

Evaluación de los niveles de contaminación por residuos de plaguicidas organoclorados en sedimento y peces, de la presa de Aguamilpa, Nayarit, México

Evaluation of contamination levels by organochlorine pesticides residues on sediment and fishes from Aguamilpa reservoir, Nayarit, México

Francisco Julián Aranguré Zúñiga*, Rosa María Zambrano Cárdenas*, Liborio González Torres*,
María de Lourdes Robledo Marencó†

Resumen

En el presente estudio se recolectaron muestras de sedimento y peces; tilapia (*Oreochromis aureus*), lobina (*Micropterus salmoides*), bagre (*Ictalurus punctatus*), carpa (*Cyprinus carpio*) y palacha (*Dorosoma smithi*). Estas muestras fueron analizadas para determinar la contaminación por plaguicidas organoclorados y sus metabolitos; así como la cantidad de materia orgánica en sedimento, en el embalse de la Presa Hidroeléctrica Aguamilpa, Nayarit, México, debido a la actividad agrícola y pesquera que se practica en su cuenca. Los compuestos organoclorados fueron extraídos mediante sistema soxhlet, la identificación y cuantificación, de estos plaguicidas, se realizó por cromatografía de gases con detector de captura de electrones. Se realizaron dos muestreos, uno en periodo de estiaje (junio) y otro en periodo de lluvia (septiembre), del año 2004. Los plaguicidas identificados en sedimento fueron alfa-HCH, beta-HCH, gamma-HCH, delta-HCH, p,p'-DDE, p,p'-DDD, heptacloro, heptacloro epóxido, aldrín, diel-

drín, endosulfán I, endosulfán sulfato, endrín y endrín aldehído. Destaca la presencia de alfa-HCH, cuyas concentraciones oscilaron entre 1.06 y 6.38, endosulfán I de 1.84 a 21.23, endrín de 1.07 a 3.63 y p,p'-DDE de 0.30 a 2.25, en ng g⁻¹ peso seco, respectivamente. Las concentraciones de los HCHs detectados (suma de isómeros alfa, beta, gamma y delta), se presentaron entre 4.44 y 19.37, ng g⁻¹ ps. En la suma de estos isómeros, el principal fue alfa-HCH con más del 90%, seguido del beta-HCH, gamma-HCH y delta-HCH. Los contenidos más altos detectados para filetes de peces fueron: alfa-HCH (0.23), beta-HCH (5.35), aldrín (4.95), heptacloro epóxido (1.11), endosulfán I (5.98), endosulfán II (7.58), endrín (6.07), endrín aldehído (8.24), dieldrín (6.83), p,p'-DDD (3.50) y p,p'-DDT (1.10), ng g⁻¹ ps. No obstante, los niveles de estos plaguicidas en los filetes de peces fueron más bajos, que los límites máximos permisibles por la Food and Drug Administration (FDA) y el Codex Alimentarius.

* Área de Ciencias Básicas e Ingenierías, Universidad Autónoma de Nayarit.

Correspondencia: M. en C. Francisco Julián Aranguré Zúñiga; Calle Islas del Japón No. 263 Col. Las Islas, Tepic, Nayarit. paco_arangure@hotmail.com.

† Laboratorio de Análisis Ambientales, Centro Multidisciplinario de Investigación Científica, Universidad Autónoma de Nayarit. Nota: Este trabajo forma parte de la tesis de maestría del primer autor.

Palabras claves: plaguicidas organoclorados (OCPs), peces, sedimento.

Abstract

In the present study, sediment and fishes samples; tilapia (*Oreochromis aureus*), lobina (*Micropterus salmoides*), bagre (*Ictalurus punctatus*), carp (*Cyprinus carpio*) and palacha (*Dorosoma smithi*), collected from the reservoir from the Hydroelectric Aguamilpa, Nayarit, Mexico, were analyzed of some organochlorine pesticides residues and their metabolites and also it determined the amount of organic matter. By the great agricultural activity and fishing that is self-practical in this reservoir. The organochlorine compounds in sediment and fishes, were extracted hexane in a soxhlet system and the identified and quantified by gas chromatography using electron capture detector. For the previous, eight sampling sites were selected in the area for investigation along the reservoir. Fishes and recent superficial sediment were collected in June (dry season) and September (rain season) in 2004. The following pesticides were identified in the sediment, alpha-HCH, beta-HCH, gamma-HCH, delta-HCH, p,p'-DDD, p,p'-DDE, heptachlor, heptachlor epoxide, aldrin, dieldrin, endosulfan I, endosulfan sulphate, endrin and endrin aldehyde. It is important to note that range of alpha-HCH 1.06 to 6.38, endosulfán I 1.84 to 21.23, endrín 1.07 to 3.63 and p,p'-DDE 0.30 to 2.25, ng g⁻¹ dry weight, respectively. The concentrations of HCH's (sum of alpha, beta, gamma and delta, isomers) ranged from 4.44 a 19.37, ng g⁻¹ dry weight. The HCH's detected in de sediment samples were mainly alpha-HCH (>90% of HCH's), followed by beta-HCH, gamma-HCH and delta-HCH. In the steak fishes were detected in greater numbers: alpha-HCH (0.23), beta-HCH (5.35), aldrin (4.95), heptachlor epoxide (1.11), endosulfan I (5.98), endosulfan II (7.58), endrin (6.07), endrín aldehyde (8.24), dieldrín (6.83), p,p'-DDD (3.50), p,p'-DDT (1.10),

ng g⁻¹ dry weight. Nevertheless, levels of organochlorine pesticide in fish steak were lower than the Food and Drug Administration (FDA) maximum permissible limits.

Key words: organochlorine pesticides (OCPs), fishes, sediment.

Introducción

Debido al extensivo uso en la industria y agricultura de contaminantes orgánicos como hexaclorociclohexanos (HCHs) y dicloro-difenil-tricloroetanos (DDTs), así como otros plaguicidas organoclorados, utilizados principalmente para controlar plagas agrícolas y enfermedades transmitidas por insectos, por lo que la utilización de estos compuestos ha provocado la contaminación del agua, sedimentos así como organismos acuáticos y terrestres. El conocimiento de las concentraciones de estos contaminantes proporciona información básica para que los gobiernos puedan tomar las medidas pertinentes para su control (Li *et al.*, 2001; Doong *et al.*, 2002; Kishimba *et al.*, 2004; Ioannis *et al.*, 2006; Sarkar *et al.*, 2008; Malik *et al.*, 2010). Aunque el uso de estos compuestos en la agricultura se prohibiera o restringiera en muchos países desarrollados, a reserva de emergencias de salud pública, su uso ilegal ha continuado por años. Dichos compuestos presentan una alta estabilidad fisicoquímica, alta solubilidad en grasas y un largo periodo de vida en el medio acuático, por lo tanto, los residuos de estos compuestos se bioacumulan en las cadenas alimenticias, (Lalah *et al.*, 2003). La estabilidad señalada, se debe a que resisten los procesos de degradación fotolítica (fotólisis), química (hidrólisis, oxidación) y biológica (microorganismos); además, de no descomponerse rápidamente, son orgánicos, muy tóxicos para todos los seres vivos; y viajan grandes distancias, presentando un alto grado de dispersión (Santamarta, 2001). Cuando unos organismos son depredados por otros, el plaguicida se va bioacumulando en mayores proporciones

en los tramos finales de la cadena trófica en un proceso de biomagnificación, existiendo la posibilidad de alcanzar al hombre, (CTMA, 2001; López *et al.*, 2005; Zhou *et al.*, 2004). Lo importante es que muchos de los efectos de los plaguicidas persistentes, son crónicos (no letales), pasan con frecuencia desapercibidos y sin embargo, tienen consecuencia en toda la cadena. En mamíferos y en peces, los plaguicidas producen efectos sobre la reproducción (INE, 2003). En los ecosistemas acuáticos, los peces son bioindicadores de la contaminación, debido a su baja actividad metabólica y su posición dentro de la cadena alimentaria. En sus tejidos se concentran los contaminantes directamente desde el agua, incluyendo su dieta, lo que permite la evaluación de la transferencia de contaminantes a través de la red trófica así, la carpa es una de las especies de peces que se utiliza para los estudios ecotoxicológicos y de vigilancia de la contaminación (Fisk *et al.*, 2001; Široká *et al.*, 2005; Christoforidis *et al.*, 2008; Randak *et al.*, 2009).

La presencia de estos plaguicidas puede plantear un problema de salud por consumo de peces de este cuerpo de agua a largo plazo. Concretamente en el estado de Nayarit se encuentra la Presa Hidroeléctrica Aguamilpa, con características, usos y posiblemente un nivel de contaminación alto, ya que constantemente este cuerpo de agua es utilizado para actividades como el abastecimiento a las poblaciones, agricultura, generación de energía eléctrica, desarrollo de vida acuática o como cuerpos receptores de aguas residuales entre otros, generando la necesidad de conocer el grado de contaminación, con prioridad a contaminantes como son los de OCPs (plaguicidas organoclorados, por sus siglas en inglés), que por sus propiedades de persistencia, bioacumulación y biomagnificación representan un riesgo para el ambiente y por consecuencia para el hombre. Asimismo se debe considerar que el río Grande de Santiago, es el desagüe natural del Lago de Chapala Jalisco, el cual en el transcurso de su

cauce, es represado en el complejo hidroeléctrico de Aguamilpa, Nayarit y que además dicho Río es utilizado como vertedero de desechos urbanos, agrícolas, agropecuarios, mineros e industriales, provenientes principalmente de la Ciudad de Guadalajara, Jalisco y asentamientos ribereños del mismo, por lo que el estado de contaminación de sus aguas se puede considerar grave. Por todo lo anterior se considera importante, la evaluación del nivel de contaminación por residuos de plaguicidas organoclorados, que pudieran estar presentes en sedimento y diferentes especies de peces en el embalse de la Presa Hidroeléctrica Aguamilpa. Los resultados obtenidos en esta investigación, permitirán contribuir al conocimiento del grado de contaminación de la zona de estudio por estos compuestos, que será útil para la toma de decisiones a escala local y regional, requeridas, con la finalidad de conservar esta zona importante para el Estado de Nayarit. Los objetivos de ésta investigación fueron; Determinar el nivel de plaguicidas organoclorados en sedimento y peces de las especies: tilapia (*Oreochromis aureus*), lobina (*Micropterus salmoides*), bagre (*Ictalurus punctatus*), carpa (*Cyprinus carpio*) y palacha (*Dorosoma smithi*); así como comparar el nivel de plaguicidas organoclorados de estos peces, con los límites máximos permisibles en alimentos marinos para consumo humano.

Material y métodos

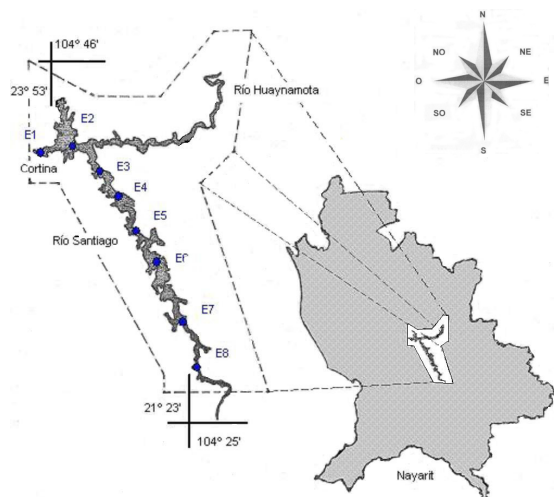
Para este estudio se realizaron dos muestreos; un muestreo en la época de estiaje en el mes de junio, y otro muestreo en la época de lluvia para el mes de septiembre, del año 2004. Los muestreos se realizaron tanto para peces como para sedimentos superficiales en el embalse de Aguamilpa. Se ubicaron ocho estaciones para el muestreo de sedimentos superficiales como lo muestra el mapa de la Figura 1; para ello se utilizó un sistema de posicionamiento global Magellan 300, y poder obtener las coordenadas de cada estación. Las ocho estaciones mencionadas,

quedaron definidas a lo largo del embalse, con una separación aproximada entre ellas de 5 Km, río arriba sobre el embalse, empezando por señalar la estación número uno en la cortina de la presa. En cada estación de muestreo se registró la profundidad con un ecosonda, así como ciertas variables hidrológicas como oxígeno disuelto con un oxímetro YSI 550, entre otras.

Para la obtención de las muestras de sedimentos superficiales se utilizó una draga tipo Ponar con área de 23 por 23 cm. Se colectaron 3 kg aproximadamente de sedimento por estación y una submuestra superficial de alrededor de 250 g se colocó en frascos de vidrio con tapa tratados con hexano grado plaguicida, con su respectiva replica para tener un total de 32 muestras de 250 g cada una para los dos muestreos, las cuales se etiquetaron y conservaron en hielo, para su posterior congelación y conservación hasta su análisis.

Se colectaron en los dos periodos de muestreo un total de 30 peces los cuales fueron: tilapia (*Oreochromis aureus*), lobina (*Micropterus salmoides*), bagre (*Ictalurus punctatus*), carpa (*Cyprinus carpio*) y palacha (*Dorosoma smithi*). Cabe señalar que la palacha, es una especie endémica de este embalse. Las muestras de peces de tilapia, lobina, bagre y carpa se adquirieron en una cooperativa pesquera local; y de las jaulas de cultivo sólo se colectó tilapia por ser la única especie que se cultiva; registrándose para todas ellas en fresco, sus pesos y tallas y se envolvieron en papel aluminio, para su posterior refrigeración. Para el primer muestreo, sólo se colectaron las especies de tilapia, lobina y carpa, ya que las especies de bagre y palacha no se pudieron capturar. En el segundo muestreo se obtuvieron todas las especies de peces anteriormente mencionadas.

Para el análisis de plaguicidas en sedimentos, se empleó el método descrito por la UNEP/IAEA (1982), método de referencia No. 17. Para la extracción y purificación de las muestras de sedimento, las submuestras de sedimentos de cada estación fueron descongelados y secados, para someterse a molienda y tamizado. Posteriormente 10 g de cada muestra tamizada, se sometieron a extracción con equipo soxhlet sobre papel filtro de celulosa, con hexano grado plaguicida, con su respectivo blanco de referencia. Los extractos obtenidos fueron concentrados a 10 mL en un roto evaporador. La purificación de las muestras del concentrado de sedimento, se realizó por cromatografía de adsorción, pasando el extracto por columnas de vidrio, empacadas con fibra de vidrio, florisil y sulfato de sodio anhidro. Como eluyente se utilizó hexano para eliminar la primera fracción y obtener la segunda fracción añadiendo hexano y éter etílico, la cual se concentró por roto evaporación hasta un volumen de 3 mL. Posteriormente este concentrado se transfirió a viales graduados con tapón de rosca, realizando otra concentración



ESTACIÓN	UBICACIÓN	
	Latitud N	Longitud O
E1	21° 50' 28.81"	104° 47' 26.01"
E2	21° 50' 70.58"	104° 42' 52.48"
E3	21° 48' 27.40"	104° 42' 10.83"
E4	21° 46' 18.59"	104° 40' 49.53"
E5	21° 43' 47.75"	104° 39' 48.63"
E6	21° 41' 44.61"	104° 38' 35.87"
E7	21° 38' 18.80"	104° 36' 18.93"
E8	21° 36' 10.05"	104° 35' 23.70"

Figura 1. Ubicación de las estaciones de muestreo de sedimento, en el embalse de la presa de Aguamilpa.

con corriente de nitrógeno gaseoso a presión hasta un volumen de 2 mL, para su posterior inyección al cromatógrafo de gases.

Para el análisis de plaguicidas en peces, se empleó el método descrito por la UNEP/FAO/IAEA (1986), Método de referencia No. 14. Para el este estudio se analizaron 3 peces por especie. Las diferentes especies de peces se descongelaron llevándose a cabo la disección de los paquetes de tejido dorsales (filetes), sin piel. Estos tejidos se molieron y homogeneizaron por especie, para proceder a su secado y posteriormente someterlos al pulverizado. Para la extracción, 5 g de tejido una vez seco y homogeneizado por especie, se sometió a extracción con equipo soxhlet sobre papel filtro de celulosa, con hexano, paralelamente se obtuvo un blanco de referencia. Posteriormente, el extracto se concentró a 10 mL con un roto evaporador. Enseguida los extractos se trataron con ácido sulfúrico para hidrolizar las grasas. Posteriormente fueron centrifugados los extractos para la separación de las fases, recuperando la fase solvente para su purificación. La purificación de la fase solvente se realizó por medio de cromatografía de adsorción, pasando el extracto por columnas de vidrio, empacadas con fibra de vidrio, silica gel y sulfato de sodio anhidro. Como eluyente se utilizó hexano para eliminar la primera fracción y obtener la segunda fracción añadiendo éter etílico en hexano, la cual se concentró por roto evaporación hasta 3 mL; y por último se transfirió el concentrado a viales graduados con tapón de rosca, realizando otra concentración con una corriente de nitrógeno gaseoso a presión hasta un volumen de 2 mL, para su posterior inyección al cromatógrafo de gases.

Los análisis para la identificación de plaguicidas organoclorados en sedimento y peces, se efectuó en un cromatógrafo de gases Hewlett

Packard modelo 5890, serie II, equipado con detector de captura de electrones, utilizando Helio como gas acarreador y Nitrógeno como gas auxiliar. Se inyectaron las muestras purificadas de sedimento y peces con su respectivo blanco de referencia en este cromatógrafo.

El área bajo la curva y los tiempos de retención se midieron con un integrador Hewlett Packard modelo 3396 Serie II. La identificación y cuantificación de los compuestos organoclorados en sedimentos y peces, se realizaron comparando las áreas de los picos y los tiempos de retención obtenidos de las muestras de sedimento y peces, con un estándar externo de referencia, el cual presentó una mezcla de 16 compuestos organoclorados y sus metabolitos. Cabe señalar que el límite de detección del equipo es de 0.01 ng g⁻¹ peso seco, de plaguicidas organoclorados.

Adicionalmente se analizó la materia orgánica en sedimentos por el método descrito por Gaudette *et al.* (1974). La técnica está basada en oxidar una porción de la muestra de sedimento seco y pulverizado con dicromato de potasio en presencia de ácido sulfúrico concentrado, utilizando el calor exotérmico del ácido; posteriormente el exceso de dicromato se tituló con una solución de sulfato de amonio ferroso usando difenilamina como indicador. Los análisis de las muestras de peces y sedimento colectados, se realizaron en el Laboratorio de Análisis Ambientales del Centro Multidisciplinario de Investigación Científica de la Universidad Autónoma de Nayarit.

Resultados y discusión

Los residuos de OCPs, encontrados en los sedimentos durante el periodo de estiaje, en las diferentes estaciones se muestran en el Cuadro 1. Se detectaron en total, nueve OCPs, tres de ellos corresponden al grupo de los

hexacloro ciclohexanos, HCH's (alfa, beta y gamma), encontrados en la estación 1, 7 y 8; otros cinco pertenecientes al grupo de los "dri-nes" (heptacloro, aldrín, endosulfán I, dieldrín

y endrín) para las estaciones 1, 6, 7 y 8; así también se encontró un plaguicida del grupo de diclorodifeniltricloroetanos, DDT's (p,p'-DDE) en la estación 7.

Cuadro 1. Concentraciones de plaguicidas organoclorados en sedimento para el periodo de estiaje en ng g⁻¹ peso seco.

PLAGUICIDAS 9 (3HCH,5DRI,1DDT)	ESTACIONES (PERIODO DE ESTIAJE)								Frec.
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	
alfa-HCH	nd	nd	nd	nd	nd	nd	1.06	1.90	2
beta-HCH	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0.62	nd	1
gamma-HCH	0.86	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	1
delta-HCH	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
heptacloro	1.42	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	1
aldrín	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0.03	1
heptacloro epóxido	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
endosulfán I	nd	nd	nd	nd	nd	2.59	nd	nd	1
dieldrín	nd	nd	nd	nd	nd	nd	1.11	nd	1
p,p'-DDE	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0.30	nd	1
endrín	nd	nd	nd	nd	nd	nd	1.09	3.63	2
endosulfán II	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
p,p'-DDD	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
endrín aldehído	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
endosulfán sulfato	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
p,p'-DDT	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
Concentración total OCPs	2.28	nd	nd	nd	nd	2.59	4.18	5.56	
% Materia Orgánica (MO)	1.96	2.51	2.47	2.76	2.53	2.97	1.95	1.58	

nd = no detectable, Frec. = frecuencia, OCPs = plaguicidas organoclorados, MO = materia orgánica.

Los resultados obtenidos para las muestras de sedimento, en el periodo de lluvia se observan en la Cuadro 2. Se encontraron 12 plaguicidas organoclorados en total; tres de ellos correspondientes al grupo de los hidrocarburos alicíclicos (alfa-HCH, beta-HCH y delta-HCH) detectados en las estaciones 1, 2, 4, 5 y 7; del grupo de los ciclodiénicos se de-

tectaron siete compuestos (aldrín, heptacloro epóxido, endosulfán I, dieldrín, endrín, endrín aldehído y endosulfán sulfato) para las estaciones 1, 2, 3, 4, 5, 7 y 8; y para el grupo de los hidrocarburos aromáticos se encontraron dos plaguicidas (p,p'-DDE y p,p'-DDD) en la estación 2, 4, 7 y 8.

Cuadro 2. Concentraciones de plaguicidas organoclorados en sedimento para el periodo de lluvia en ng g⁻¹ peso seco.

PLAGUICIDAS 12 (3ALI,7CIC,2ARO)	ESTACIONES (PERIODO DE LLUVIA)								Frec.
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	
alfa-HCH	5.39	2.10	nd	4.28	nd	nd	6.38	nd	4
beta-HCH	nd	0.47	nd	nd	nd	nd	nd	nd	1
gamma-HCH	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
delta-HCH	nd	nd	nd	nd	0.72	nd	nd	nd	1
heptacloro	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
aldrín	0.78	nd	0.07	nd	nd	nd	nd	nd	2
heptacloro epóxido	nd	nd	0.10	nd	nd	nd	nd	nd	1
endosulfán I	nd	nd	1.91	21.23	1.84	nd	18.65	1.93	5
dieldrín	nd	nd	nd	0.52	nd	nd	nd	nd	1
p,p'-DDE	nd	2.25	nd	1.00	nd	nd	1.11	nd	3
endrín	3.25	2.32	nd	1.07	1.71	nd	1.92	nd	5
endosulfán II	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
p,p'-DDD	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0.38	0.19	2
endrín aldehído	0.47	nd	nd	0.49	nd	nd	nd	nd	2
endosulfán sulfato	nd	0.21	nd	nd	nd	nd	nd	nd	1
p,p'-DDT	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
Concentración total OCPs	9.89	7.35	2.08	28.59	4.27	nd	28.44	2.12	
% Materia Orgánica (MO)	1.90	1.59	2.36	2.55	2.23	2.15	2.02	2.88	

nd = no detectable, Frec. = frecuencia, OCPs = plaguicidas organoclorados, MO = materia orgánica.

Comparando las concentraciones totales de plaguicidas organoclorados para los sedimentos por periodo de muestreo, como lo señala la Figura 2, se observa que las concentraciones totales fueron más altas en el periodo de lluvia con respecto al periodo de estiaje. Las estaciones uno, dos, tres, cuatro, cinco y siete presentaron mayor concentración total de plaguicidas en el periodo de lluvia en relación al

periodo de estiaje; y en las estaciones seis y ocho se detectó mayor concentración total en el periodo de estiaje en comparación al periodo de lluvia. Para las estaciones dos, tres, cuatro y cinco del periodo de estiaje y en la estación seis del periodo de lluvia, las concentraciones se encuentran por debajo del límite de detección que es de 0.01 ng g⁻¹ en peso seco o bien, estuvieron ausentes.

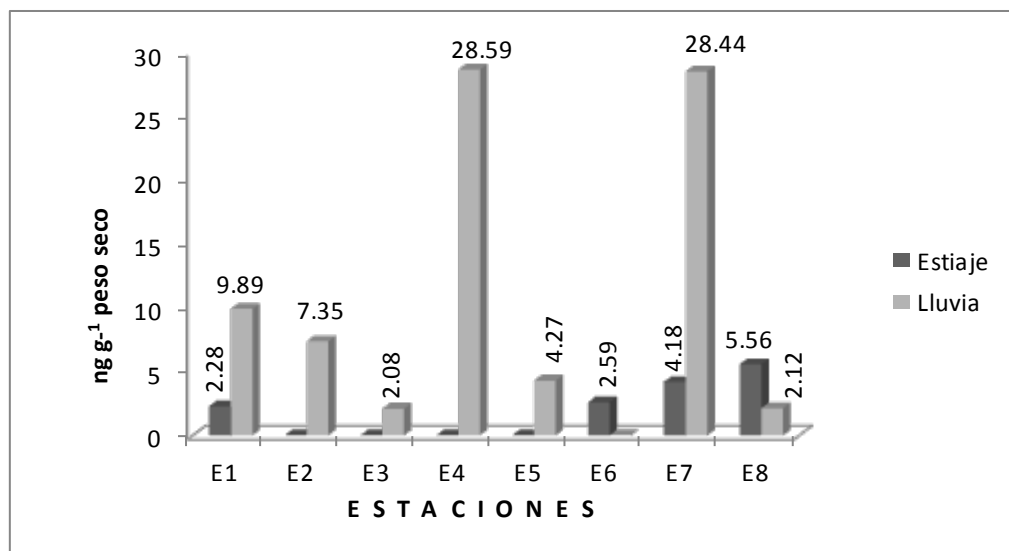


Figura 2. Concentraciones totales de plaguicidas organoclorados en sedimento, para los periodos de estiaje y lluvia, respectivamente, en ng g⁻¹ peso seco.

En general, las concentraciones detectadas de plaguicidas en sedimento se encuentran en un rango de 2.08 a 28.59 ng g⁻¹ peso seco. Por otra parte, al comparar las concentraciones del embalse Aguamilpa con otras investigaciones, se encontró que en la cuenca del río Peacock en Xinjiang, China, en la zona árida de Asia Central, Chen *et al.*, (2010), determinaron concentraciones de plaguicidas organoclorados en sedimentos con rangos de 1.36 a 24.60 ng g⁻¹ peso seco, valores similares a los encontrados en este estudio. Chen y sus colaboradores atribuyen la presencia de estos plaguicidas a la erosión de los suelos agrícolas y a la deposición atmosférica por el uso intensivo de estos en la agricultura. Otro estudio realizado para determinar la ocurrencia y distribución de plaguicidas organoclorados en sedimentos, del río Amarillo en China; fue realizado por Wang *et al.*, (2009). Ellos determinaron contenidos totales DDTs y HCHs, cuyos contenidos fueron de 0.05 a 5.03 ng g⁻¹ y 0.09 a 12.89 ng g⁻¹ peso seco, respectivamente, valores que son superiores a los registrados en esta investiga-

ción, ellos consideran la presencia de estos plaguicidas en el río Amarillo por contaminación de actividades agrícolas y algunas aguas industriales proveniente de una planta química. Así también, Malik *et al.*, (2009), encontraron plaguicidas organoclorados en sedimentos del río Gomti en la India, cuyo rango fue entre 0.92 y 813.59 ng g⁻¹ peso seco, atribuidos principalmente a una fuente de contaminación de DDT, acumulado en suelos agrícolas en las riveras del río Gomti. Estos valores exceden con mucho los resultados obtenidos en la presa de Aguamilpa.

El contenido de materia orgánica (MO), en sedimento en este estudio, presenta un rango general de 1.58% a 2.97%. Estos resultados son comparables con investigaciones hechas por Barral *et al.*, (2001), que encontraron rangos superiores de (6.11% – 13.03%), en sedimento de Lagos Andinos de Chile. En estudio de sedimentos en Ríos de la India se encontró rango inferior al presente estudio de (0.75% – 0.48%), por Ahmad *et al.*, (1996).

Los resultados obtenidos para las diferentes especies de peces en el periodo de estiaje, se presentan en la Cuadro 3. Se encontraron un total de nueve plaguicidas organoclorados: uno correspondiente al grupo de los HCH's (alfa-HCH); seis del grupo de los "drines" (aldrín,

endosulfán I, dieldrín, endrín, endosulfán II y endrín aldehído); y dos pertenecientes al grupo de DDT's (p,p'-DDD y p,p'-DDT). Cabe señalar que no fue posible coleccionar bagre (*Ictalurus punctatus*), ni palacha (*Dorosoma smithi*), en este periodo.

Cuadro 3. Concentraciones de plaguicidas organoclorados en peces, para el periodo de estiaje en ng g⁻¹ peso seco.

PLAGUICIDAS	PECES (PERIODO DE ESTIAJE)						Frec.
	Tilapia	Tilapia cultivo	Lobina	Carpa	Bagre	Palacha	
alfa-HCH	nd	nd	0.23	nd	nc	nc	1
beta-HCH	nd	nd	nd	nd	nc	nc	
gamma-HCH	nd	nd	nd	nd	nc	nc	
delta-HCH	nd	nd	nd	nd	nc	nc	
heptacloro	nd	nd	nd	nd	nc	nc	
aldrín	nd	nd	0.56	4.95	nc	nc	2
heptacloro epóxido	nd	nd	nd	nd	nc	nc	
endosulfán I	nd	2.43	5.98	nd	nc	nc	2
dieldrín	nd	2.27	3.62	nd	nc	nc	2
p,p'-DDE	nd	nd	nd	nd	nc	nc	
endrín	6.07	1.67	nd	nd	nc	nc	2
endosulfán II	7.58	nd	nd	2.07	nc	nc	2
p,p'-DDD	nd	nd	nd	3.50	nc	nc	1
endrín aldehído	nd	nd	nd	8.24	nc	nc	1
endosulfán sulfato	nd	nd	nd	nd	nc	nc	
p,p'-DDT	1.10	nd	nd	nd	nc	nc	
Concentración total OCPs	14.75	6.37	10.39	10.76			

nd = no detectable, nc = no colectado, Frec. = frecuencia, OCPs = plaguicidas organoclorados.

Las concentraciones de plaguicidas organoclorados encontrados en tejido muscular de las diferentes especies de peces del periodo de lluvia, se muestran en la Cuadro 4. Se detectaron nueve compuestos organoclorados en total: uno del grupo de los hidrocarburos

alíclicos (beta-HCH); siete pertenecientes a los ciclodienicos (aldrín, heptacloro epóxido, endosulfán I, dieldrín, endrín, endosulfán II y endrín aldehído); y uno correspondiente a los hidrocarburos aromáticos (p,p'-DDT).

Cuadro 4. Concentraciones de plaguicidas organoclorados en peces, para el muestreo del periodo de lluvia en ng g⁻¹ peso seco.

PLAGUICIDAS	PECES (PERIODO DE LLUVIA)						Frec.
	Tilapia	Tilapia cultivo	Lobina	Carpa	Bagre	Palacha	
alfa-HCH	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
beta-HCH	nd	nd	nd	nd	3.83	5.35	2
gamma-HCH	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
delta-HCH	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
heptacloro	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
aldrín	nd	nd	0.16	nd	nd	nd	1
heptacloro epóxido	nd	nd	1.11	nd	nd	nd	1
endosulfán I	1.01	nd	1.02	0.96	nd	nd	3
dieldrín	nd	nd	nd	nd	6.83	nd	1
p,p'-DDE	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
endrín	nd	nd	2.98	1.18	0.81	3.59	4
endosulfán II	nd	nd	nd	nd	0.18	nd	1
p,p'-DDD	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
endrín aldehído	nd	nd	0.04	nd	nd	nd	1
endosulfán sulfato	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
p,p'-DDT	nd	nd	nd	0.49	nd	nd	1
Concentración total OCPs	1.01		5.31	2.63	11.65	8.94	

nd = no detectable, Frec. = frecuencia, OCPs = plaguicidas organoclorados.

Comparando las concentraciones totales de plaguicidas organoclorados, de las diferentes especies de peces, por periodo, como lo señala la Figura 3, se observa que las concentraciones totales fueron más altas en el periodo de estiaje con respecto al periodo de lluvia. Las especies de tilapia (*Oreochromis aureus*), tilapia jaula (*Oreochromis aureus*), lobina (*Micropterus sal-*

moides), y carpa (*Cyprinus carpio*), presentaron mayor concentración total de plaguicidas en el periodo de estiaje con relación al de lluvia. No se pueden comparar las concentraciones totales por periodo en bagre (*Ictalurus punctatus*), y palacha (*Dorosoma smithi*), ya que en la época de estiaje, como se señaló anteriormente, no se colectaron estas especies (nc).

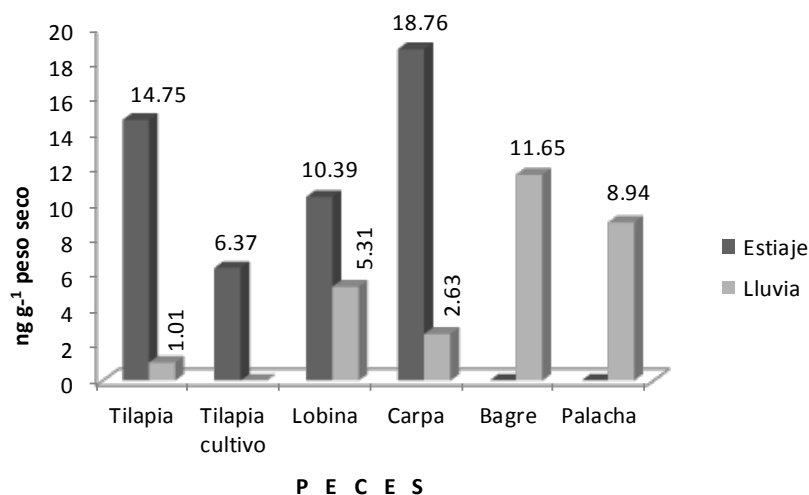


Figura 3. Concentraciones totales de plaguicidas organoclorados en peces para los periodos de estiaje y lluvia, respectivamente, en ng g⁻¹ peso seco.

En general, las concentraciones detectadas de plaguicidas en los peces de Aguamilpa se encuentran en un rango de 0.04 a 8.24, ng g⁻¹ peso seco. Por otra parte, al comparar las concentraciones del embalse Aguamilpa, con otras investigaciones se encontró el caso del estudio realizado por Zhou y Wong (2004), en especies del río Perla en China, de (0.07 – 65.3 ng g⁻¹ peso seco) valores que están por arriba a los valores informados en esta investigación. También en la India, en el río Gomti, Malik *et al.*, (2009), encontraron en músculo de peces de la especie (*Channa punctatus*), contenidos de plaguicidas organoclorados en un rango de 2.58 ng g⁻¹ a 22.56 ng g⁻¹ peso seco, que son mayores a los registrados en el estudio realizado en los periodos de estiaje y lluvias en Aguamilpa en el 2004. Otra investigación de Elia *et al.*, (2007), en tejido de pez gato (*Ameiurus melas*) colectados en los Lagos Trasimeno, Corbara y Alviano de Italia, hallaron contenidos de DDTs de 119.8 a 1084.25 ng g⁻¹ peso seco, y señalan que los niveles de α -HCH y β -HCH en los peces colectados en el lago Alviano y el lago

Corbara se encontraron por debajo del límite de detección. Ellos atribuyen dichos contenidos en el lago Trasimeno a plantas industriales del área; así también el lago Corbara y el lago Alviano fueron afectados por las corrientes del río Tiber, con aguas urbanas e industriales contaminadas. Estos valores encontrados por Elia y sus colaboradores, son también mayores a los obtenidos en los peces del embalse de Aguamilpa. En otro trabajo se evaluó la presencia de plaguicidas organoclorados en la Presa Vicente Guerrero en Tamaulipas, México, el estudio se realizó en músculo de 4 especies de pescado: bagre (*Ictalurus punctatus*), carpa (*Cyprinus carpio*), lobina (*Micropterus salmoides*), y tilapia (*Oreochromis niloticus*), por Uresti *et al.*, (2007). La mayor concentración encontrada fue para el DDE en lobina, carpa y bagre (239.90, 165.98 y 212.31 ng g⁻¹ peso seco, respectivamente), y para el clordano en bagre y lobina (44.66 y 64.22 ng g⁻¹ peso seco), valores superiores a los detectados en este estudio. Ellos atribuyen estos contenidos a que en Estados Unidos se prohibió el uso del DDT desde 1972. Sin em-

bargo, el DDT en México aún es utilizado en forma restringida para el control de la malaria. Además existe riesgo de cáncer por el consumo de carpa y lobina en forma regular por parte de la población que habita en la región, debido a que los altos niveles de DDE encontrados, superan las recomendaciones de la agencia de protección del medio ambiente de los Estados Unidos (Uresti *et al.*, 2007).

Por otro lado, los niveles de plaguicidas organoclorados presentes en peces para consumo humano, propuestos por el Codex Alimentarius Commission (1993), refiriéndose al ADIS (Ingesta Diaria Admisible, por sus siglas en inglés), y los límites máximos permisibles en las porciones comestibles de peces mencionadas por la FDA (1996), señalan que los isómeros de HCH (alfa, beta, gamma y delta), tienen un valor de ADIS de 0.008 ppm; para el grupo del endosulfán (I, II y sulfato) es de 0.0001 ppm, dentro del grupo de los DDT's (p,p'-DDD, p,p'-DDE y p,p'-DDT) el valor es de 0.02 ppm. Los niveles establecidos para consumo humano, se refieren al comercio federal de productos pesqueros y tienen como objetivo la protección del público consumidor en general. Al comparar estos niveles establecidos con los resultados obtenidos en este trabajo, se observa que estos niveles se encuentran por debajo por los mencionados por la FDA y de lo propuesto por el Codex Alimentarius Commission (1993), como ingesta diaria admisible, (ADIS). En nuestro país no se cuenta con una regulación específica, que señale los límites máximos permisibles o ingesta diaria admisible de porciones comestibles de peces, pero existe una norma oficial mexicana, NOM-027-SSA1-1993, la cual menciona que los pescados frescos, refrigerados y congelados, no deben de contener ningún residuo de plaguicida como aldrín, dieldrín, endrín, heptacloro, y kepone, y otros compuestos prohibidos en el Catálogo de Plaguicidas publicado en el DOF (1991). Por lo que basándose en la norma referida, las

muestras de tilapia, tilapia de jaula de cultivo, lobina, carpa, bagre y palacha, analizadas en el presente trabajo están contaminadas por plaguicidas organoclorados, por lo tanto estas especies violan la normatividad mexicana, para consumo humano.

Se probó la normalidad de los datos a través de las pruebas de Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk, para los plaguicidas encontrados, tanto en los sedimentos como en los peces, en las diferentes épocas del año, concluyéndose que estos no siguen una tendencia normal ya que su significancia tiende a cero en todos los casos, por lo que se procedió a realizar comparaciones no-paramétricas aplicando la prueba de Kruskal-Wallis. Solo en el caso de la materia orgánica y el contenido total de OCPs en los sedimentos se encontró una tendencia normal, como lo muestra el Cuadro 5. En los cuadros 6 y 7 se muestran las pruebas de Kruskal-Wallis para los OCPs en sedimentos y peces, tanto en lluvias como en estiaje, no encontrándose diferencias estadísticas significativas en los mismos.

Por otra parte, se aplicó análisis de correlación de Pearson, para determinar la relación existente entre los contenidos de plaguicidas y la materia orgánica en cada una de las estaciones de muestreo. De acuerdo al Cuadro 8, solo se tuvo una correlación significativa (-0.713, $p = 0.047$), entre los contenidos de plaguicidas y la materia orgánica determinados en el periodo de estiaje, no así en el de lluvias. Además, se compararon los contenidos de plaguicidas encontrados tanto en los sedimentos como en los peces estudiados (a excepción de bagre y palacha), con la finalidad de determinar el posible efecto estacional en la dinámica del embalse. De esta forma, no se encontró diferencia estadística significativa en la aplicación de la prueba de Mann-Whitney, en ninguno de los casos analizados, solo una pequeña aproximación en la Tilapia de jaula (0.074 de

significancia), como se muestra en el Cuadro 9. También es posible observar en las Cuadros 1, 2, 3, y 4, que en los sedimentos, el contenido total de los OCPs, se incrementa en el temporal de lluvias y en los peces sucede a la inversa, esto puede deberse a la propia dinámica del embalse, ya que al tener mayor estabilidad en

estiaje, parece favorecerse la suspensión de los plaguicidas en el agua, lo que permitiría la ingestión de los mismos por los peces, y en el temporal de lluvias, pudiera incrementarse la precipitación de OCPs, acumulándose en los sedimentos y dejando menor disponibilidad en la columna de agua.

Cuadro 5. Pruebas de normalidad para plaguicidas totales y materia orgánica en los sedimentos.

		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Significancia	Estadístico	gl	Significancia
OCPs	Lluvia	.298	8	.035	.826	8	.054
	Estiaje	.265	8	.102	.778	8	.016
MO	Lluvia	.234	8	.200*	.941	8	.616
	Estiaje	.105	8	.200*	.996	8	1.000

a. Corrección de la significación de Lilliefors

* Este es un límite inferior de la significación verdadera

MO = materia orgánica, OCPs = plaguicidas organoclorados.

Cuadro 6. Prueba de Kruskal-Wallis para los plaguicidas organoclorados en los sedimentos estudiados

Rangos				Estadísticos de contraste	
		N	Rango promedio		OCPs
OCPs	Estiaje	96	96.46	Chi-cuadrado	.000
	Lluvia	96	96.54	gl	1.000
	Total	192		Significancia	.987

OCPs = plaguicidas organoclorados.

Cuadro 7. Prueba de Kruskal-Wallis para los plaguicidas organoclorados en los peces estudiados.

Rangos				Estadísticos de contraste	
	PEZ	N	Rango promedio		OCPs
OCPs	Tilapia	32	94.44	Chi-cuadrado	7.469
	Tilapia jaula	32	91.06	gl	5.000
	Lobina	32	107.88	Significancia	.188
	Carpa	32	103.22		
	Bagre	32	93.97		
	Palacha	32	88.44		
	Total	192			

OCPs = plaguicidas organoclorados.

Cuadro 8. Coeficientes de correlación de Pearson.

	OCPs (estiaje)	MO (estiaje)	OCPs (lluvia)	MO (lluvia)
OCPs (estiaje)	1	-0.713*		
MO (estiaje)		1		
OCPs (lluvia)			1	-0.046
MO (lluvia)				1

* Correlación significativa a $p < 0.05$, MO = materia orgánica, OCPs = plaguicidas organoclorados.

Cuadro 9. Prueba de Mann –Whitney, de dos colas, con $\alpha=0.05$

	Tilapia	Tilapia jaula	Lobina	Carpa
U de Mann-Whitney	110.500	104.000	124.000	114.000
W de Wilcoxon	246.500	240.000	260.000	250.000
Z	-1.148	-1.788	-.190	-.729
Significancia	.251	.074	.849	.466

Conclusiones

- 1.-La variación temporal de las concentraciones de plaguicidas organoclorados en sedimentos fue mayor para el periodo de lluvia ($11.82 \pm 11.74 \text{ ng g}^{-1}$), con respecto al periodo de estiaje ($3.65 \pm 1.52 \text{ ng g}^{-1}$).
- 2.-La variación temporal de las concentraciones de plaguicidas organoclorados en peces fue mayor para el periodo de estiaje ($12.57 \pm 5.36 \text{ ng g}^{-1}$), con respecto al periodo de lluvia ($5.91 \pm 4.39 \text{ ng g}^{-1}$).
- 3.-En total se detectaron catorce compuestos en sedimentos. Los plaguicidas organoclorados más frecuentes fueron: endrín, endosulfán I, alfa-HCH, p,p'-DDE, aldrín, p,p'-DDD, y endrín aldehído.
- 4.-Se detectaron once compuestos en peces. Los plaguicidas organoclorados más frecuentes fueron: endrín, endosulfán I, aldrín, dieldrín, endosulfán II y beta-HCH.
- 5.-Se encontró una correlación negativa (-0.713 , $p = 0.047$), entre el contenido de plaguicidas y la cantidad de materia orgánica en sedimentos para el periodo de estiaje.
- 6.-De los peces estudiados, ninguno mostró diferencia estadística significativa en las concentraciones de plaguicidas encontradas en estiaje, comparadas con el periodo de lluvias.
- 7.-Los resultados obtenidos en este estudio, indican que los pesticidas organoclorados alfa-HCH, beta-HCH, gamma-HCH, delta-HCH, p,p'-DDE, p,p'-DDD, p,p'-DDT, heptacloro, heptacloro epóxido, endosulfán I, endosulfán II, endosulfán sulfato, aldrín, dieldrín, endrín y endrín aldehído, se encuentran presentes en la presa de Aguamilpa, destacando el endosulfán I para sedimento, así como el endrín aldehído para peces (carpa), sustancias que se encontraron en mayor concentración en las muestras analizadas
- 8.-Las concentraciones de residuos de plaguicidas organoclorados encontrados en peces no comprometen su aptitud para el consumo humano, ya que los niveles de plaguicidas no excedieron los valores de referencia utilizados por la FDA y el Codex Alimentarius Commission.
- 9.-Las muestras de los peces analizados en este estudio no resultaron aptas para consumo humano, ya que la norma oficial mexicana NOM-027-SSA1-1993, señala que estos, no deben contener residuos de plaguicidas.
- 10.-La presencia de residuos de plaguicidas organoclorados y sus metabolitos, detectados en esta investigación, puede ser un indicador del uso extensivo de estos compuestos tóxicos y al mismo tiempo un riesgo para la salud.

Referencias

- Ahmad, S; Ajmal, M; Nomani, A. A. Organochlorines and Polycyclic Aromatic Hidrocarbons in the Sediments of Ganges River (India). *Environ. Contam. Toxicol* 1996; 57: 794-802.
- Barral, R; Pozo, K; Urrutia, R; Cisternas, M; Pacheco, P; Focardi, S. (2001). Unidad de Sistemas Acuáticos, Centro de Ciencias Ambientales EULA-CHILE. Plaguicidas organoclorados persistentes en sedimentos de tres lagos costeros y un lago andino de Chile central. 234 pp.
- Chen W, Jing M, Jianwei B, Ellis BJ, Qi S, Song Q, Ke Y, Miao J, Meng L, Yang C. Organochlorine pesticides in the surface water and sediments from the Peacock River Drainage Basin in Xinjiang, China: a study of an arid zone in Central Asia. *Environ Monit Assess*; 2010. DOI 10.1007/s10661-010-1613-2. Published online: 07August 2010.
- Christoforidis A, Stamatis N, Schmieder K, Tsachalidis E. Organochlorine and mercury contamination in fish tissues from the River Nestos, Greece. *Chemosphere* 2008;70:694–702.
- Codex Alimentarius Commission. Status of Codex Maximun Residue Limits For Pesticides in Food and Animal Fedd, Joint FAO/WHO Food Standars Programme Codex Committee on Pesticide Residues. 1993.
- CTMA. Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente. Tema 9 Productos Químicos: Problemas en el Uso de Pesticidas 2001;9(3):15-36.
- DOF. Diario Oficial de la Federación. Relación de plaguicidas prohibidos para su Importación, Fabricación, Comercialización y Uso en México. Tomo CDXLVIII No. 2:14-15. 1991.
- Doong R A, Peng CK, Sun YC, Liao PL. Composition and distribution of organochlorine pesticide residues in surface sediments from the Wu-Shi River estuary, Taiwan. *Marine Pollution Bulletin* 2002;45:246–253.
- Elia AC, Dörr AJM, Galarini R. Comparison of Organochlorine Pesticides, PCBs, and Heavy Metal Contamination and of Detoxifying Response in Tissues of *Ameiurus melas* from Corbara, Alviano, and Trasimeno Lakes, Italy. *Bull Environ Contam Toxicol* 2007;78:463-468.
- Fisk AT, Hobson KA, Norstrom RJ. Influence of chemical and biological factors on trophic transfer of persistent organic pollutants in the Northwater polynya marine food web. *Environ Sci Technol* 2001;35:732–740.
- Gaudette, H. E; Flight, W. R; Torner, L; Folger, D. M. An Inexpensive Titration Method for Determination of Organic Carbons in Recent Sediments. *J. Sedim. Petrol* 1974;44 (1):249-253.
- INE (2003). Instituto Nacional de Ecología. Publicaciones Tema 4. Exposición a Plaguicidas. México, D. F. 57(13):34-46.
- Ioannis KK, Dimitra GH, Triantafyllos AA. The status of pesticide pollution in surface waters (rivers and lakes) of Greece. Part I. Review on occurrence and levels. *Environment Pollution* 2006;141:555–570.
- Kishimba MA, Henry L, Mwevura H, Mmochi AJ, Mihale M, Hellar H. The status of pesticides pollution Tanzania. Southern and Eastern Africa Network for Analytical Chemists 2004;64:48–53.
- Lalah JO, Yugi PO, Jumba IO, Wandinga SO. Organochlorine Residues in Tana and Sabaki Rivers in Kenia. *Bull. Environ. Contam. Toxicol* 2003;71:298-307.
- Li XD, Mai BX, Zhang G, Sheng GY, Fu JM, Pan SM, Wai OWH, Li SY. Distribution of Organochlorine Pesticides in a Sediment Profil of the Pearl River Estuary. *Bull. Environ. Contam. Toxicol* 2001;67:871-880.
- López NG, Otero RR, Grande BC, Gandara JS, González BS. Occurrence of organochlorine pesticides in stream sediments from an industrial area. *Arch Environ Contam Toxicol* 2005;48:296–302.
- Malik A, Ojha P, Singh KP. Levels and distribution of persistent organochlorine pesticide residues in water and sediments of Gomti River India (a tributary of the Ganges River). *Environ Monit Assess* 2009;148:421-435.
- Malik RN, Rauf S, Mohammad A, Eqani SAMAS, Ahad K. Organochlorine residual concentrations in cattle egret from the Punjab Province, Pakistan. *Environ Monit Assess*. 2010. DOI: 10.1007/s10661-010-1390-y.
- NOM-027-SSA1-1993. Norma Oficial Mexicana. Bienes y Servicios. Productos de la Pesca. Pescados Frescos, Refrigerados y Congelados. Especificaciones Sanitarias.

- Randak T, Zlabek V, Pulkrabova J, Kolarova J, Kroupova H, Siroka Z, Velisek J, Svobodova Z, Hajslova J. Effects of pollution on chub in the River Elbe, Czech Republic. *Ecotoxicol Environ Saf* 2009;72:737–746.
- Santamarta J. World Watch. Contaminantes Orgánicos Persistentes (COPs). *Boletín Informativo*. 2001. p. 38.
- Sarkar SK, Bhattacharya BD, Bhattacharya A, Chatterjee M, Alam A, Satpathy KK, Jonathan MP. Occurrence, distribution and possible sources of organochlorine pesticide residues in tropical coastal environment of India: An overview. *Environment International* 2008;34:1062-1071.
- Šíroká Z, Krijt J, Randák T, Svobodová Z, Pešková G, Fuksa J, Hajšlová J, Jarkovský J, Jánská M. Organic pollutant contamination of the river Elbe as assessed by biochemical markers. *Acta Vet Brno* 2005;74:293–303.
- UNEP/FAO/IAEA. Determination of DDT's and PCB's in Selected Marine Organisms by Packed Column Gas Chromatography. *Reference Methods for Marine Pollution Studies* 1986;14(1):18.
- UNEP/IAEA. Determination of DDT's and PCB's and Others Hydrocarbons in Marine Sediments by Gas Liquid Chromatography. *Reference Methods for Marine Pollution Studies* 1982;17:36.
- Uresti MRM, Santiago AR, Días MNE, Gutiérrez L J, Vásquez M, Ramírez de León JA. Evaluación Preliminar de la Presencia de Plaguicidas Organoclorados en Pescados de la Presa Vicente Guerrero (Tamaulipas, México). *Ciencia y Tecnología Alimentaria* 2008;6(1):48-55.
- Wang G, Ma L, Sun J, Zhang G. Occurrence and distribution of organochlorine pesticides (DDT and HCH) in sediments from the middle and lower reaches of the Yellow River, China. *Environ Monit Assess* 2009;168:511-521.
- Zhou HY, Wong MH. Screening of Organochlorine in Freshwater Fish Collected from the Pearl River Delta, People's Republic China. *Arch. Environ. Contam. Toxicol* 2004;46:106-113.