



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA

*Presencia de plaguicidas organoclorados en la laguna
La Mancha, Veracruz*

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE:

BIÓLOGA

PRESENTA:

Karen Cepeda Aldana

DIRECTOR DE TESIS: Dra. María Guadalupe Ponce Vélez

LOS REYES IZTACALA, EDO. DE MÉXICO, 2017





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Contenido

Agradecimientos	3
Resumen	4
Introducción	5
Antecedentes	7
Justificación.....	9
Objetivo General	9
Objetivos Particulares	9
Área de Estudio	10
Materiales y métodos	11
Resultados y discusión	14
Conclusiones	40
Recomendaciones.....	41
Literatura citada	43

Agradecimientos

A mi mamá Roció Aldana Sacristán por su apoyo incondicional durante toda la carrera y en mi vida en general y por motivarme en cada etapa de esta.

A la Dra. Guadalupe Ponce Vélez por su motivación para terminar este proyecto y su apoyo total e incondicional tanto en lo personal como en lo académico.

A la Dra. Rosario Sánchez por su apoyo y sus palabras en estos meses de trabajo.

Al comité académico Edgar Peláez por su apoyo y la información de peces, a la profesora Esperanza Robles y Elizabeth Ramírez por sus consejos con respecto a este trabajo.

A la maestra Claudia por sus consejos y por las risas en el laboratorio.

A Mónica Chico Avelino por su apoyo en el servicio social y en mi vida personal y académica.

A mis amigos Orlando, Areli, Fanny, Alejandra, Luna, Montse, Jess, Dany, Clever, Arturote, Beto, Chucho, Vladimir, Sara, Jake, Sebastián, Erick, Diana, Mary, Yago, Leo y Ianel por su apoyo en las diferentes etapas de la carrera, sin ustedes no sería la Bióloga que soy ahora.

Resumen

La laguna La Mancha en Veracruz es un ecosistema costero y un sitio RAMSAR sometido a presiones ambientales debido a las actividades antropogénicas que se realizan en áreas adyacentes que aportan compuestos de riesgo como los plaguicidas organoclorados, los cuales se almacenan en los sedimentos lagunares y pueden ser potencialmente tóxicos para la comunidad bentónica y para otro tipo de organismos como los peces, dadas sus características de persistencia y liposolubilidad son biomagnificables. Se analizaron 10 muestras de sedimentos superficiales y cuatro muestras de peces pertenecientes a cuatro géneros: *Caranx sp*, *Strongylura sp*, *Eucinostomus sp* y *Mugil sp*; para determinar la presencia de 16 plaguicidas organoclorados y evaluar la toxicidad intrínseca sedimentaria así como su relación con el contenido de materia orgánica e identificar aquellos plaguicidas restringidos o prohibidos por la legislación nacional e internacional. Las muestras se analizaron siguiendo los métodos UNEP/IAEA (1982) y UNEP/FAO/IOC/IAEA 1986 con la modificación de USEPA (2001). Los resultados obtenidos señalan que en sedimento no hubo detección de la familia del *p,p'*-DDT, se registró lindano y sus isómeros en concentraciones similares lo cual manifiesta un uso reciente; de igual forma, se encontró aldrín en niveles mayoritarios aportando información de aplicación actual de este plaguicida prohibido en México; el dieldrín registrado rebasó uno de los criterios de calidad sedimentaria internacional por lo que existe probabilidad de ocasionar daño bentónico; el registro del sulfato de endosulfán con valores altos significa una utilización antigua. En peces evaluados se detectó la familia del *p,p'*-DDT, el género con mayor contenido de plaguicidas fue *Caranx sp*, seguido por *Strongylura sp*, siendo en este género donde se encontró el plaguicida con mayor concentración, beta-HCH.

Introducción

Las lagunas costeras son depresiones en la zona costera que tienen una conexión permanente o efímera con el mar, del cual están protegidas por algún tipo de barrera. Su conformación estructural resulta de la interrelación de varios ecosistemas como manglar, ríos, vegetación acuática, entre otros. Reciben y acumulan en abundancia materia orgánica y nutrientes que provienen de diversas fuentes y son transportados hacia el mar, por lo que pueden ser sitios de crianza de muchas especies y de igual forma de almacenar desechos antropogénicos ocasionando contaminación de estas áreas (Contreras y Castañeda, 2004).

La laguna La Mancha en Veracruz, es un ecosistema costero y un sitio RAMSAR desde 2004, el cual es un tratado intergubernamental que sirve de marco para la acción nacional y la cooperación internacional en pro de la conservación y el uso racional de los humedales y sus recursos, llamada La Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas, conocida en forma abreviada como Convenio de RAMSAR (RAMSAR, 2014).

Su importancia radica en que alberga un gran número de aves migratorias, de organismos con importancia pesquera y especies en peligro de extinción (López-Portillo *et al.*, 2009). Además, está sometido a presiones ambientales debido a las actividades humanas que se realizan en áreas adyacentes que aportan compuestos de riesgo como los plaguicidas. Estos agroquímicos son un insumo destinado a prevenir, repeler, combatir y destruir a los organismos biológicos nocivos a los vegetales y animales destinados al consumo humano y de convivencia, tales como: insecticidas, fungicidas, herbicidas, acaricidas, molusquicidas, nematocidas y rodenticidas (SENASICA, 2013).

Los plaguicidas llegan al ambiente costero a través de diversos procesos por medio de ríos, escurrimientos o transporte atmosférico; en este tipo de medios, se transforman en compuestos diferentes que pueden ser iguales o más tóxicos, lo cual se debe a factores fisicoquímicos que existen en estas áreas. Un tipo de ecosistema costero importante, son las lagunas del Golfo de México, como la laguna La Mancha en Veracruz, las cuales son altamente productivas en alimento para consumo humano, y en este tipo de sistemas existe un impacto en la biota acuática por parte de los plaguicidas

organoclorados (POC) (Carvahlo *et al.*, 2009); además, en ellas ocurren transformaciones y procesos como la precipitación, sedimentación, almacenamiento, resuspensión, entre otros, que causan que estos compuestos se vuelvan más tóxicos y permanezcan más tiempo en estos sitios (Calva y Torres, 1998).

Los plaguicidas de acuerdo a su estructura química, pueden ser organoclorados (OC) y organofosforados (OF) hasta compuestos inorgánicos. Existen tres grupos químicos de plaguicidas organoclorados (Calva y Torres, 1998):

1) Derivados halogenados de hidrocarburos alicíclicos (alfa, beta, gamma y delta HCH o familia del lindano).

2) Derivados halogenados de hidrocarburos aromáticos (*p,p'*-DDT; *p,p'*-DDD; *p,p'*-DDE o familia del DDT).

3) Derivados halogenados de hidrocarburos ciclodiénicos (heptacloro, epóxido de heptacloro, aldrín, dieldrín, endrín, endrín aldehído, endosulfán I o alfa, endosulfán II o beta y sulfato de endosulfán).

En México se han establecido como plaguicidas organoclorados prohibidos desde el 3 de enero de 1991 al aldrín, dieldrín, endrín, mientras que el *p,p'*-DDT, el endosulfán y el lindano son considerados de uso restringido, es decir únicamente con supervisión autorizada (Diario Oficial de la Federación, 1991).

Los POC son los compuestos que se utilizan mayoritariamente para el control de plagas relacionadas con actividades agropecuarias, así como para reducir la presencia de vectores de enfermedades como el dengue, malaria, entre otros (Leyva *et al.*, 2003). Estos compuestos tienen un gran impacto sobre los sistemas costeros ya que se almacenan en los sedimentos lagunares y pueden ser potencialmente tóxicos para la comunidad bentónica porque se acumulan en los tejidos de organismos filtradores y de las especies de consumo humano. Dadas sus características de persistencia y liposolubilidad son biomagnificables por lo que existen afectaciones a mediano y largo plazo, lo cual representa un riesgo para el consumidor final y un gran factor de impacto ambiental (Botello *et al.*, 2000).

En los efectos que tienen sobre la biota, especialmente en peces, se ha demostrado que en pequeñas cantidades pueden causar alteraciones en la reproducción, afecciones

en el hígado, riñones y en cantidades mayores afectan el sistema nervioso, además de ser perturbador hormonal. La International Agency for Research on Cancer (IARC) ha clasificado al lindano como grupo 1 esto quiere decir que está considerado un carcinógeno para humanos, posteriormente están el dieldrín, aldrín y *p,p'*-DDT clasificados en el grupo 2A (probables carcinógenos para humanos), el heptacloro está agrupado como parte del grupo 2B que es un posible carcinógeno para humanos y por último el endrín, que se encuentra en el grupo 3 (en este grupo no hay evidencia científica contundente de que sea un carcinógeno para humanos y solamente existe evidencia para carcinogénesis en animales de laboratorio) (IARC, 2016).

En México estos compuestos se empezaron a implementar en 1946 y es el segundo país en Latinoamérica con mayor uso de plaguicidas, los principales cultivos en los que se emplean son maíz, caña, frutales, cítricos, frijol, arroz, trigo y chile; en 1992 hubo una epidemia de paludismo por lo que se autorizó la aplicación de aproximadamente 100,000 kg de ingrediente activo, de estos el 99% era *p,p'*-DDT; y los estados más afectados fueron Veracruz con 50%, Tabasco 25% y Campeche 25% (Calva y Torres, 1998). Asimismo del 1988 a 1990 hubo una epidemia de malaria en la que igualmente se aplicaron grandes volúmenes de *p,p'*-DDT sobretodo en Yucatán y Campeche, el último año con registro de uso de plaguicidas fue 1999 (Cobos *et al.*, 2014).

Antecedentes

Debido a que el área de estudio se ubica en el litoral del Golfo de México, únicamente se consideraron los trabajos desarrollados en esta región incluyendo Yucatán sobre la presencia de POC en diversas matrices ambientales costeras.

En el 2001 Calderón y colaboradores identificaron y cuantificaron los plaguicidas organoclorados en sedimentos y material biológico del lago de Catemaco, Veracruz y encontraron la presencia de dieldrín, *p,p'*-DDD; *p,p'*-DDE y alfa-HCH.

En ese mismo año, Botello y colaboradores hicieron un diagnóstico de las lagunas costeras cercanas a la Central Nucleoeléctrica Laguna Verde en Veracruz, incluyendo a la laguna La Mancha, y evaluaron la presencia y distribución de hidrocarburos aromáticos policíclicos en sedimentos así como la relación con la materia orgánica y el tipo de sedimento dominante. Nuevamente, este Investigador y su grupo en 2012, realizaron un

monitoreo ambiental integral de los posibles impactos de esta central nuclear sobre las lagunas aledañas, Verde, El Llano, La Mancha y El Farallón, Veracruz, para evaluar comparativamente con los datos previos e incluyeron a los compuestos organoclorados.

En el 2008 González y colaboradores cuantificaron residuos de plaguicidas organoclorados y PCB en 22 muestras de sedimento en el río Champotón en Campeche y en la Reserva de la Biosfera de Los Petenes, donde obtuvieron los siguientes plaguicidas: HCH, drines, heptacloro, endosulfán y *p,p'*-DDT.

Carvalho y colaboradores en el 2009 detectaron residuos de POC y policlorobifenilos (PCB) en agua, sedimento y biota de la laguna de Términos en Campeche, reportando la presencia de *p,p'*-DDT, PCB, endosulfán y lindano.

En el 2012 Ponce y colaboradores analizaron los contaminantes orgánicos persistentes en núcleos sedimentarios de la laguna El Yucateco, Tabasco y encontraron que las concentraciones de estos compuestos no presentaron un patrón homogéneo, lo que indica que la presencia de estos xenobióticos está influenciada por las actividades agropecuarias así como por las relacionadas con el control sanitario de vectores.

Albert en el 2014 presentó un estudio del panorama general sobre el uso de plaguicidas en México donde reúne las principales investigaciones de los estados del Golfo de México para estar al tanto del contexto en el que se encuentran estos estados. Igualmente en 2014 Palmerín y colaboradores determinaron los niveles de plaguicidas en almejas, ostiones y en los sedimentos de la laguna de Alvarado en Veracruz, y reportaron la presencia de las tres familias de POC (alicíclicos, aromáticos y ciclodiénicos).

También en el 2014 Espinosa-Reyes y colaboradores en la cuenca baja del río Coatzacoalcos en Veracruz analizaron las concentraciones de contaminantes orgánicos persistentes (COP) en tres temporalidades diferentes (2006, 2008 y 2012) las cuales demostraron un aumento en los niveles de COP a través del tiempo. En ese mismo año Cobos y colaboradores determinaron y cuantificaron la presencia de plaguicidas organoclorados en cenotes de tres diferentes municipios de Yucatán, en este estudio se utilizaron muestras de un litro de agua superficial y encontraron la presencia de ocho compuestos: aldrín, clordano, HCH, endosulfán, endrín, heptacloro, metoxicloro y *p,p'*-DDT.

Justificación

El conocimiento que existe en los temas relacionados con el impacto ambiental y las afectaciones que provocan los plaguicidas organoclorados en productos destinados al consumo humano, es muy amplio e importante por lo que es valioso y necesario conocer cada vez más la presencia y los niveles de contaminación por compuestos orgánicos persistentes en ecosistemas con alta biodiversidad y productividad como la laguna La Mancha, Veracruz, dada la influencia que existe en sus inmediaciones de diversas actividades humanas tanto industriales, de transporte como agropecuarias y turísticas.

Objetivo General

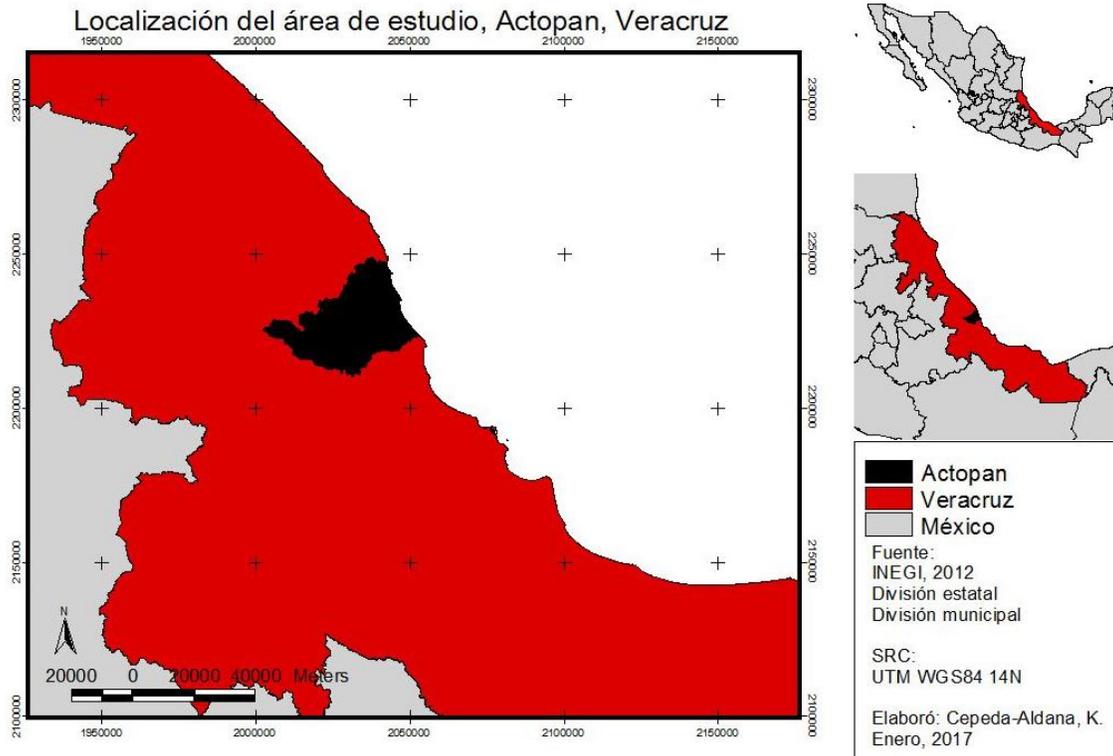
Conocer los niveles de plaguicidas organoclorados en sedimentos y peces de la laguna La Mancha, Veracruz para evaluar el impacto de las actividades agropecuarias desarrolladas en las regiones aledañas, determinar la toxicidad sedimentaria de estos xenobióticos hacia la comunidad bentónica del ecosistema, así como la presencia de estos compuestos en especies destinadas al consumo humano.

Objetivos Particulares

1. Identificación y cuantificación de los principales plaguicidas organoclorados acumulados en los sedimentos y peces lagunares.
2. Determinación del contenido de carbono orgánico y tipo de sedimento así como su relación con los plaguicidas organoclorados para identificar sitios específicos de acumulación de estos xenobióticos.
3. Registro de la antigüedad en el uso de plaguicidas organoclorados y el marco normativo nacional e internacional.
4. Comparación de las concentraciones de plaguicidas organoclorados con los índices de calidad sedimentaria internacionales para evaluar toxicidad bentónica, así como con las concentraciones de seguridad para consumo de productos pesqueros.

Área de Estudio

La laguna La Mancha se encuentra en el municipio de Actopan en el estado de Veracruz, en el Golfo de México, localizada entre las coordenadas 96° 32' 22.80" W, 19° 44' 7.47" N y 96° 18' 40.79" W, 19° 25' 46.01" N (Mapa 1).



Mapa 1. Ubicación del área de estudio

Es un humedal de ámbito marino-costero de sistema estuarino con un subsistema intermareal de clase humedal arbóreo. La vegetación que presenta es selva baja caducifolia, dunas costeras y manglar de tipo: mangle blanco (*Laguncularia racemosa*), mangle negro (*Avicennia germinans*), mangle rojo (*Rhizophora mangle*) y mangle botoncillo (*Conocarpus erectus*). En cuanto a fauna se puede encontrar al cangrejo azul (*Cardisoma guanhumi*), cocodrilo (*Crocodylus moreletii*), chorlito (*Charadrius alexandrinus*), golondrina (*Sterna antillarum*), cerceta azul (*Anas discors*), oropéndola (*Psarocolius montezuma*), entre otras aves. Su clima es cálido subhúmedo, la temperatura media anual es de 22.9 °C, la máxima es de 33.3 °C y el mes más frío

presenta 12.1 °C; con respecto a la precipitación en promedio es de 1250 - 1300 mm, en los meses de temporada seca es de aproximadamente 60 mm, mientras que en la época de lluvias es de 900 mm a 1800 mm. El tipo de suelo que tiene en los alrededores es: vertisol (54.9 %), feozem (37.4 %) y regosol (7.7 %). Los principales aportes de agua al sistema son el arroyo Caño Gallegos y la marea del Golfo de México. En cuanto a la población en el municipio de Actopan hay 43, 388 habitantes, es importante mencionar que solo el 4.82 % se dedica a actividades primarias en el estado de Veracruz, sin embargo el estado es el primer lugar nacional en la pesca de ostión (*Crassostrea sp*), mojarra (*Gerreidae*) y peto (*Acanthocybium solandri*); existe solamente una cooperativa pesquera llamada La Sociedad Cooperativa de Producción Pesquera La Mancha de S.C.L., la cual alberga alrededor de cien pescadores (López-Portillo *et al.*, 2009; INEGI, 2015).

Materiales y métodos

Trabajo de campo.

Los sedimentos superficiales se colectaron mediante una draga tipo van Veen, tomando aproximadamente los primeros 10cm de la columna sedimentaria en 10 sitios de la laguna en el inicio de la temporada de lluvias en julio de 2015 (Fig. 1). Cada muestra se colocó en un frasco de vidrio previamente tratado, se conservó en refrigeración hasta su análisis en el laboratorio. Los peces se obtuvieron en febrero de 2016, después de su colecta se mantuvieron envueltos en papel aluminio en refrigeración hasta su análisis en laboratorio.

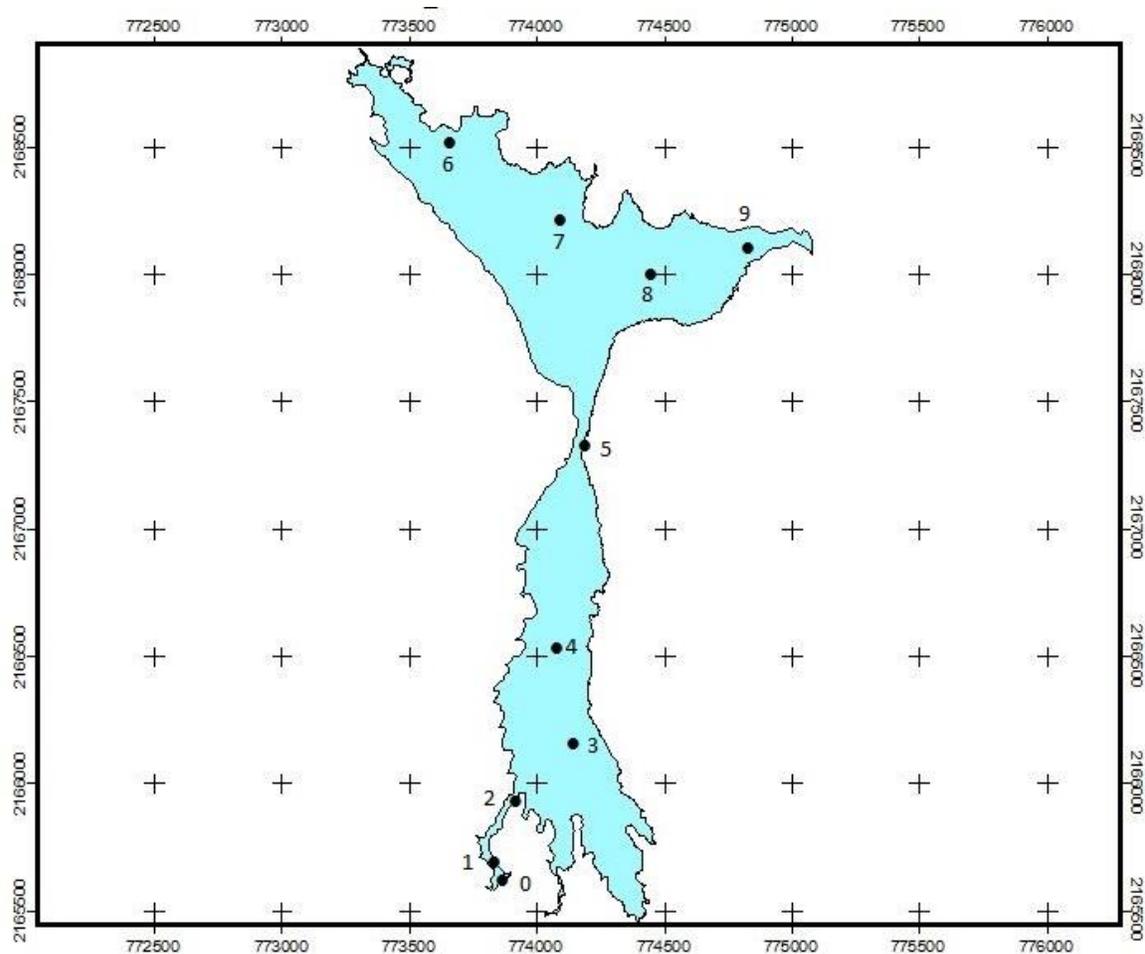


Figura 1. Localización de los sitios de muestreo de sedimentos en la laguna La Mancha, Veracruz. Julio, 2015.

Trabajo de laboratorio.

Una vez en el laboratorio, las muestras de sedimentos se colocaron en charolas de papel aluminio en un sistema de secado a una temperatura ≤ 50 °C. Los sedimentos ya secos, se maceraron en mortero de porcelana y se tamizaron con una malla de 250 μm . Posteriormente, se inició el tratamiento de las muestras sedimentarias de acuerdo al método propuesto por UNEP/IAEA (1982) con la modificación de USEPA (2001), el cual consiste en las siguientes etapas: Extracción (hexano:acetona en sistema de microondas), Limpieza y Fraccionamiento (en columnas de florisil con hexano y éter etílico), Concentración (en rotoevaporador), Cromatografía de gases capilar (con detector de captura de electrones ^{63}Ni), Control de calidad (blanco de reactivos y material de referencia).

El contenido de carbono orgánico se determinó siguiendo el método de la oxidación con dicromato de potasio (Ortíz *et al.*, 1993) y el análisis granulométrico se realizó en el Laboratorio de Sedimentología del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM, mediante un equipo láser.

Para los peces se registró su talla y peso, fueron identificados taxonómicamente reconociendo cuatro géneros: *Mugil sp.* (lisa, liseta), *Eucinostomus sp* (mojarra), *Caranx sp* (jurel) y *Strongylura sp* (agujón). Posteriormente, se realizó la disección de los organismos, para retener únicamente el tejido muscular, el cual se secó y maceró de forma análoga a los sedimentos (FAO, 2002a y b) Dada la gran cantidad de individuos de *Mugil sp.*, se hizo un triplicado de este género reportando el promedio de estas réplicas de laboratorio; para las tres especies restantes, no se pudieron realizar las réplicas de laboratorio debido a que solo estuvo disponible poco tejido seco representando la cantidad mínima requerida para realizar la extracción de los compuestos de interés.

Se inició el tratamiento de los organismos de acuerdo al método propuesto por UNEP/FAO/IOC/IAEA (1986) modificado por USEPA (2001) el cual es básicamente el mismo procedimiento que se sigue en las muestras de sedimento, con la diferencia de realizar la hidrólisis adecuada con ácido sulfúrico concentrado para evitar la interferencia de los lípidos. Los valores de concentración de POC tanto para sedimentos como para los organismos evaluados se reportan en ng/g peso seco.

Se utilizó el material de referencia IAEA-406 (Organochlorine Compounds And Petroleum Hydrocarbons In Fish Homogenate), el cual se manejó como parte del control de calidad analítico. Con el análisis del material de referencia mencionado, se obtuvo el dato del porcentaje de recuperación o recobro de los analitos de interés. En la tabla 1 se observa que el lindano (gamma-HCH) fue el plaguicida con mayor porcentaje de recuperación (74.07 %) seguido del alfa-HCH y beta-HCH con 30 % y el heptacloro con 25 %. En los analitos restantes el porcentaje de recuperación fue menor al 10 %; estos datos proporcionan información sobre posibles errores en el análisis de las muestras así como ponen de manifiesto la dificultad en la extracción de estos compuestos orgánicos en matrices ambientales complejas como sedimentos y tejidos debido principalmente a la presencia de lípidos ya que los plaguicidas organoclorados son altamente lipofílicos (Botello *et al.*, 2000) y la etapa de hidrólisis en el análisis de material biológico es fundamental (Tabla 1).

Tabla 1. Porcentaje de recuperación de plaguicidas organoclorados del material de referencia IAEA – 406.

ANALITO	REPORTE OFICIAL IAEA-406 PROMEDIO (ng/g peso seco)	REPORTE OFICIAL IAEA-406 INTERVALO (ng/g peso seco)	ESTE TRABAJO (ng/g peso seco)	PORCENTAJE DE RECUPERACIÓN (%)
Alfa-HCH	0.79	0.23-1.7	0.24	30.38
Beta-HCH	0.75	0.2-2.3	0.23	30.67
Gamma-HCH	0.27	0.11-0.8	0.2	74.07
Delta-HCH	N.R.	N.R.	*	*
<i>p,p'</i> -DDT	3	1.8-5.6	0.05	1.67
<i>p,p'</i> -DDD	2.8	2-3.7	0.02	0.71
<i>p,p'</i> -DDE	9.2	6.2-11	0.05	0.54
Heptacloro	0.32	0.23-0.46	0.08	25.00
Epóxido de Heptacloro	0.99	0.37-1.6	0.1	10.10
Aldrín	0.75	0.61-1.2	0.07	9.33
Dieldrin	3.5	1.4-7	0.02	0.57
Endrin	1.9	0.86-5.1	0.02	1.05
Endrín Aldehído	N.R.	N.R.	*	*
Endosulfán I	3.5	0.94-4.7	0.01	0.29
Endosulfán II	1.4	1-1.6	0.04	2.86
Sulfato de Endosulfán	3.6	3.1-5.6	0.03	0.83
*N.R. No reportado				

Resultados y discusión

Parámetros fisicoquímicos

En la colecta de sedimento realizada en julio de 2015, se midieron parámetros en la columna de agua y se elaboraron mapas de distribución de los más relevantes, interpolando los valores con las estaciones de muestreo, usando el software de SIG Arcview (Tabla 2; Fig. 2, 3, 4 y 5). La temperatura de la laguna mostró un aumento de casi 10 °C del sitio 0 de 24.82 °C a 32 °C en los sitios 6, 8 y 9, esto podría deberse a la hora en la que se hizo la medición ya que como se puede observar en la tabla 2 se empezó a las 11:20 h en la estación 0 y se terminó a las 17:00 h en la estación 9; de igual forma a la época del año en que se realizó el muestreo (verano en el mes de julio). La temperatura del agua tiene efectos sobre la solubilidad del oxígeno, es decir, cuando aumenta la

cantidad de oxígeno disuelto disminuye, esto concuerda con los datos obtenidos (Catalán, 1990) (Fig. 2).

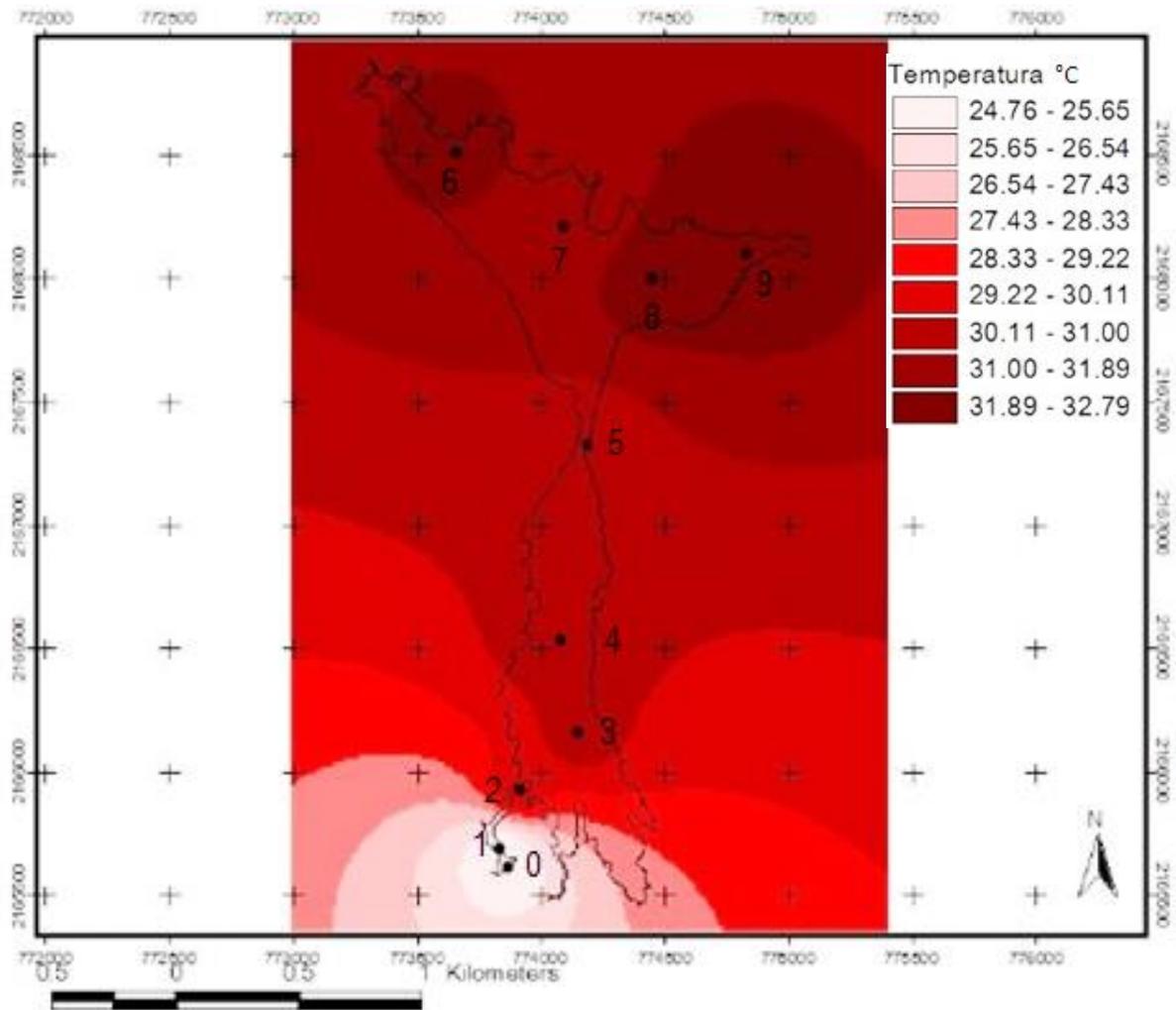


Figura 2. Distribución de temperatura de la laguna La Mancha, Veracruz. Julio, 2015.

Se puede observar que el sistema lagunar se comportó con una dinámica estuarina ya que la salinidad mostró un gradiente en el sentido de la intrusión de la onda de marea desde las estaciones 8 y 9, las más cercanas a la boca de comunicación con el mar, con valores de 22-23 ‰, con un máximo de 40 ‰ en la estación 5 debido a la retención del agua salada por la morfología del sitio y una clara disminución hacia el fondo sur de la laguna con influencia fluvial por las descargas continentales con valores entre 1.3 ‰ en la estación 0 y hacia el norte de la laguna en la estación 4 con 19.5 ‰ (Fig. 3).

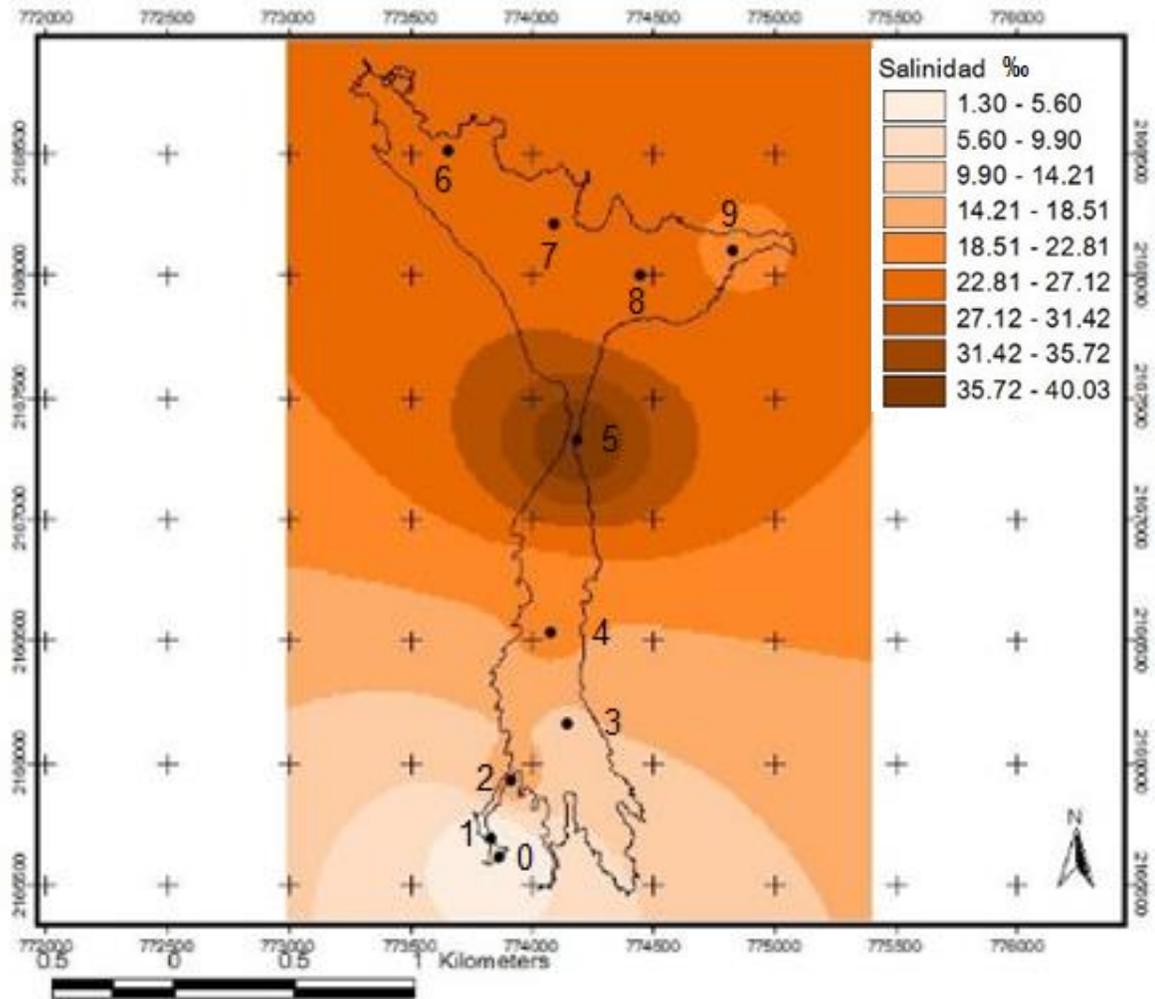


Figura 3. Distribución de salinidad de la laguna La Mancha, Veracruz. Julio, 2015.

**Tabla 2. Parámetros fisicoquímicos en el agua de la laguna La mancha, Veracruz.
Julio, 2015.**

Sitio de colecta	Nombre de la localidad	Hora	Profundidad (m)	Transparencia (m)	Temperatura superficial del agua (°c)	Salinidad (‰)	Sólidos disueltos (mg/L)	pH	Oxígeno disuelto (mg/L)
E0	Canal Caño Grande	11:20	1.80	0.50	24.82	1.30	1.64	6.14	5.10
E1	Caño Grande	12:00	1.80	0.60	24.76	1.89	2.29	6.87	5.48
E2	Salida de Caño Grande	12:38	0.80	0.60	30.22	17.10	17.98	6.91	4.26
E3	La Pajarera	13:20	0.80	0.50	30.77	13.90	14.89	7.27	5.36
E4	Cerca de la Pajarera	13:50	0.90	0.45	30.95	19.48	2.47	6.97	3.39
E5	El Crucero	14:35	1.80	0.60	30.49	40.04	39.00	7.25	2.91
E6	La Piragüa	15:10	0.60	0.45	32.22	23.91	24.68	8.27	6.53
E7		15:38	0.70	0.45	31.20	27.06	27.68	8.14	5.76
E8	Boca lagunar	16:40	0.20	0.20	32.79	22.36	23.13	8.46	4.45
E9		17:00	0.50	0.50	32.50	23.1	22.50	8.32	4.83

El oxígeno disuelto obtuvo los niveles más bajos en las estaciones 4 y 5 con 2.91 y 3.39 mg/L respectivamente, mientras que en el resto del ecosistema estuvo entre 4 y 6 mg/L, estos valores son adecuados para los organismos; la presencia en la columna de agua de estas sales se relaciona directamente con la probabilidad de que los POC que entren a la laguna por aporte pluvial ya que se adsorben a estos sólidos y sedimentan almacenándose en el fondo, o bien sean transportados hacia el mar por las corrientes marinas (FAO, 1999). Con respecto a los sólidos disueltos que comprenden las sales inorgánicas principalmente de calcio, magnesio, potasio y sodio, bicarbonatos, cloruros y sulfatos y de materia orgánica que están disueltas en el agua (Rodier, 1989); fueron abundantes en la estación 5 debido a las características geomorfológicas para este sitio central lagunar ya descritas, teniendo un valor de 39 mg/L, esto concuerda con los resultados obtenidos de salinidad (Figuras 3, 4 y 5).

En cuanto a la profundidad, las estaciones 0 y 1 fueron las que presentaron mayor profundidad con 1.80 m mientras que las de menor fueron las estaciones 8 y 9 con 0.20 y 0.50 m respectivamente; como se puede observar, son aguas someras como la mayoría de las lagunas. La escasa profundidad de sus aguas permite que la luz penetre hasta el fondo y que los vientos afecten a toda la columna de agua, resuspendiendo partículas de sedimento y nutrientes que se necesitan para el desarrollo de los organismos y probablemente también exista remoción de materiales y sustancias contaminantes almacenados previamente en estos sedimentos los cuales pueden convertirse en una fuente secundaria de xenobióticos. Al mismo tiempo, el elevado número de fronteras que presentan estos ecosistemas con los ambientes terrestres, con el mar abierto y con la atmósfera permite el intercambio de materiales y la generación de gradientes físicos y químicos (Contreras y Castañeda, 2004) (Tabla 2).

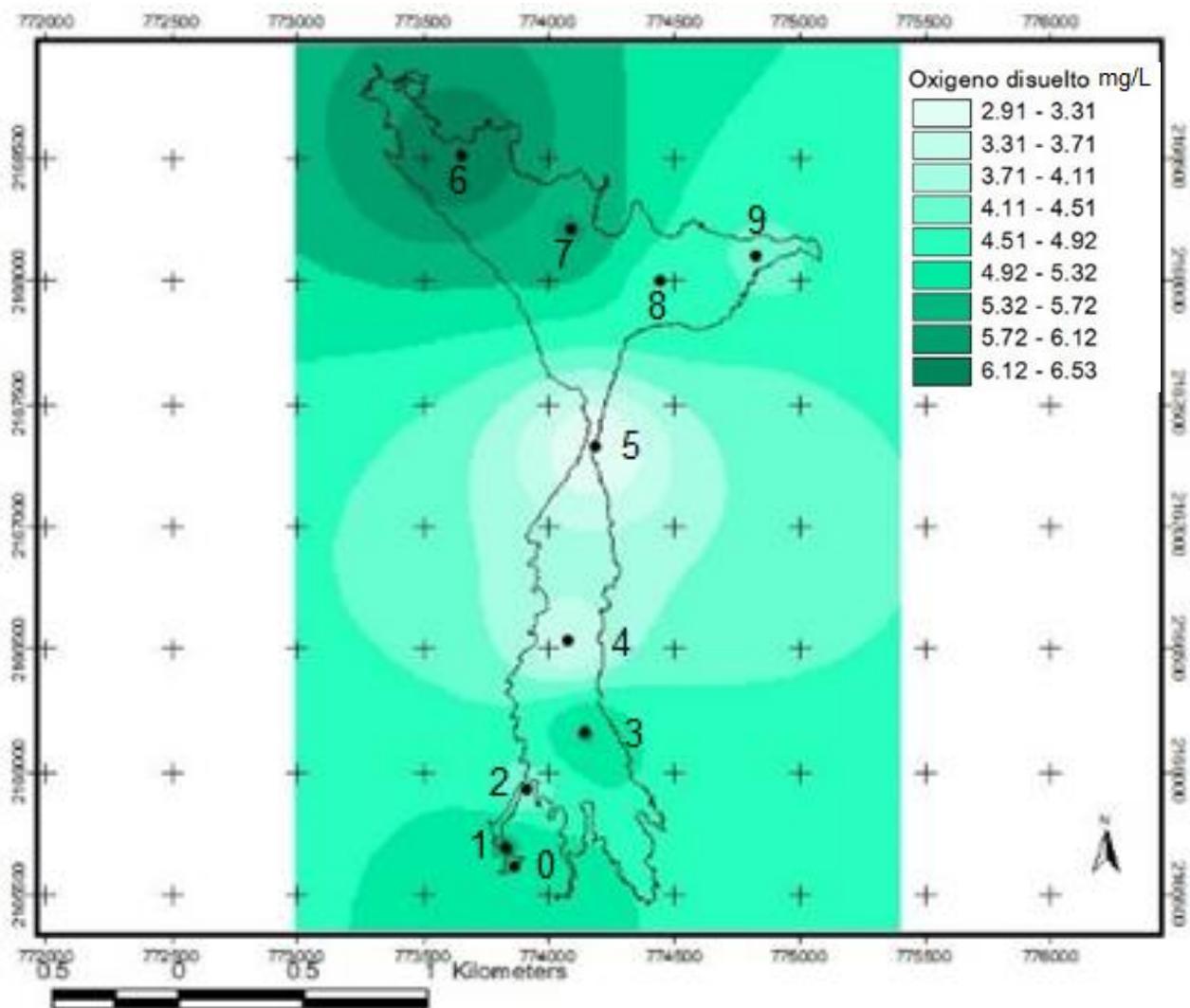


Figura 4. Distribución de oxígeno disuelto de la laguna La Mancha, Veracruz, Julio, 2015.

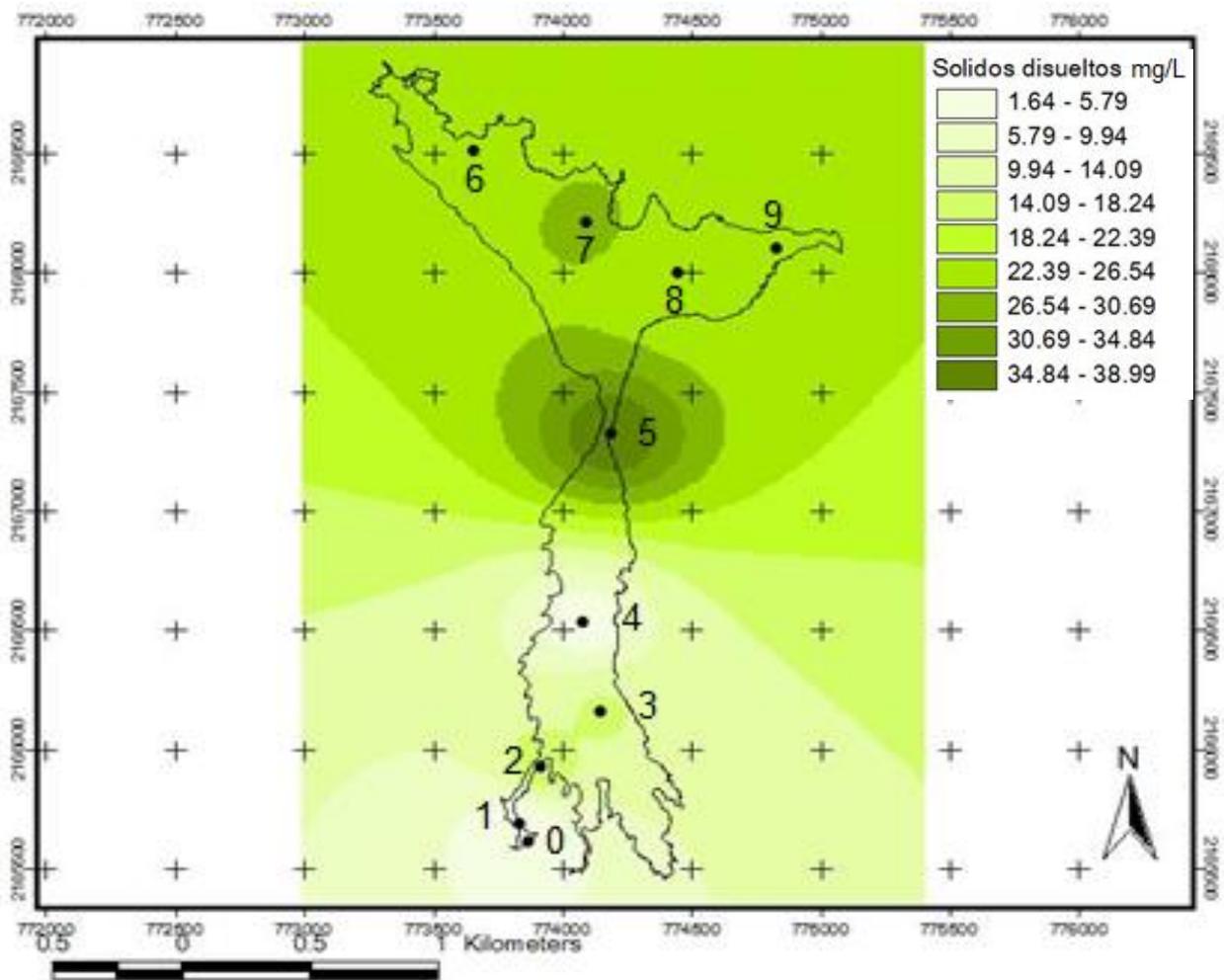


Figura 5. Distribución de sólidos disueltos de la laguna La Mancha, Veracruz, Julio, 2015.

Granulometría y Carbono Orgánico (CO)

Se realizó la granulometría del sedimento recolectado para cada estación para conocer la estructura del mismo. El tipo de sedimento dominante fue limo-arcilloso ya que se presentó en seis de las diez estaciones, solo el sitio 1 mostró arcillo-limoso y en la estación 8 fue el único con tipo de sedimento arenoso, esto concuerda con los resultados que obtuvieron Calva y Torres en el 2011 quienes reportaron mayor cantidad de limos y arcillas como de carbono orgánico en ambientes estuarinos.

En relación al contenido de carbono orgánico (CO) las estaciones 0 y 3 fueron las que obtuvieron los valores más altos con 5.58 % y 5.09 % respectivamente, mientras que la estación 8 presentó el nivel más bajo con 0.48% esto puede deberse a la morfología de la laguna y a la influencia marina por el aporte de sedimentos arenosos, ya que las partículas de carbono orgánico se adhieren mejor a los sedimentos con textura más fina

como arcillas y limos (Martínez *et al.*, 2008). Esto coincide con los resultados que reportaron Calva y colaboradores en el 2009 donde la cantidad de CO fue menor en los sitios con influencia marina (Tabla 3).

Conjuntamente se ha verificado que la adhesión de contaminantes orgánicos hidrofóbicos como los plaguicidas organoclorados así como los metales se correlaciona con la cantidad de carbono orgánico y el tipo de sedimento (Al-Ghadban *et al.*, 1994). Del mismo modo se encontró una correlación entre los limos, que fue el tipo de sedimento que tuvo una mayor presencia, con el porcentaje obtenido de carbono orgánico ($r=0.4572$), así mismo se registró una correlación entre las arcillas y el CO ($r=0.53$), como se puede observar en la tabla 3, las estaciones 0, 2, 3, 4, 5 y 6 donde hubo presencia de limos y arcillas se encontró una mayor cantidad de carbono orgánico. Esto concuerda con los resultados obtenidos por Calva y Torres en el 2011 que encontraron contenidos superiores de limos y arcillas en medios estuarinos, por consiguiente mayor porcentaje de CO (8.37 %) y mayor cantidad de arenas en los ambientes arrecifales, en estos sitios obtuvieron menores porcentajes de CO (2.72 %). Es importante recalcar que la colecta se llevó a cabo en la época de lluvias por lo que las condiciones de viento y precipitación en conjunto con la poca profundidad de la laguna pueden dar lugar a la resuspensión del sedimento por lo que podría afectar los resultados en cuanto a la granulometría y carbono orgánico (Tabla 3).

Tabla 3. Carbono Orgánico (%) y granulometría de los sedimentos de la laguna La Mancha, Ver. Julio 2015

Estaciones	CO (%)	Arenas	Limos	Arcillas	Tipo e Sedimento
0	5.58	0.075	52.19	47.74	Limo-arcilloso
1	2.45	0.001	46.64	53.36	Arcillo-limoso
2	2.78	1.036	64.03	34.93	Limo-arcilloso
3	5.09	12.03	63.66	24.31	Limo-arcilloso
4	2.19	2.71	65.92	31.37	Limo-arcilloso
5	2.73	0.99	69.98	29.03	Limo-arcilloso
6	2.38	6.28	75.51	18.22	Limo-arcilloso
7	1.49	ND	ND	ND	ND
8	0.48	99.08	0.73	0.2	Arenoso
9	1.3	ND	ND	ND	ND
ND No determinado					

POC en sedimentos

Los plaguicidas organoclorados (POC) registrados en este estudio pertenecen a tres grupos químicos: alicíclicos, aromáticos y ciclodiénicos; en la figura 6 se presentan las concentraciones promedio de los POC; los cinco plaguicidas con los valores promedio altos fueron, sulfato de endosulfán con 2.18 ± 1.21 ng/g ocupó el primer lugar, seguido por endrín aldehído con 1.58 ± 1.61 ng/g, delta-HCH con 0.84 ± 0.50 ng/g, endosulfán I con 0.74 ± 0.56 ng/g y heptacloro con 0.60 ± 0.52 ng/g, los compuestos restantes tuvieron niveles menores a 6 ng/g; la familia de los aromáticos no fue detectada (<0.01 ng/g), los alicíclicos tuvieron el segundo lugar con una concentración promedio de (0.47 ± 0.39 ng/g) y los ciclodiénicos registraron el mayor promedio por grupo químico con 0.93 ± 1.1 ng/g (cabe mencionar que los valores altos de desviación estándar se debieron a la baja detección de compuestos en casos específicos.). Se encontró una correlación significativa entre los POC y el carbono orgánico del sedimento ($R^2= 0.5647$, $r=0.7515$, $p<0.05$) lo que significa que existen sitios de acumulación lagunares determinados por la cantidad de materia orgánica, como el sitio 0 que presentó la mayor cantidad de CO y POC con 17.32 ng/g (Fig. 7).

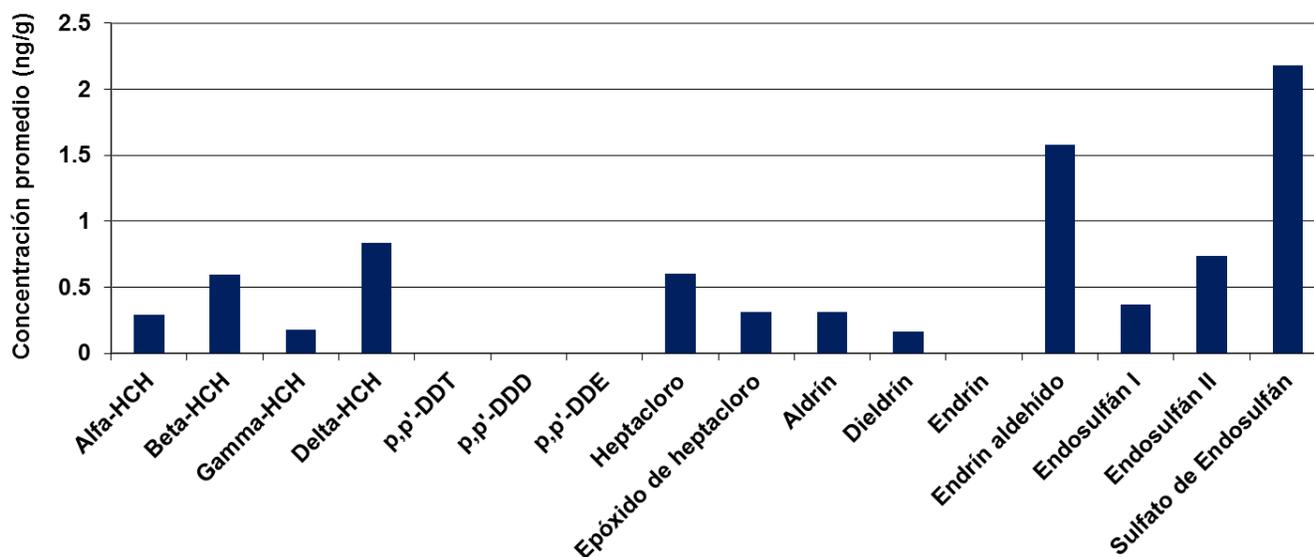


Figura 6. Plaguicidas organoclorados registrados en los sedimentos de la laguna La Mancha, Ver. Julio, 2015.

El comportamiento observado de la Σ POC en los sedimentos de la laguna La Mancha mostró la concentración más alta en la estación 0 (17.32 ng/g) probablemente debido a la ubicación de este sitio en el que la hidrodinámica es baja y por lo tanto los compuestos pueden almacenarse en esta zona además de ser el punto con mayor concentración de CO (Tabla 3). Esta dinámica fue similar en la estación 1 que presentó una cantidad de POC semejante a la anterior (12.12 ng/g). A continuación, estuvieron las estaciones 2, 3 y 4 con concentraciones de 6.55, 7.26 y 7.65 ng/g respectivamente, esto debido a que los niveles de CO y de sólidos disueltos se encontraron entre los valores intermedios en toda la laguna (Tabla 3; Fig. 5), disminuyendo significativamente en la estación 5 a 3.76 ng/g esto podría deberse a la cantidad de carbono orgánico de 2.73% y también al tipo de sedimento que presentó que fue limo-arcilloso, sin embargo proporcionalmente tuvo menor presencia de arcillas (Tabla 3); los niveles más bajos fueron para las estaciones 8 y 9 con 1.40 y 1.99 ng/g respectivamente, esto debido a que estos sitios se ubicaron en la salida de la laguna hacia el mar por lo que existe un flujo constante de agua; cabe mencionar que los puntos 6 y 7 ubicados en la zona noreste de la laguna, presentaron concentraciones intermedias (4.53 y 5.55 ng/g) debido probablemente a la cantidad de carbono orgánico ya que se encontró entre 1.49 y 2.38 % menor que los otros sitios (Figuras 7 y 8; Tabla 3).

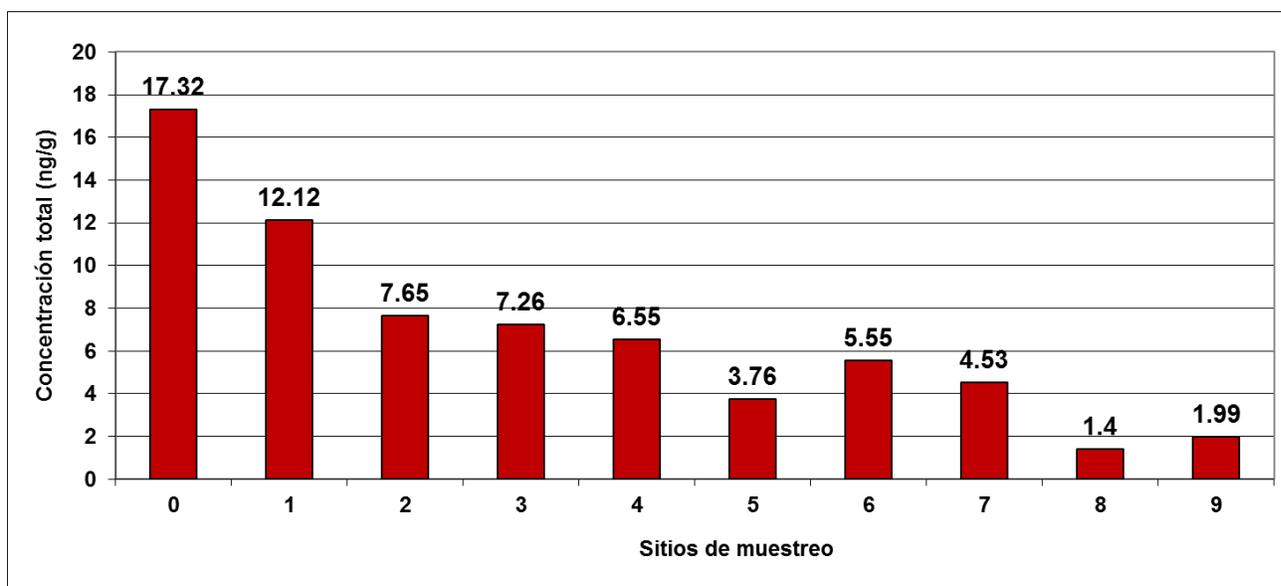


Figura 7. Plaguicidas organoclorados totales (POC) en los sedimentos de la laguna La Mancha, Veracruz. Julio, 2015.

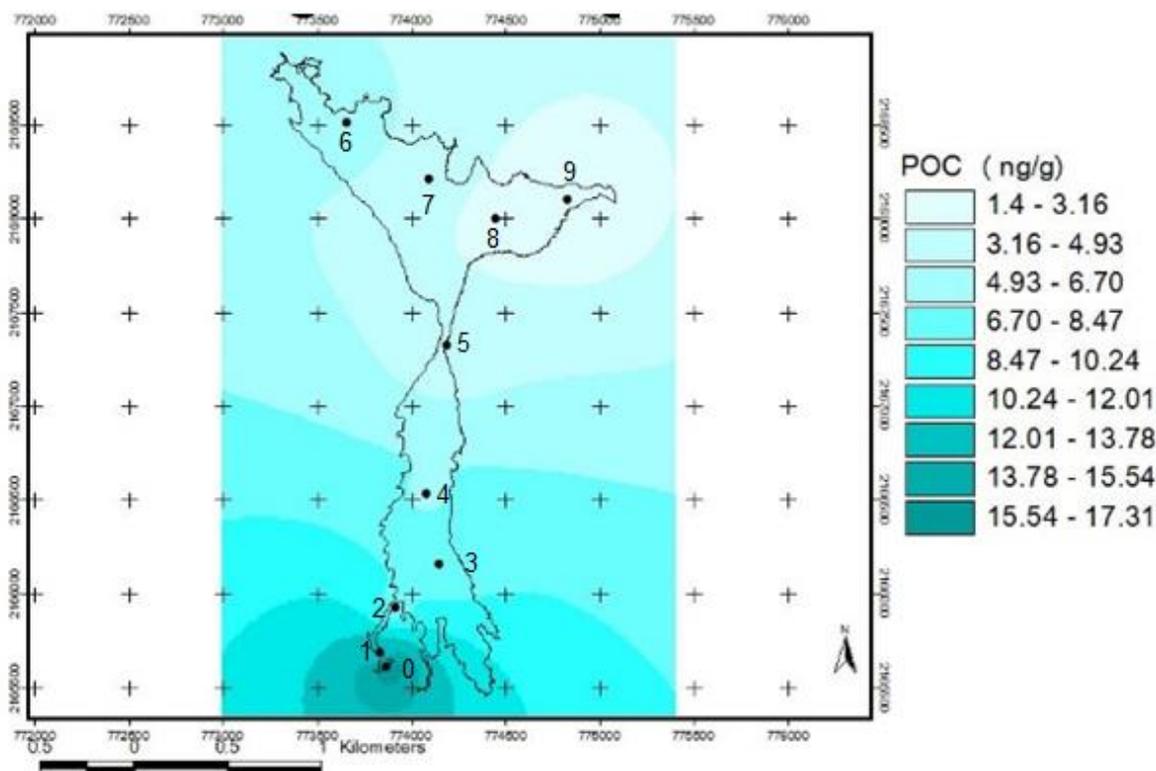


Figura 8. Distribución de la concentración total de POC en los sedimentos de la laguna La Mancha, Ver. Julio, 2015.

En la tabla 4 se observa que la familia de los aromáticos presentó valores no detectados, menores al límite de detección cromatográfico que fue de 0.01 ng/g, por lo que no representa riesgo para el bentos de la laguna. Las posibles causas por las que no se detectó este grupo (*p,p'*-DDT, *p,p'*-DDD y *p,p'*-DDE) pueden ser que no ha habido aplicaciones recientes, ya que el DDT se utiliza únicamente en casos de emergencia sanitaria según el Diario Oficial de la Federación desde 1991, además es importante recalcar que desde los años 90 no ha habido ninguna epidemia causada por algún vector. Este plaguicida se aplica rociando los cultivos o vegetación para controlar la población de los vectores de enfermedades (ATSDR, 2016).

Los alicíclicos tuvieron valores desde 0.05 ng/g para el gamma-HCH o lindano en la estación 4 y 8 hasta 1.88 ng/g para el delta-HCH en la estación 6, el alfa-HCH detectó su menor nivel en el sitio 8 con 0.08 ng/g después siguieron la estaciones 9 con 0.13 ng/g (los puntos 8 y 9 presentaron la menor cantidad de CO) (Tabla 4), 4 y 5 con 0.17 ng/g, y con más de 0.20 ng/g están las estaciones 2, 3 y 4 con 0.27, 0.22 y 0.29 ng/g respectivamente, y por último los sitios 0 y 1 con 0.72 y 0.51 ng/g correspondientemente

siguiendo el patrón de la morfología de la laguna. Para el beta-HCH la menor concentración se detectó en la estación 8 con 0.22 ng/g, posteriormente continuó la estación 9 con 0.31 ng/g y la 5 con 0.48 ng/g, por encima de 0.54 ng/g se encontraron el resto de los sitios llegando a 1.08 ng/g en la estación 1.

El lindano que es el ingrediente que elimina la plaga de la mezcla técnica donde coexisten los cuatro isómeros,, se presentó en menores cantidades en la mayoría de los sitios, por lo tanto las aplicaciones no fueron recientes, desde 0.09 ng/g en la estación 5 continuando con las estaciones 3, 2 y 9 con 0.11, 0.13 y 0.14 ng/g y finalmente estuvieron los puntos 6, 1 con 0.29 ng/g y 0 con 0.37 ng/g este último presentó el mayor porcentaje de CO (Tablas 3 y 4). En relación al isómero delta del grupo de los HCH la concentración más baja se encontró en la estación 4 con 0.37 ng/g, superando el 1.0 ng/g estuvieron los sitios 6 y 7 con 1.88 y 1.53 ng/g respectivamente siendo los niveles más altos encontrados en la laguna, esto podría corresponder a que estas estaciones presentaron concentraciones elevadas de sólidos disueltos con 24.86 y 27.68 mg/L respectivamente (Tabla 2).

Cabe mencionar que los plaguicidas del grupo del lindano en su forma comercial no está reportado como compuesto que pueda dañar al bentos (Long *et al.*, 1995; Buchman, 2008) y solamente evidencian el uso de lindano de forma frecuente. Este plaguicida se utiliza en hortalizas, frutas, plantaciones forestales y principalmente como garrapaticida, su proceso de degradación es llevado a cabo por algas, hongos o bacterias, dependiendo de si se encuentra en suelo, sedimento o agua, es importante recalcar que este proceso toma aproximadamente de cincuenta días a veinte semanas, sin embargo puede llegar a ser más persistente si se deposita en ambientes con poca luz y oxígeno. La exposición a los HCH puede ser por ingerir alimentos y agua contaminada, o respirar aire contaminado especialmente cerca de fábricas de manufactura de estos productos (FAO, 2000). Cabe mencionar que este agroquímico según el Diario oficial de la Federación de 1991 entra en la categoría de uso restringido, es decir que solo se puede utilizar bajo supervisión de personal autorizado, además de ser cancerígeno humano (Tabla 4) (IARC, 2016).

De la familia de los ciclodiénicos, el aldrín fue el único de los drines que estuvo presente en todos los sitios de colecta con valores entre 0.07 ng/g en la estación 8 y 0.71 ng/g en la estación 0, fueron concentraciones considerablemente más bajas que los obtenidos para los alicíclicos (Tabla 2).

Cabe resaltar que el dieldrín es un producto de degradación del aldrín que se degrada rápidamente dentro de los organismos y en el ambiente ya sea por medio de

bacterias y/o luz solar; sin embargo, el dieldrín tiene mayor persistencia en el ambiente y en la biota; este compuesto se utiliza en cosechas de maíz y algodón, la exposición indirecta a este clorado es por medio de la ingesta de pescado, mariscos, tubérculos, productos lácteos o carne contaminada (Elvira, 2009). Además de poner de manifiesto el uso reciente de aldrín y dieldrín, cabe mencionar que el endrín no fue detectado (<0.01 ng/g), no obstante su derivado el endrín aldehído sí se presentó en todas las estaciones principalmente en los sitios 0, 1 y 2 con 5.04, 3.29 y 2.04 ng/g respectivamente mientras que los niveles menores ocurrieron en la estaciones 5, 7 y 8 con valores que van de 0.25 hasta 0.31 ng/g, no hay información suficiente sobre el endrín aldehído, sin embargo la degradación del endrín se da por la luz y altas temperaturas y puede permanecer más de 10 años en el suelo (ATSDR, 2016). Estos plaguicidas están prohibidos según el Diario Oficial de la Federación desde 1991.

Otro integrante del grupo ciclodiénico es el heptacloro, el cual tuvo concentraciones mayores a las de su forma epóxido principalmente en las estaciones 0, 1, y 2 con 1.77, 1.13, y 0.72 ng/g estos tres puntos presentaron los mayores porcentajes de arcillas, esto explica por qué se detectaron mayores niveles de este plaguicida (Tabla 3); el epóxido no se detectó en los sitios 8 y 9, lo cual significa aplicaciones recientes del agroquímico original, es decir, del heptacloro, ya que tiene una degradación rápida por medio de bacterias, por lo tanto existe una mayor probabilidad de encontrar el epóxido que permanece mucho tiempo en el agua y suelo; el humano lo puede adquirir comiendo alimentos de origen animal contaminados, leche materna, incluso estar en contacto con tierra contaminada; este se utiliza como plaguicida en edificios, viviendas y cosechas además está clasificado como posible cancerígeno humano según IARC (grupo 2B) (PISSQ, 1993) (Tabla 4).

En el grupo del endosulfán, el isómero alfa, exclusivamente se detectó en la estación 5 con una concentración de 0.37 ng/g se infiere que esto se debe a la alta concentración de sólidos disueltos de este punto (Fig. 5), mientras que el beta o II se detectó en las primeras cinco estaciones (0, 1, 2, 3 y 4) con 1.69, 0.78, 0.45, 0.41 y 0.37 ng/g respectivamente, este plaguicida tuvo concentraciones altas de su forma sulfato en las estaciones 0 y 1 con 4.11 y 3.57 ng/g a excepción de las estaciones 8 y 9 donde no se detectó, esto por la poca cantidad de CO que presentaron (0.48 y 1.3 ng/g) además de estar ubicados en la salida de la laguna, lo cual es evidencia de que no se utilizó recientemente la mezcla comercial de endosulfán. Es importante resaltar que según la normativa mexicana es de uso restringido para cosechas de maíz, frijol, jitomate, chile,

entre otros (Catálogo Oficial de Plaguicidas, 2016). El endosulfán comercial que contiene los isómeros alfa y beta puede ser degradado por la luz solar en el aire y en el suelo, mientras que el sulfato de endosulfán es más resistente a los procesos de degradación ambiental se puede; se puede adquirir por alimentos, aire y agua contaminada, incluso por contacto directo a través de la piel (Scorza *et al.*, 2013) (Tabla 4).

Considerando que no existe una normatividad a nivel nacional acerca del manejo y límites de tolerancia o concentraciones de los POC en sedimentos costeros y marinos, es importante comparar los resultados obtenidos en este estudio con otros realizados en el Golfo de México en ecosistemas que presentan condiciones ambientales similares. Como se observa en la tabla 5, en los sedimentos del río Champotón y la reserva de Los Petenes ubicados en Campeche se presentaron las concentraciones más altas de los grupos HCH, DDT y drines (González-Jáuregui *et al.*, 2014) seguido por lo reportado para los sedimentos del río Coatzacoalcos, Ver., donde reportaron la presencia de la familia de HCH y .DDT (Espinosa-Reyes *et al.*, 2014). Para la Laguna de Términos en Campeche, Carvalho *et al.* (2009) encontraron valores similares en los sedimentos de esta laguna con los obtenidos en este trabajo. El sitio más cercano a La Mancha con fines comparativos fue la Laguna de Alvarado en el mismo estado de Veracruz, donde, Palmerín y colaboradores en 2014 reportaron niveles mayores de POC en los sedimentos lagunares, esto se debe principalmente a que la zona costera de Alvarado está bajo una mayor influencia de actividades agropecuarias respecto a La Mancha lo cual coloca al área de estudio de este trabajo en una situación de ventaja ambiental para los organismos que la habitan y está acorde con las características de ser un sitio RAMSAR.

Tabla 4. Plaguicidas organoclorados en sedimentos superficiales de la laguna

La Mancha. Ver. Julio. 2015. Valores en na/a peso seco.

FAMILIAS QUÍMICAS	COMPUESTO	ESTACIONES										ERL	ERM
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
ALICÍCLICOS	Alfa-HCH	0.72	0.51	0.27	0.22	0.17	0.17	0.38	0.29	0.08	0.13	*	*
	Beta-HCH	1.08	0.82	0.66	0.63	0.56	0.48	0.65	0.54	0.22	0.31	*	*
	Gamma-HCH	0.37	0.29	0.13	0.11	0.05	0.09	0.29	0.22	0.05	0.14	*	*
	Delta-HCH	0.98	0.68	0.44	0.39	0.37	0.83	1.88	1.53	0.59	0.67	*	*
AROMÁTICOS	p,p'-DDT	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	1.00	7.00
	p,p'-DDD	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	2.00	20.00
	p,p'-DDE	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	2.20	27.00
CICLODIÉNICOS	Heptacloro	1.77	1.13	0.72	0.68	0.63	0.14	0.34	0.29	0.14	0.18	*	*
	Epóxido de heptacloro	0.85	0.58	0.26	0.24	0.17	0.07	0.19	0.16	N.D.	N.D.	*	*
	Aldrín	0.71	0.47	0.31	0.29	0.23	0.15	0.39	0.34	0.07	0.19	*	*
	Dieldrín	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.16	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.02	8.00
	Endrín	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	*	*
	Endrín aldehído	5.04	3.29	2.04	1.96	1.85	0.28	0.41	0.31	0.25	0.37	*	*
	Endosulfán I	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.37	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	*	*
	Endosulfán II	1.69	0.78	0.45	0.41	0.37	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	*	*
Sulfato de Endosulfán	4.11	3.57	2.37	2.33	2.15	1.02	1.02	0.85	N.D.	N.D.	*	*	
CONCENTRACIÓN TOTAL (ΣPOC)		17.32	12.12	7.65	7.26	6.55	3.76	5.55	4.53	1.40	1.99		

N.D. < 0.01ng/g; ERL=CONCENTRACION QUE POSIBLEMENTE DANA AL BENTOS; ERM=CONCENTRACION QUE FRECUENTEMENTE DANA AL BENTOS; * No reportado.

CONCENTRACION PROMEDIO DE POC: 6.81 ± 4.81ng/g

Tabla 5. Comparación de las concentraciones de POC en sedimentos de diversos sitios del Golfo de México. Valores en peso seco ng/g

	¹ Laguna Alvarado	² Rio Champotón	² Petenes	³ Rio Coatzacoalcos	⁴ Lago Catemaco	⁵ Laguna de Términos	⁶ Laguna La Mancha
Alfa-HCH	3.49	*	*	*	*	0.87	0.29
Beta-HCH	28.49	*	*	*	*	2.2	0.60
Gamma-HCH	4.78	*	*	*	*	1.4	0.17
Delta-HCH	17.29	*	*	*	*	*	0.84
ΣHCH	*	2,500	200	257.03	3.4	1.4	1.90
<i>p,p'</i> -DDT	78.7	*	*	*	*	3.1	N.D.
<i>p,p'</i> -DDD	N.D.	*	*	*	12.5	2.4	N.D.
<i>p,p'</i> -DDE	177	*	*	*	*	13	N.D.
ΣDDT	*	100	700	96.3	*	38.75	N.D.
Heptacloro	46	*	*	*	*	0.43	0.60
Epóxido de heptacloro	52.32	*	*	*	*	*	0.32
Aldrín	82.36	*	*	*	*	0.48	0.32
Dieldrín	N.D.	*	*	*	164.5	0.9	0.16
Endrín	4.42	*	*	*	*	1.5	N.D.
Endrín aldehído	N.D.	*	*	*	*	*	1.58
ΣDrines	*	1,690	700	*	*	*	2.06
Endosulfán I	N.D.	*	*	*	*	0.55	0.37
Endosulfán II	20.29	*	*	*	*	0.65	0.74
Sulfato de Endosulfán	N.D.	*	*	*	*	4.5	2.18

¹Palmerín *et al.*, 2014; ²González-Jáuregui *et al.*, 2014; ³Espinosa-Reyes *et al.*, 2014; ⁴Calderón *et al.*, 2001; ⁵Carvalho *et al.*, 2009, ⁶Este estudio

*N.R.: No reportado. N.D.: No detectado

Criterios de calidad sedimentaria

Tomando en cuenta que no existen valores de referencia para COP en sedimentos costeros en la legislación o en la normatividad mexicana y considerando la importancia de ponderar la magnitud de las concentraciones de estos xenobióticos encontrados en la laguna La Mancha, es importante compararlas con niveles establecidos internacionalmente con fines de conocer el riesgo potencial que representan para los organismos del bentos.

Los criterios de calidad sedimentaria que se utilizaron en este trabajo fueron los propuestos por Long y colaboradores en 1995 que actualmente se utilizan internacionalmente por agencias como la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) (Buchman, 2008), ERL (Effects range-low) y ERM (Effects range-median). El ERL son datos referidos como efectos de concentración baja, mientras que el ERM hace referencia a los efectos de concentración media. Estos índices de calidad contienen tres intervalos de concentraciones particulares; por debajo o igual del ERL se encuentran valores de efecto mínimo sobre el bentos (25 %), las concentraciones iguales o menores al ERM representan un intervalo de efectos posibles (18 %- 75 %); por último las concentraciones igual o mayores al ERM se consideran de mayor probabilidad de ocasionar efectos adversos al bentos (50 %- 100 %).

Long y colaboradores en 1995 para desarrollar estos criterios de calidad sedimentaria elaboraron bases de datos de efectos biológicos a partir de los sedimentos donde se incluyeron resultados de múltiples estudios y bioensayos (se descartaron los estudios dependiendo de la calidad de su metodología) con diferentes especies de anfípodos, poliquetos, bivalvos y decápodos reportando las concentraciones en peso seco, utilizando concentraciones diferentes de compuestos químicos con efectos biológicos adversos, comparando los más tóxicos con los menos tóxicos y midiendo efectos como toxicidad sedimentaria elevada significativamente, ensayos de toxicidad con compuestos o elementos químicos (EC_{50} y LC_{50}) y modelos de toxicidad por equilibrio de partición. Los organismos que entran en contacto con los POC presentan lesiones en células hepáticas, problemas respiratorios y en el hígado, por consiguiente las especies presentan: alteraciones en comunidades bentónicas, baja riqueza de especies o abundancia total.

Estos investigadores cuantificaron la incidencia de los efectos biológicos como un estimado de la precisión que pudiesen presentar estos criterios y lo que encontraron fue que la ocurrencia de los efectos comúnmente eran menos del 25% de las concentraciones

por debajo de los valores ERL, además encontraron que los efectos acrecentaban si se aumentaba la concentración de los compuestos químicos. Estas aproximaciones intentan relacionar confiablemente, para compuestos individuales, las concentraciones tóxicas con los efectos producidos por ellos.

En este sentido, solamente se cuenta con concentraciones consideradas en los criterios de calidad ecotoxicológica para cuatro de los 16 POC contemplados en este estudio; los tres integrantes de la familia del DDT y el dieldrín. En este trabajo solamente se registró dieldrín en el sitio 5 con un valor puntual de 0.16 ng/g superando ocho veces el criterio ERL de 0.02 ng/g (Tabla 4) lo que puede significar un aumento en la probabilidad de provocar efectos adversos a los organismos del bentos de este ecosistema lagunar (Buchman, 2008).

POC en peces

En la tabla 6 se observan las características generales de las cuatro muestras biológicas correspondientes a los géneros: *Caranx sp*, *Strongylura sp*, *Eucinostomus sp* y *Mugil sp*.

**Tabla 6. Hábitos de los peces encontrados de la laguna
La Mancha, Ver. Febrero, 2016.**

	Hábitat	Alimentación	Consumo humano	Nombre común
<i>Strongylura sp</i>	Pelágico	Carnívoro (peces y crustáceos)	NO	Agujón
<i>Caranx sp</i>	Pelágico	Carnívoro (peces y crustáceos)	SI	Jurel
<i>Mugil sp</i>	Bentónico	Detritívoro	SI	Lisa
<i>Eucinostomus sp</i>	Bentónico	Invertebrados bentónicos	SI	Mojarra

Para los mugílidos analizados se descubrió que en la familia de los alicíclicos tuvo la mayor presencia el isómero alfa-HCH con 0.47 ng/g mientras que beta, gamma y delta tuvieron la misma cantidad (0.28 ng/g) esto indica que hay una mezcla en la temporalidad del uso de este garrapaticida, ya que implica una aplicación antigua así como en épocas recientes del lindano, que al tener una categoría de restringido (DOF, 1991) pone de manifiesto el uso fuera de la normatividad en México. Con lo que respecta

a los POC aromáticos en los peces del género *Mugil sp* se encontró presencia de esta familia a diferencia de lo registrado para sedimentos; el *p,p'*-DDT obtuvo 0.14 ng/g, el *p,p'*-DDD 0.05 ng/g y *p,p'*-DDE 0.08 ng/g, la concentración mayor fue para *p,p'*-DDT que muestra que el organismo estuvo en áreas donde hubo una aplicación reciente, recordando que en la normativa mexicana este compuesto es de uso restringido. En cuanto a la familia de los ciclodiénicos, para este mismo género, el epóxido de heptacloro presentó mayor concentración (0.37 ng/g) que el heptacloro (0.24 ng/g) por lo que la aplicación de este compuesto en la zona de alimentación de estos peces, no es actual; los valores de aldrín fueron de 0.28 ng/g y para el dieldrín de 0.04 ng/g; siendo que estos compuestos están prohibidos en México desde 1991; mientras que no se detectó endrín, solamente su forma aldehído con 0.19 ng/g por lo que la aplicación de este compuesto no fue reciente en el área donde regularmente se alimentan los mugílidos analizados. Para la presentación comercial del endosulfán se detectaron valores de 0.04 y 0.20 ng/g para los componentes alfa y beta mientras que para el sulfato de endosulfán fue de 0.12 ng/g por lo que este plaguicida se sigue utilizando de forma frecuente (Tabla 7).

Para el género *Eucinostomus sp* se encontraron los cuatro compuestos de la familia de alicíclicos siendo beta-HCH y delta- HCH los de mayor concentración con 0.50 ng/g y 0.55 ng/g respectivamente esto indica que el uso de este plaguicida fue hace tiempo. En los aromáticos no hubo presencia de *p,p'*-DDD (< 0.01 ng/g), el *p,p'*-DDT tuvo el nivel mayor con 0.20 ng/g y el *p,p'*-DDE registró una concentración de 0.12 ng/g, patrón similar al encontrado en los mugílidos denotando una aplicación reciente en las zonas de alimentación de estos organismos. Los valores del heptacloro y su derivado fueron ambos de 0.25 ng/g esto demuestra que se usa con regularidad. Se encontró presencia de aldrín y dieldrín con 0.31 ng/g y 0.32 ng/g respectivamente, en tanto el endrín (0.10 ng/g) presentó una concentración mayor al endrín aldehído (0.01 ng/g) esto quiere decir que fueron aplicaciones recientes. Por lo que respecta a los endosulfanes; el alfa fue el de mayor cantidad con 0.19 ng/g sobre 0.10 y 0.11 ng/g del beta y su derivado esto denota un uso habitual de este analito (Tabla 7).

En cuanto al género *Caranx sp* los alicíclicos mostraron que se utiliza este plaguicida regularmente debido a que sus valores revelan un uso antiguo debido al dominio del beta-HCH (0.31 ng/g), así como una utilización reciente con el registro del isómero gamma con una concentración de 0.24 ng/g (Tabla 7).

Las concentraciones de *p,p'*-DDT fueron 0.50 ng/g al igual que las de *p,p'*-DDD y fueron diez veces superiores al *p,p'*-DDE con 0.05 ng/g; esto demuestra que se utilizó

recientemente, también cabe resaltar que estos peces tuvieron la mayor concentración de este agroquímico, es importante mencionar que se degrada en el aire por la luz solar con mayor rapidez (aproximadamente en dos días o menos) sin embargo en el suelo se adhiere y su proceso de degradación a *p,p'*-DDD y *p,p'*-DDE se lleva a cabo por bacterias que demoran de dos a quince años en lograrlo; la exposición puede ocurrir ingiriendo alimentos y agua contaminada, respirando aire o partículas de suelo de sitios de desechos contaminado y con leche materna de mujeres que han sido expuestas (Calva y Torres, 1998).

La cantidad de heptacloro (0.19 ng/g) en los peces del género *Caranx sp* fue ligeramente mayor al heptacloro epóxido (0.10 ng/g) por lo que puede haber aplicaciones antiguas y actuales. El aldrín se encontró con 0.37 ng/g, el dieldrín con apenas 0.02 ng/g y el endrín con 0.23 ng/g contrariamente al aldehído que presentó 1.15 ng/g el cual fue el plaguicida que mayor concentración tuvo de los cuatro géneros procesados, esto quiere decir que el uso fue antiguo, sin embargo se utilizó una cantidad alta. El endosulfán I presentó niveles bajos de 0.11 ng/g mientras que no se detectó el endosulfán beta; con lo que respecta al sulfato de endosulfán se encontró un nivel más alto de (0.47 ng/g) por lo tanto las aplicaciones de este no son actuales En el área donde regularmente se alimentan los peces de este género (Tabla 7).

El género *Strongylura sp* presentó para la familia de alicíclicos que los valores de beta (0.70 ng/g) y alfa (0.63 ng/g) son considerablemente mayores a los de gamma y delta ambos con 0.32 ng/g, por lo que denota una aplicación de hace tiempo; también esta familia mostró los niveles más altos comparado con las otros géneros. En cuanto a los aromáticos no se detectó *p,p'*-DDD, mientras que el *p,p'*-DDT obtuvo una concentración de 0.18 ng/g y el *p,p'*-DDE de 0.36 ng/g esto indica que existió una mezcla entre la aplicación antigua así como una reciente. En los ciclodiénicos el nivel de heptacloro (0.20 ng/g) fue ligeramente mayor al del epóxido (0.14 ng/g) por lo que se utiliza continuamente; existe presencia de aldrín con 0.22 ng/g, dieldrín con 0.32 ng/g y endrín con 0.12 ng/g mientras que su derivado fue de 0.03 ng/g y puede afirmarse que la aplicación de este agroquímico es reciente en la zona de alimentación de estos peces agujones. Las concentraciones de endosulfán alfa, beta y su derivado fueron muy similares y 0.16 ng/g, 0.14 ng/g y 0.10 ng/g respectivamente por lo que este plaguicida se usa de forma regular (Tabla 7).

Tabla 7. Plaguicidas organoclorados en peces de la laguna La Mancha, Ver. Febrero, 2016. Valores en ng/g peso seco.

FAMILIAS QUÍMICAS	COMPUESTO	<i>Mugil sp</i>	<i>Eucinostomus sp</i>	<i>Caranx sp</i>	<i>Strongylura sp</i>
ALICÍCLICOS	Alfa-HCH	0.47	0.37	0.37	0.63
	Beta-HCH	0.28	0.50	0.31	0.70
	Gamma-HCH	0.28	0.23	0.24	0.32
	Delta-HCH	0.28	0.55	0.43	0.32
AROMÁTICOS	<i>p,p'</i> -DDT	0.14	0.20	0.50	0.18
	<i>p,p'</i> -DDD	0.05	0.00	0.50	0.00
	<i>p,p'</i> -DDE	0.08	0.12	0.05	0.36
CICLODIÉNICOS	Heptacloro	0.24	0.25	0.19	0.20
	Epóxido de heptacloro	0.37	0.25	0.10	0.14
	Aldrín	0.28	0.31	0.37	0.22
	Dieldrín	0.04	0.32	0.02	0.32
	Endrín	0.00	0.10	0.23	0.12
	Endrín aldehído	0.19	0.01	1.15	0.03
	Endosulfán I	0.20	0.19	0.11	0.16
	Endosulfán II	0.04	0.10	0.00	0.14
	Sulfato de Endosulfán	0.12	0.11	0.47	0.10
CONCENTRACIÓN TOTAL (ΣPOCs)	3.07	3.60	5.03	3.94	

El comportamiento de la ΣPOC por género se puede observar en la figura 9; el valor más alto correspondió al género *Caranx sp* con 5.03 ng/g, seguido de *Strongylura sp* con 3.94 ng/g, *Eucinostomus sp* con 3.60 ng/g y por último *Mugil sp* con 3.07 ng/g.

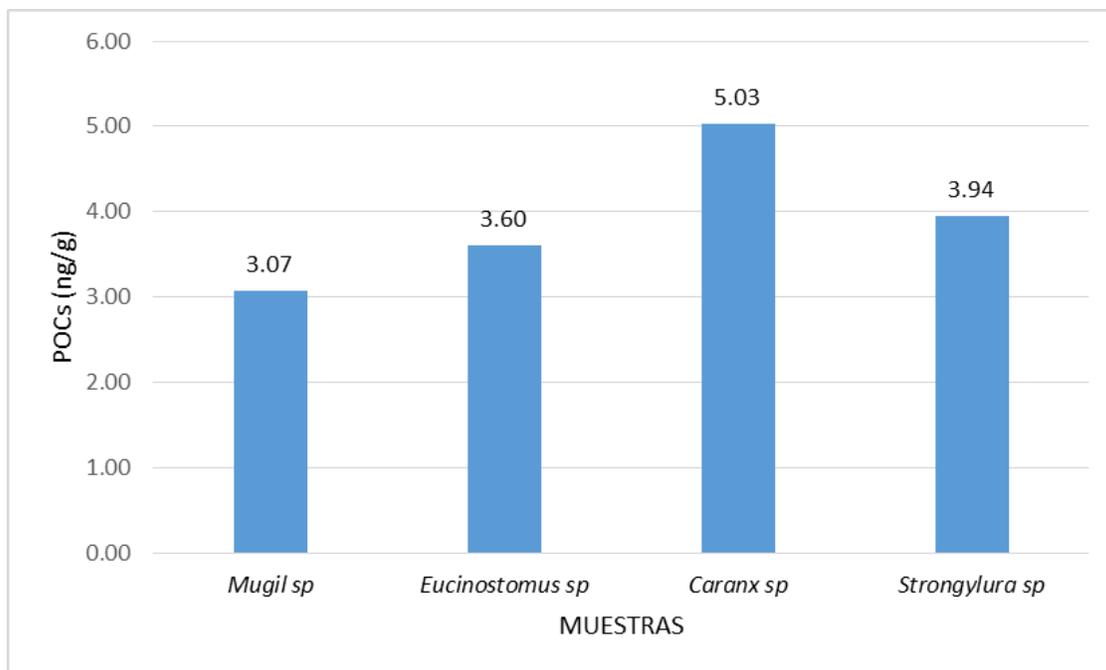


Figura 9. ΣPOC en los peces de la de la laguna La Mancha, Ver. Febrero, 2016.

La cantidad de analitos que presentan los organismos depende proporcionalmente de la cantidad de lípidos que posean, y esto está en función de la edad del organismo, sexo, la época del año y los hábitos alimenticios; los peces captan estos compuestos principalmente por consumir otros organismos contaminados (bioacumulación) y/o por medio de absorción branquial, una vez dentro de estos, los plaguicidas se distribuyen en los tejidos de los organismos principalmente en tejido adiposo, hígado, gónadas, cerebro y músculo (Lledos *et al.*, 1992). Esto concuerda con los resultados obtenidos ya que los organismos con mayor cantidad de plaguicidas fueron los carnívoros como *Caranx sp* y *Strongylura sp*, sin embargo existió una diferencia considerable de 1.09 ng/g lo cual puede deberse a que el género *Strongylura* es más selectivo con sus presas, además este organismo espera a sus presas oculto; mientras que el género *Caranx* se alimenta de una mayor variedad de organismos y es un depredador activo al buscar y perseguir a sus presas.

Eucinostomus sp se alimenta de invertebrados que habitan el bentos principalmente de crustáceos peracáridos, los cuales ingieren detritos, algas, madera y otros organismos. *Mugil sp* es detritívoro, como ya se ha mencionado estos compuestos son lipofílicos, por lo que es más probable que la obtención de estos hidrocarburos sea por medio de la depredación que ingiriendo sedimento (Tabla 5; FAO, 2002a y b).

Existe muy poca información en cuanto a la cantidad de lípidos o composición química que poseen la mayoría de los peces; sin embargo se encontró que *Caranx hippos* tiene 4 % de lípidos y vive en un hábitat parecido a los dos carnívoros que se encontraron en este estudio por lo que se infiere que podría tener una cantidad similar de lípidos que estos.

También se encontró la cantidad de lípidos de *Cyprinus carpio* que al igual que *Eucinostomus sp* vive en el bentos y se alimenta de invertebrados bentónicos y posee 2.1 % de lípidos. En cuanto a detritívoros no hay información de composición química de ninguna especie (Huss, 1988).

Únicamente un género de los cuatro recolectados no es de consumo humano (*Strongylura sp*), sin embargo los otros tres sí lo son por lo que se podría inferir que comunidades completas del mismo género que habitan La Mancha y sus alrededores podría tener una cantidad similar de plaguicidas por lo que representaría un riesgo para las personas que consuman estos productos (Tabla. 6).

Considerando que no existen normas adecuadas que rijan las cantidades que deben de contener los peces de consumo humano; de la misma forma que se realizó con las muestras de sedimento, es importante comparar los géneros que se obtuvieron con otros trabajos, para conocer las condiciones en las que se encuentran. Como se observa en la tabla 7 en Campeche se identificaron tres géneros (*Cichlasoma sp*, *Thorichthys sp* y *Oreochromis sp*) con concentraciones superiores a las de este trabajo, estos géneros tienen una alimentación carnívora ya sea de otros peces o crustáceos bentónicos y también fitoplancton (Burgos *et al.*, 2014). Asimismo, para Sinaloa se reporta contenido de POC para el género *Lutjanus sp* el cual como se observa en la tabla mencionada son los que presentan una mayor concentración de plaguicidas (Granados-Galván *et al.*, 2015).

Comparativamente con los resultados del contenido de POC para los peces de este trabajo, resulta favorable que la magnitud de las concentraciones haya sido menor que los estudios de referencia citados por lo que están en concordancia con el patrón comparativo mostrado por los sedimentos y respaldan la categoría de sitio RAMSAR para la laguna La Mancha.

Tabla 7. Comparación de las concentraciones de POC de diversos géneros de peces.
Valores en peso seco ng/g

	¹ Sinaloa <i>Lutjanus sp</i>	² Campeche <i>Cichlasoma sp</i>	² Campeche <i>Thorichthys sp</i>	² Campeche <i>Oreochromis sp</i>	³ Campeche <i>Lepisosteus sp</i>	⁴ Veracruz <i>Caranx sp</i>	⁴ Veracruz <i>Strogylura sp</i>	⁴ Veracruz <i>Eucinostomus sp</i>	⁴ Veracruz <i>Mugil sp</i>
Alfa-HCH	10	370	210	510.3	0.003	0.37	0.63	0.37	0.47
Beta-HCH	2790	790	N.D.	459.7	0.011	0.31	0.70	0.50	0.28
Gamma-HCH	N.D.	N.D.	N.D.	87.6	0.003	0.24	0.32	0.23	0.28
Delta-HCH	31290	N.D.	N.D.	140	*	0.43	0.32	0.55	0.28
ΣHCH	19280	*	*	*	*	1.34	1.97	1.65	1.32
<i>p,p'</i> -DDT	6970	330	N.D.	560	3	0.50	0.18	0.20	0.14
<i>p,p'</i> -DDD	2710	1690	650	380	2.3	0.50	0.00	0.00	0.05
<i>p,p'</i> -DDE	3250	N.D.	N.D.	11250	8.5	0.05	0.36	0.12	0.08
ΣDDT	6640	*	*	*	15.215	1.05	0.54	0.32	0.26
Heptacloro	4360	130	N.D.	110	0.003	0.19	0.20	0.25	0.24
Epóxido de heptacloro	16030	N.D.	N.D.	N.D.	*	0.10	0.14	0.25	0.37
Aldrín	5770	250	1050	200	N.D.	0.37	0.22	0.31	0.28
Dieldrín	*	360	720	460	0.084	0.02	0.32	0.32	0.04
Endrín	*	N.D.	N.D.	N.D.	0.02	0.23	0.12	0.10	0.00
Endrín aldehído	*	440	N.D.	350	*	1.15	0.03	0.01	0.19
ΣDrines	*	*	*	*	*	1.77	0.69	0.74	0.51
Endosulfán I	2130	90	190	190	0.002	0.11	0.16	0.19	0.20
Endosulfán II	5810	470	670	370	0.003	0.00	0.14	0.10	0.04
Sulfato de Endosulfán	7710	150	1910	190	0.026	0.47	0.10	0.11	0.12
¹ Granados-Galván <i>et al.</i> , 2015; ² Burgos <i>et al.</i> , 2014; ³ Carvalho <i>et al.</i> , 2009; ⁴ Este estudio									
*N.R.: No reportado; N.D.: No detectado									

Normatividad nacional e internacional

En la normatividad nacional respecto a los plaguicidas organoclorados existen las siguientes normas oficiales mexicanas vigentes:

- NOM-027-SSA1-1993 que se refieren a los pescados frescos-refrigerados y congelados.
- NOM-029-SSA1-1993 que habla de los crustáceos frescos-refrigerados y congelados.
- NOM-031-SSA1-1993 que incluye moluscos bivalvos frescos-refrigerados y congelados.

Estas normas señalan que estos productos no deben contener residuos de los plaguicidas prohibidos por el Catálogo Oficial de Plaguicidas del 2016; cabe destacar que la lista de plaguicidas prohibidos en México se actualizó en 2016 ya que la versión anterior databa de hace doce años (2004) y no tiene ningún cambio en cuanto a los plaguicidas organoclorados a pesar de la evidencia científica que prueba su toxicidad y persistencia. En nuestro país no son muy abundantes las investigaciones realizadas en seres humanos sobre el contenido de POC y su vínculo con padecimientos terminales. Existen estudios en el estado de Veracruz como el de Waliszewski y colaboradores que en el 2003 encontraron que las concentraciones de POC fueron mayores en pacientes con carcinoma mamario haciendo que la enfermedad prevalezca por su efecto como perturbador hormonal y su bioacumulación. Además de Rivera y Vazquez que en el 2004 hicieron una recopilación de estudios en los cuales se destaca los diferentes tipos de cáncer que produce el *p,p'*-DDT, además de mencionar la persistencia que poseen estos xenobióticos.

Con respecto al gobierno de Estados Unidos solamente la Food and Drug Administration (FDA, 2017) presenta valores de niveles de acción que tienen ciertos plaguicidas en caso de que ocurra alguna ingesta, sin embargo no existe ninguna base de datos con niveles de tolerancia; mientras que en la Unión Europea, específicamente en Holanda tiene un programa para la agricultura sostenible (UTZ) en el que se utiliza el Manejo Integrado de Plagas (MIP) en el cual se tienen que utilizar métodos alternativos para controlar enfermedades y plagas; también ha elaborado una lista de plaguicidas prohibidos y en vigilancia que a partir del 1 de julio de 2016 son obligatorias en toda la producción agrícola de ese país; para los organoclorados han establecido que aldrín, dieldrín, endrín y heptacloro son obsoletos e irrelevantes para la agricultura, mientras que

alfa-HCH, beta-HCH, *p,p'*-DDT y lindano están prohibidos por estar incluidos en convenios internacionales (Estocolmo, Róterdam y Montreal); con respecto al endosulfán, está prohibido por los convenios, además de la toxicidad aguda en la que está catalogado por la Organización Mundial de la Salud.

Es significativo destacar que el gobierno Mexicano en el 2001 firmó el Convenio de Estocolmo en el cual se comprometió a prohibir la importación, fabricación, formulación, comercialización y uso de cuatro compuestos orgánicos persistentes (COP) (aldrín, dieldrín, endrín y mirex); la restricción de todos los usos del *p,p'*-DDT, excepto para la salud pública y la regulación de algunos aspectos relacionados con los COP generados de manera no intencional, entre otras. Conjuntamente se comprometió a *“consolidar el régimen jurídico y dependencias gubernamentales involucrados en la gestión de las sustancias y residuos peligrosos, con miras a llenar los vacíos y eliminar las barreras que se opongan al cumplimiento de lo dispuesto en el Convenio de Estocolmo y establecer mecanismos transparentes de rendición de cuentas y de apoyo a la generación de datos que permitan medir la eficacia de la ejecución del Plan, así como de un Programa de Monitoreo y Evaluación”* (Plan nacional de implementación del convenio de Estocolmo, 2007). En cuanto al convenio hay compuestos como el heptacloro que está bajo las mismas condiciones de prohibición que los anteriormente mencionados y no se encuentra contemplado en la normativa mexicana; inclusive en el 2003 el gobierno ratificó su compromiso con el convenio y en el 2007 se consideró dentro del Plan Nacional de Desarrollo vigente hasta el 2012, incluso el gobierno recibió recursos financieros para poder llevar a cabo los proyectos planteados en el Convenio de Estocolmo, sin embargo como se mencionó con anterioridad la mayoría de estos compuestos se siguen utilizando de manera periódica hasta la fecha sin ningún tipo de regulación como lo muestra este estudio.

Por otro lado en 1997 México aprobó el PARAN-DDT el cual es una herramienta de la iniciativa MASQ (en términos del Acuerdo de Cooperación Ambiental de América del Norte) para aplicar acciones puntuales orientadas a *“reducir y eventualmente eliminar el uso del *p,p'*-DDT para el control de paludismo en México”* y, como consecuencia, en América del Norte.

Uno de los objetivos era que en cinco años México redujera en un 80% el uso de DDT, el cual se cumplió desde el 2000, en cuanto a la zona de estudio se puede decir que no ha habido aplicaciones de este plaguicida en las áreas inmediatas a la laguna, como lo demuestran los datos del contenido de POC en sedimentos, por lo que la información

obtenida de esta matriz ambiental da sustento para inferir que el uso de este plaguicida ha disminuido al mínimo en varias regiones del país. Sin embargo, el registro de *p,p'*-DDT en cantidades mayores a sus metabolitos en los tejidos de los peces analizados y capturados en La Mancha, aportan información relevante para justificar un monitoreo ambiental de estas sustancias persistentes y poder seguir su tendencia temporal y así tener una visión a mediano y largo plazo con datos más robustos y confiables. De igual forma, la presencia de la familia del DDT en los peces puede ser indicativa de áreas acuáticas aledañas a la zona de estudio donde estas especies se alimentan de forma preferente adquiriendo en esos sitios específicos este tipo de xenobióticos. Por lo que se puede inferir que se ha detenido el uso de este plaguicida en el país.

Otro aspecto relevante derivado de la presencia de POC en peces destinados a consumo humano es la carcinogenicidad que presentan estas moléculas orgánicas. De acuerdo a la clasificación más reciente de la IARC, el lindano está en el grupo 1 lo que significa que es considerado actualmente como cancerígeno para humanos; en el grupo 2A se encuentran *p,p'*-DDT, aldrín y dieldrín ya que la evidencia científica señala que son probables generadores de cáncer en humanos y hay pruebas contundentes de que lo sean para animales de laboratorio; el heptacloro forma parte del grupo 2B por lo que se le considera como un posible carcinógeno para humanos ya que la evidencia no es contundente y finalmente, el endrín perteneciente al grupo 3 ya que solamente existe algunas pruebas científicas de generación de cáncer en algunos animales de prueba (IARC, 2016)

Conclusiones

- En los sedimentos de la laguna La Mancha se registraron trece de los 16 POC considerados contaminantes prioritarios. No se detectó al grupo del DDT y el dieldrín presentó una concentración con probabilidad de ocasionar daño al bentos.
- Se registró aldrín y lindano, plaguicidas prohibido y restringido en México desde hace 25 años en concentraciones sedimentarias que demuestran su uso reciente.
- Los niveles de carbono orgánico sedimentario correspondieron a valores comunes para lagunas costeras, con excepción del área cercana a la comunicación con el mar.

- Se obtuvo una relación significativa entre el contenido de POC y materia orgánica lagunara. El registro de los POC y sus concentraciones en los sedimentos lagunares, denota que hay aplicaciones recientes de lindano, aldrín, no hubo evidencia de un uso actual de *p,p'*-DDT y se manifestó una utilización antigua de endosulfán.
- Los peces evaluados tuvieron plaguicidas organoclorados prioritarios, siendo los organismos del género *Caranx sp* lo de mayor contenido de xenobióticos. En los organismos estudiados hubo presencia de *p,p'*-DDT evidenciando el uso de este insecticida en áreas de alimentación específicas de estas especies.
- Comparativamente las concentraciones de POC encontradas tanto en los sedimentos como en los peces de La Mancha respecto a otros ecosistemas costeros de nuestro país, fueron menores debido a aportes menores de estos agroquímicos provenientes de diversas actividades humanas que los incluyen.
- El registro de plaguicidas prohibidos, restringidos y con características carcinogénicas para humanos en el ecosistema lagunara La Mancha en Veracruz, pone de manifiesto el impacto de las actividades antropogénicas sobre un área de relevancia ecológica considerada sitio RAMSAR por lo que es necesario implementar un programa de vigilancia a largo plazo para este y otros grupos de contaminantes orgánicos persistentes.

Recomendaciones

- Analizar un mayor número de muestras sedimentarias para tener una información más completa de la distribución de los POC en el sistema lagunara y poder hacer una identificación más precisa de los sitios con mayor riesgo ecotoxicológico.
- Es necesario incluir especies bentónicas como bivalvos en el estudio de este tipo de contaminantes ya que pueden aportar información sobre bioacumulación y de aportes puntuales donde ellas se encuentren.
- Es importante incluir muestras de diferentes temporalidades para conocer la influencia de factores físicos sobre la acumulación de estos analitos.
- Es conveniente conocer con precisión el contenido de lípidos de las especies seleccionadas para ser evaluadas en su contenido de POC ya que se relaciona directamente con la capacidad de acumulación de estos compuestos.

- Dado los resultados obtenidos en este trabajo, es importante considerar continuar con un programa de vigilancia ambiental sobre la presencia de este tipo de compuestos orgánicos persistentes.
- La información generada en este estudio puede servir como referencia de la calidad ambiental de los sedimentos y las especies destinadas a consumo humano en un sitio de importancia ecológica como La Mancha para que, los tomadores de decisión en política ambiental establezcan medidas de prevención para disminuir el impacto de las diversas actividades antrópicas que incluyan este tipo de xenobióticos y disminuir el riesgo hacia la vida silvestre y hacia la salud humana.

Literatura citada

- Albert, L. A., 2014. Uso de plaguicidas en la zonas costeras del Golfo de México e investigaciones sobre su impacto. P. 265-284. En: A.V. Botello, J. Rendón von Osten, J. A. Benítez y G. Gold-Bouchot (eds.). Golfo de México. Contaminación e impacto ambiental: diagnóstico y tendencias. UAC, UNAM-ICYML, CINVESTAV-Unidad Mérida. 1176 p. ISBN 978-607-7887-71-3.
- Al-Ghadban, A.N., P.G. Jacob, F. Abdali. 1994. Total organic carbon in the sediments of the Arabian Gulf and need for biological productivity Investigations. *Marine Pollution Bulletin* 28:356–362.
- Agency for toxic substances and disease registry. 2016. Disponible en: <https://www.atsdr.cdc.gov/es/> Última visita 18 de enero de 2017
- Botello, A.V., Rueda-Quintana, L., Díaz-González, G., Toledo, A. 2000. Persistent organochlorine pesticides (POPs) in coastal lagoons of the Subtropical Mexican Pacific. *Environ. Cont.*, 64(3), 390-397.
- Botello, A.V., Calva, B.L.G., Ponce, V.G. 2001. Polycyclic aromatic hydrocarbons in sediments from coastal lagoons of Veracruz State, Gulf of Mexico. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 67, 889-897.
- Botello, A.V., Ponce, V.G., Villanueva, F.S., García, R.C., Rivera, R.F. 2012. Monitoreo ambiental integral de los impactos de la actividad de la central nucleoeléctrica Laguna Verde en las lagunas: Verde, El Llano, La Mancha y El Farallón, Veracruz, México. Informe Técnico. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM.
- Buchman, M.F. 2008. NOAA Screening Quick Reference Tables, NOAA OR&R Report 08-1, Seattle WA, Office of Response and Restoration Division, National Oceanic and Atmospheric Administration, 34p.
- Burgos Chan A., D. Hiniños Garró, y J. Rendón von Osten, 2014. Residuos de plaguicidas organoclorados en ppeces de las lagunas de Xnohá y Mocú, municipio de Champotón,

Campeche. p. 337-358. En: A.V. Botello, J. Rendón von Osten, J. A. Benítez y G. Gold-Bouchot (eds.). Golfo de México. Contaminación e impacto ambiental: diagnóstico y tendencias. UAC, UNAM-ICYML, CINVESTAV-Unidad Mérida. 1176 p. ISBN 978-607-7887-71-3.

Calderón Villagómez, H. E., González Enriquez, R., Durán de Bazúa, C. 2001. Plaguicidas organoclorados en sedimentos y organismos acuáticos del lago de Catemaco, Veracruz, México Revista Internacional de Contaminación Ambiental, vol. 17, núm. 1, pp. 23-30.

Calva, B.L.G., Torres, R. 1998. Plaguicidas organoclorados. Contactos, 30, 35-46.

Calva Benítez, L. G., Torres Alvarado, R., Cruz Toledo, J. C. 2009. Carbono orgánico y características texturales de los sedimentos del sistema costero lagunar Carretas-Pereyra, Chiapas. Hidrobiológica, 19(1), 33-42. Recuperado en 31 de enero de 2017, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-88972009000100005&lng=es&tlng=es.

Calva-Benítez, LG; Torres-Alvarado, R; 2011. Carbono orgánico y características texturales de sedimentos en áreas del pasto marino *thalassia testudinum* en ecosistemas costeros del sureste del golfo de México. Universidad y Ciencia, Agosto-Sin mes, 133-144.

Carvalho, F.P., Villeneuve, J.P., Cattini, C., Rendón, J., Mota de Oliveira, J. 2009. Pesticide and PCB residues in the aquatic ecosystems of Laguna de Terminos, a protected area of the coast of Campeche, Mexico. Chemosphere, 74, 988-995.

Catalán Lafuente, J. (1990). Química del Agua. Ed. Bellisco, Madrid.

Catálogo oficial de plaguicidas. Comisión intersecretarial para el control del proceso y uso de plaguicidas y sustancias tóxicas (CICOPLAFEST), 2016.

Cobos Gasca, V., Barrientos Medina, R., Navarro Alberto, J., Rendón-von Osten, J. (2014). "Plaguicidas Organoclorados: Contaminantes Persistentes en Cenotes de Yucatán." Bioagrocencias (7): 24-27.

Contreras, E. F., Castañeda L. O. 2004. La biodiversidad de las lagunas costeras. Ciencias, octubre-diciembre, número 076, Universidad Nacional Autónoma de México, pp. 46-56.

Diario Oficial de la Federación. 1991. Disponible en: http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4739545&fecha=19/08/1991.

Elvira Berra, J. 2009. Investigación bibliográfica sobre la inducción del metabolismo bacteriano para la degradación de compuestos xenobióticos. Tesis doctoral.

Espinosa-Reyes, G., C. Ilizaliturri-Hernández, D. González-Mille, J. Mejía-Saavedra, A.D. Nava, M. C. Cuevas y G. Cilia-López, 2014. Contaminantes orgánicos persistentes en la cuenca baja del río Coatzacoalcos, Veracruz. P. 309-322. En: A.V. Botello, J. Rendón von Osten, J. A. Benítez y G. Gold-Bouchot (eds.). Golfo de México. Contaminación e impacto ambiental: diagnóstico y tendencias. UAC, UNAM-ICYML, CINVESTAV-Unidad Mérida. 1176 p. ISBN 978-607-7887-71-3.

FAO. 1999. Manual on Hatchery Production of Sea bass and Gilthead Sea bream. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/008/y6018e/y6018e00.htm>.

FAO. 2000. Evaluación de la contaminación del suelo. Manual de referencia. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/005/X2570S/X2570S10.htm>.

FAO. 2002a. The living marine resources of the western central atlantic. Vol. 2. Bony fishes part 1 (Acipenseridae to Grammatidae). Species Identification Guide for Fishery Purposes and American Society of Ichthyologists and Herpelogists, Special publication No. 5. FAO, Rome.

FAO. 2002b. The living marine resources of the western central atlantic. Vol. 3 Bony fishes part 2 (Opistognathidae to Molidae), sea turtles and marine mammals. Species Identification Guide for Fishery Purposes and American Society of Ichthyologists and Herpelogists, Special publication No. 5. FAO, Rome.

Food and drug administration (FDA). 2017. Disponible en: <https://www.fda.gov/>.

- Granados-Galván, I., A., Rodríguez-Meza, D., G., Luna-González, A., González-Ocampo, H., A., 2015. Human health risk assessment of pesticide residues in snappers (*Lutjanus*) fish from the Navachiste Lagoon complex, Mexico. *Marine Pollution Bulletin* 97(1-2): 176-187
- González Jáuregui, M., C. Valdespino Quezada, y J. Rendón von Osten, 2014. Residuos de contaminantes orgánicos persistentes (COP) en sedimentos del río Champotón y de la Reserva de la Biosfera de los Petenes, Campeche. p. 323-336. En: A.V. Botello, J. Rendón von Osten, J. A. Benítez y G. Gold-Bouchot (eds.). Golfo de México. Contaminación e impacto ambiental: diagnóstico y tendencias. UAC, UNAM-ICYML, CINVESTAV-Unidad Mérida. 1176 p. ISBN 978-607-7887-71-3.
- Huss, H.H. 1988. El pescado fresco, su calidad y cambios de calidad. FAO: Programa de Capacitación FAO/DANIDA en tecnología y control de calidad. Roma, Italia.
- INEGI. 2015. Disponible en: <http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/ver/poblacion/> Última visita 18 de enero de 2017
- IARC (International Agency for research on cancer). 2016. Disponible en: <http://monographs.iarc.fr/ENG/Classification/>.
- Leyva-Cardoso, D.O., Ponce-Vélez, G., Botello, A.V., Díaz-González, G. 2003. Persistent organochlorine pesticides in coastal sediments from Petacalco Bay, Guerrero, Mexico. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 71, 1244–1251.
- Lledos, JR; Morell, MA; Sanchez, J. 1992. "Distribución de los microcontaminantes orgánicos en un ecosistema fluvial. Significación de los estudios de impacto". *Medioambiente-RETEMA* (Revista técnica de medio ambiente), septiembre-octubre: 65-70.
- Long, E.R., Macdonald, D.D., Smith, S.L., Calder, F.D. 1995. Incidence of adverse effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments. *Environmental Management* 19(1), 81-97.
- López-Portillo, J.; A. L. Lara-Domínguez; A. Ávila-Ángeles y A. D. Vázquez-Lule. Caracterización del sitio de manglar La Mancha, en Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la

Biodiversidad (CONABIO). 2009. Sitios de manglar con relevancia biológica y con necesidades de rehabilitación ecológica. CONABIO, México, D.F.

Martínez H, Eduardo, Fuentes E, Juan Pablo, & Acevedo H, Edmundo. 2008. Carbono orgánico y propiedades del suelo. *Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal*, 8(1), 68-96.
<https://dx.doi.org/10.4067/S0718-27912008000100006>

Ortíz, L., Sánchez, E., Gutiérrez, E. 1993. *Análisis de suelos, fundamentos y técnicas*. Parte I. Universidad Autónoma del Estado de Morelos, México. 104p.

Palmerín Ruiz, C., G. Ponce-Vélez y A. V. Botello, 2014. Evaluación de plaguicidas organoclorados en sedimentos y organismos filtradores de la laguna de Alvarado, Veracruz, México. p. 285-308. En: A.V. Botello, J. Rendón von Osten, J. A. Benítez y G. Gold-Bouchot (eds.). Golfo de México. Contaminación e impacto ambiental: diagnóstico y tendencias. UAC, UNAM-ICYML, CINVESTAV-Unidad Mérida. 1176 p. ISBN 978-607-7887-71-3.

PISSQ "Programa internacional de seguridad de las sustancias químicas". 1993. Guía para la salud y seguridad, Heptacloro. Disponible en: <http://cidbimena.desastres.hn/docum/crid/Junio2006/CD2/pdf/spa/doc10767/doc10767-contenido.pdf>.

Plan nacional de implementación del convenio de Estocolmo, 2007. Disponible en : http://siscop.inecc.gob.mx/novedades/pni_resumen.pdf.

Ponce-Vélez G., A. Vázquez Botello, G. Díaz-González and C. García-Ruelas. 2012. Persistent organic pollutants in sediment cores of Laguna El Yucateco, Tabasco, Southeastern Gulf of Mexico. *Hidrobiológica* 22(2): 161-173.

RAMSAR (Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas). 2014. Disponible en: <http://www.ramsar.org/es>.

Rivera, Carrillo, J., R., Vázquez Arroyo. J. Agrofaz: publicación semestral de investigación científica, ISSN 1665-8892, Vol. 4, Nº. 2, 2004, págs. 607-618

- Rodier, J. 1989. Análisis de las aguas: aguas naturales, aguas residuales, agua de mar. Omega, Barcelona.
- Scorza Júnior, R. P., Franco, André A., Moraes, Leila C. K. 2013. Persistence of endosulfan and its metabolite endosulfan sulfate under field and laboratory conditions. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 17(7), 756-762. <https://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662013000700010>
- SENASICA. (Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria) 2013. Catálogo de plaguicidas. Disponible en: <http://www.cofepris.gob.mx/AZ/Paginas/Plaguicidas%20y%20Fertilizantes/CatalogoPlaguicidas.aspx>. Última visita 1 de junio de 2016.
- UNEP/IAEA 1982. Determination of DDT's, PCB's and other hydrocarbons in marine sediments by gas liquid chromatography. Reference methods for marine pollution studies No. 17.
- UNEP/FAO/IOC/IAEA 1986. Determination of DDT's, PCB's in selected marine organisms by packed column gas chromatography. Reference Methods for Marine Pollution Studies No. 14.
- United States Environmental Protection Agency (USEPA). Method 3546. Microwave Extraction, a Microwave-Assisted Process (MAPTM) Method for the Extraction of Contaminants Under Closed Vessel Conditions. Paré, J.R.J., Bélanger, J.M.R., Lesnik, B., Turpin, R., Singhvi, R. 2001. Final Evaluation of US EPA Method 3546: Microwave Extraction, a Microwave-Assisted Process (MAPTM). Method for the Extraction of Contaminants Under Closed-Vessel Conditions, *Soil and Sediment Contamination: An International Journal*, 10:4, 375-386.
- Waliszewski S., Meza V., Infanzón R., Trujillo P. y Morales Guzmán I. 2003. Niveles de plaguicidas organoclorados persistentes en mujeres con carcinoma mamario en Veracruz. *Rev. Int. Contam. Ambient.* 19, 59–65.