin of Environment Contamination and Toxicology* 74(1): 162-169.
- Shen, L. *et al.*, 2005, "Atmospheric distribution and long-range transport behaviour of organochlorine pesticides in North America", en *Environ. Sci. and Technol.* 39: 409-420.
- Thomas, M. *et al.*, 2012, "Organochlorine pesticides and polychlorinated biphenyls in sediments and fish from freshwater cultured fish ponds in different agricultural contexts in north-eastern France", en *Ecotoxicology and Environmental Safety* 77: 35-44.
- Toan, V. *et al.*, 2009, "Residue concentrations of recently used pesticides in surface water at two representative study sites of the lower MEKONG Delta, Vietnam", 14-16 pp., en *Pesticide behavior in soils, water and air*.

- Tripathi, G. y P. Verma, 2004, "Endosulfan-mediated biochemical changes in the freshwater fish *Clarias batrachus*", en *Biomedical and Environmental Sciences* 17(1): 47-56.
- United Nations Environment Programme (UNEP), 1982, Determination of DDT's, PCB's and other hydrocarbons in marine sediments by gas liquid chromatography. Reference Methods for Marine Pollution Studies N°17.
- United States Environmental Protection Agency (USEPA), 2010, Types of Pesticides. United States Environmental Protection Agency, en <http://www.epa.gov/pesticides/about/types.htm>, consultado 12/03/10.
- Uresti, M. *et al.*, 2008, "Evaluación preliminar de la presencia de pesticidas organoclorados en pescados de la Presa Vicente Guerrero (Tamalupias, México)", en *Ciencia y Tecnología Alimentaria* 6 (1): 48-55.
- Wang, Q. *et al.*, "Polycyclic aromatic hydrocarbons and organochlorine pesticides in fish from Taihu Lake: Their levels, sources, and biomagnification", en *Ecotoxicology and Environmental Safety* 82: 63-70.
- Willett, L. *et al.*, 1998, "Differential toxicity and environmental fates of hexachlorocyclohexane isomers", en *Environment Science and Technology* 32 (15): 2197-2207.
- Yang, D. *et al.*, 2013, "Organochlorine pesticides in soil, water and sediment along the Jinjiang River mainstream to Quanzhou Bay, southeast China", en *Ecotoxicology and Environmental Safety* 89 (1): 59-65.
- Youssef, L. *et al.*, 2015, "Occurrence and levels of pesticides in South Lebanon water", en *Chemical Speciation & Bioavailability* 27 (2): 62-70
- Zhou, S. *et al.*, 2014, "Distribution of organochlorine pesticides in sediments from Yangtze River Estuary and the adjacent East China Sea: Implication of transport, sources and trends", en *Chemosphere* 114: 26-34.

