



Evaluación de plaguicidas organoclorados en el sistema lacustre de Metztitlán, Hidalgo.

T E S I S

**Que para obtener el grado de
Maestra en Biología**

P R E S E N T A

Hidrobiol. Laura María Fernández Bringas

Codirección:

**M. en C. Ma. Guadalupe Ponce Vélez (ICMyL, UNAM)
Dra. Laura Georgina Calva Benítez (UAM-I)**

Asesoría:

Dra. Ana Laura Ibáñez Aguirre (UAM-I)

FEBRERO, 2004.

El jurado designado por la
División de Ciencias Biológicas y de la Salud
de la Unidad Iztapalapa aprobó la tesis que presentó

Hidrobiol. Laura María Fernández Bringas

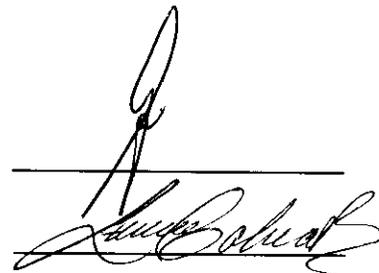
El día 04 de Febrero del año de 2004.

Comité Tutorial

Tutoras:

M. en C. María Guadalupe Ponce Vélez

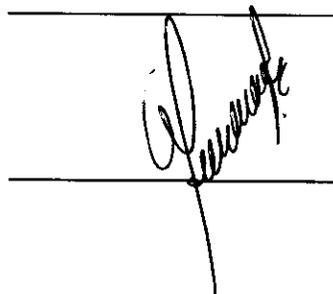
Dra. Laura Georgina Calva Benítez



Two handwritten signatures in black ink, one above the other, each followed by a horizontal line.

Asesora:

Dra. Ana Laura Ibáñez Aguirre



A handwritten signature in black ink, followed by a horizontal line.

Sinodal:

Dr. Alfonso Vázquez Botello



A horizontal line, likely representing the signature of the synodal member.

El jurado designado por la
División de Ciencias Biológicas y de la Salud
de la Unidad Iztapalapa aprobó la tesis que presentó

Hidrobiol. Laura María Fernández Bringas

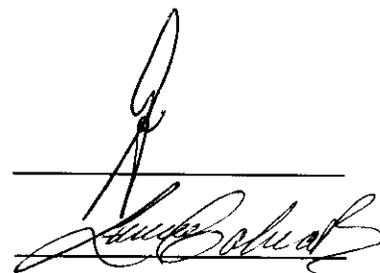
El día 04 de Febrero del año de 2004.

Comité Tutorial

Tutoras:

M. en C. María Guadalupe Ponce Vélez

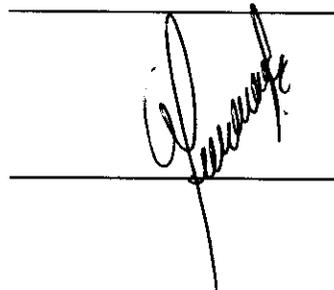
Dra. Laura Georgina Calva Benítez



Two handwritten signatures in black ink, one above the other, each followed by a horizontal line.

Asesora:

Dra. Ana Laura Ibáñez Aguirre



A handwritten signature in black ink, followed by a horizontal line.

Sinodal:

Dr. Alfonso Vázquez Botello



A handwritten signature in black ink, followed by a horizontal line.

ÍNDICE GENERAL

	págs.
1. Introducción	1
2. Antecedentes	12
3. Justificación	15
4. Área de estudio	16
5. Hipótesis	18
6. Objetivos	19
6.1. Objetivo General	19
6.2. Objetivos Particulares	19
7. Metodología	20
7.1. Plaguicidas	20
7.1.1. Colecta de Material	20
i) Sedimentos	20
ii) Organismos	20
7.1.2. Pretratamiento	21
i) Sedimentos	21
ii) Organismos	21
7.1.3. Tratamiento	23
i) Sedimentos	23
ii) Organismos	24
7.1.4. Cromatografía de Gases	26
7.1.5. Cálculos	27
7.1.6. Análisis Estadístico	27
7.1.7. Elaboración de Mapas de distribución	28
7.2. Carbono Orgánico Particulado	30
7.2.1. Pretratamiento	30
7.2.2. Determinación de la alícuota	30
7.2.3. Tratamiento	30
7.2.4. Cálculos	31
7.2.5. Análisis Estadístico	32
7.2.6. Elaboración de Mapas de distribución	32
8. Resultados y Discusión	34
8.1. Plaguicidas organoclorados	34
8.1.1. Sedimentos	34
8.1.1.1. Noviembre, 2001	34
8.1.1.2. Abril, 2002	41
8.1.1.3. Julio, 2002	46
8.1.1.4. Análisis Estadístico por colecta	53
8.1.2. Organismos	54
8.1.2.1. Abril, 2002	54
8.1.2.2. Julio, 2002	59
8.1.2.3. Análisis estadístico por colecta	67

	págs.
8.2. Carbono orgánico particulado	68
8.3. Correlación entre la concentración de los plaguicidas organoclorados y el carbono orgánico en sedimentos superficiales.	74
8.3.1. Noviembre, 2001	74
8.3.2. Abril, 2002	76
8.3.3. Julio, 2002	78
8.4. Correlación entre la concentración de los plaguicidas organoclorados y el tipo de sedimento	79
9. Discusión General	80
10. Conclusiones	82
11. Referencias	85
12. Anexos	95
Anexo 1	95
Anexo 2	96
Anexo 2a	96
Anexo 2b	110
Anexo 2c	112
Anexo 2d	114
Anexo 3	115

Resumen

El presente trabajo se llevó a cabo en la cuenca lacustre de Metztitlán, Hgo., se realizaron tres colectas de sedimentos recientes en noviembre (2001), abril y julio (2002) y los organismos del género *Oreochromis sp* se evaluaron en los meses de abril y julio (2002). Los análisis se hicieron siguiendo la metodología propuesta por UNEP/IAEA (1986) para los sedimentos y por la UNEP/FAO/IOC/IAEA (1986) para los organismos acuáticos. Se identificaron y cuantificaron tres familias químicas de plaguicidas organoclorados en las dos matrices ambientales del lago, para determinar el posible riesgo existente para los consumidores habituales de los productos pesqueros, ya que la actividad pesquera del lugar está orientada a satisfacer el consumo local y en ocasiones el regional. Los principales compuestos clorados encontrados en sedimentos fueron el γ -HCH, δ -HCH, p,p'-DDT y el sulfato de endosulfán y para los organismos fueron: el δ -HCH, p,p'-DDE y p,p'-DDD; estos xenobióticos son provenientes de las zonas de cultivos aledañas al río y al lago, con un uso intensivo, transportados principalmente por las lluvias y las descargas fluviales hacia el cuerpo lacustre. Las concentraciones promedio de plaguicidas clorados en sedimentos recientes no rebasaron los límites establecidos en los criterios de calidad ambiental internacionales para provocar efectos nocivos en la biota bentónica de los sistemas dulceacuícolas, aunque de manera puntual el lindano (γ -HCH) registró niveles cercanos a dichos límites; en contraste, conforme a la normatividad nacional (NOM-027-SSA1-1993 y NOM-028-SSA1-1993), las tilapias del género *Oreochromis sp* no pueden ser consumidas por contener en sus tejidos este tipo de sustancias cloradas que están prohibidas por el CICOPLAFEST (1998), ya que se corre el riesgo de transferirlos al ser humano donde los daños son muy graves.

Abstract

The present work was carried out in the lacustrine basin of Metztitlan, Hgo., three sampling of recent sediments were realized in November (2001), April and July (2002) and the organisms of the genus *Oreochromis sp* were evaluated in April and July (2002). The analyses did following the methodology proposed by UNEP/IAEA (1986) for the sediments and for the UNEP/FAO/IOC/IAEA (1986) for the aquatic organisms. Three chemical families of organochlorine pesticides were identified and quantified in two environmental matrixes of the lake, to determine the possible existing risk for the habitual consumers of the fishing products, since the fishing local activity is orientated to satisfy the local consumption and in occasions the regional one. The principal compounds chlorinated found in sediments were: γ -HCH, δ -HCH, p, p '-DDT and Endosulfan sulphate and for the organisms they were: δ -HCH, p, p '-DDE and p, p '-DDD; these xenobiotics are originating from the bordering zones of cultivation to the river and to the lake, with an intensive use, transported principally by the rains and the fluvial discharges towards the lacustrine body. It is necessary to mention that statistical tests were realized to verify if there existed significant differences between the samplings, the compounds and the chemical families for both matrixes, significant differences being obtained only for the organisms in the certain compounds. The concentrations average of chlorinated pesticides in recent sediments did not exceed the limits established in the international criteria of environmental quality to provoke harmful effects in the benthic biota of the freshwater systems, though in a punctual way the lindane (γ -HCH) registered levels near to the above mentioned limits; in contrast, in accordance with the national legislation (NOM-027-SSA1-1993 and NOM-028-SSA1-1993), the tilapias of the genus *Oreochromis sp* cannot be consumed for containing in his tissues this type of chlorinated substances that are prohibited by the CICOPLAFEST (1998), since it represents the risk of transferring them to the human being where the damages are very serious.

LA MAESTRÍA EN BIOLOGÍA DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA PERTENECE AL PADRÓN DE POSGRADOS DE EXCELENCIA DEL CONACYT Y ADEMÁS CUENTA CON APOYO FINANCIERO DEL MISMO CONSEJO.

El jurado designado por la
División de Ciencias Biológicas y de la Salud
de la Unidad Iztapalapa aprobó la tesis que presentó

Hidrobiol. Laura María Fernández Bringas

El día 04 de Febrero del año de 2004.

Comité Tutorial

Tutoras:

M. en C. María Guadalupe Ponce Vélez _____

Dra. Laura Georgina Calva Benítez _____

Asesora:

Dra. Ana Laura Ibáñez Aguirre _____

Sinodal:

Dr. Alfonso Vázquez Botello _____

Todo pasa y todo queda,
pero lo nuestro es pasar,
pasar haciendo caminos,
caminos sobre la mar.

Caminante, son tus huellas el camino y nada más;
caminante, no hay camino, se hace camino al andar,
al andar se hace camino y al volver la vista atrás
se ve la senda que nunca se ha de volver a pisar.

Caminante no hay camino
sino estelas en la mar...

Antonio Machado Ruiz

DEDICATORIA

A mi hija Erika y a mi esposo Edmundo por su valioso tiempo, por su confianza, apoyo y ayuda en los momentos difíciles. ¡¡ El logro, es nuestro!!

A mis padres Mary y Noe quienes siempre me han dado amor, respeto, cariño, me han apoyado incondicionalmente y siempre han estado conmigo.

A mi hermano por que siempre me ha apoyado y aunque esté lejos, siempre estaremos juntos.

A las Familias Saldivar Bringas, Bringas Reyna y Miranda Blackmore por su apoyo y confianza.

A todos ellos por ser mi motivación para seguir luchando y ser cada día mejor intelectual y espiritualmente.

MUCHAS GRACIAS

LAURA M. FERNÁNDEZ BRINGAS

AGRADECIMIENTOS

Deseo manifestar mi más profundo agradecimiento a mis Directoras de tesis la M. en C. Ma. Guadalupe Ponce Vélez y a la Dra. Laura G. Calva Benítez por haber confiado en mí dirigiendo este trabajo, pero sobre todo por su invaluable apoyo, paciencia y amistad a lo largo de estos años.

Quiero agradecer a la Dra. Ana Laura Ibáñez por su apoyo y confianza para mi ingreso al Posgrado y sus comentarios en la revisión del manuscrito.

Al Dr. Alfonso V. Botello por las facilidades proporcionadas para llevar a cabo este trabajo de investigación en el Laboratorio de Contaminación Marina del Instituto Ciencias del Mar y Limnología, UNAM.

Expreso mi reconocimiento a los miembros externos del jurado Dr. Alfonso V. Botello y Dr. Gerardo Gold Bouchot por su asesoría, recomendaciones, acertadas críticas y consejos para el mejoramiento de esta contribución.

Agradezco al Dr. Isaías Hazarmabeth Salgado Ugarte sus enseñanzas, el compartir conmigo su experiencia estadística, explorando nuevos análisis y principalmente su respaldo para el desarrollo de esta investigación así como su gran amistad.

Al Dr. José Luis Arredondo Figueroa, Dr. Abel Senties, M. en C. José Luis García Calderón, Geol. Alberto Pérez Rojas, M. en C. Antonio Márquez y M en B. Exp. Antonio Rodríguez Canto por sus contribuciones, apoyo y amistad.

A las M. en C. Guadalupe Ponce Vélez y Claudia E. García Ruelas por su apoyo y asistencia en los análisis ambientales y de forma preponderante agradezco su calidez, armonía, consejos, amistad y sinceridad de siempre.

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todo el personal del Laboratorio de Contaminación Marina del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM, por su amistad y apoyo para lograr un ambiente de trabajo cordial y

dinámico sin el cual no es posible la realización de cualquier investigación.

Al Laboratorio de Oceanografía Física de la UNAM por haberme abierto sus puertas, pero en especial al Ing. Eric Márquez García, al M. en C. Ranulfo Rodríguez Sobreyra y al M. en C. Iván Penié Rodríguez por el asesoramiento y ayuda en la graficación de las matrices ambientales, así como su disposición y valiosa amistad.

Al Mat. Ignacio Palomar por su asesoría y apoyo en la impresión final del manuscrito además de su disposición y sincera amistad.

A los miembros del Comité de la Maestría por la confianza depositada al inicio de este proyecto (la Maestría), y en especial al Dr. Manuel Castillo por su apoyo en todo momento.

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a la Dra. Laura Georgina Calva Benítez y al Dr. Alfonso V. Botello por el apoyo financiero brindado para el desarrollo de esta investigación.

Agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca otorgada para la realización de mis estudios de Posgrado en la Universidad Autónoma Metropolitana unidad Iztapalapa.

A mi hija quiero agradecer todo el tiempo Erika J. Miranda Fernández y a mi esposo Edmundo C. Miranda por su apoyo, comprensión y ayuda en todo momento.

A mis amigos Marco, Ariadna, Claudia, Laura, Francisco, María Eugenia, Enrique, Eduardo, Sandra, Abel, Luis y Ángel por su apoyo, paciencia y su amistad incondicional.

A todos los que de alguna u otra manera contribuyeron en la realización y mejoramiento de esta tesis.

A TODOS MUCHAS GRACIAS.

LAURA M. FERNÁNDEZ BRINGAS

Evaluación de plaguicidas organoclorados en el sistema lacustre de Metztitlán, Hidalgo.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el incremento demográfico ha hecho necesario contar con mayores cantidades de alimentos, fomentando a su vez una mayor utilización de agroquímicos en los cultivos para la obtención de un buen rendimiento en las cosechas, recurriendo así, al uso masivo de plaguicidas. Esto ha ocasionado su distribución a escala global al ser transportados por aire y agua como compuestos persistentes y dañando el ambiente y a los organismos necesarios para mantener el equilibrio ecológico en los ecosistemas (Cremllyn, 1992; Granados y López, 1996; Li *et al.*, 2001). Finalmente, debido a su acumulación en los seres vivos como resultado de la alta absorción de algunos xenobióticos por tejidos grasos, lo que ocasiona deterioro en la salud humana (Trickleban *et al.*, 2002).

Se considera un plaguicida a: "cualquier sustancia o mezcla de sustancias que se destinan al control de cualquier plaga, incluidos los vectores que transmiten enfermedades humanas y de animales, las especies no deseadas que causen perjuicio o que interfieran con el mejor aprovechamiento de la producción agropecuaria y forestal (por ejemplo, las que causan daño durante el almacenamiento y transporte de los alimentos) de los bienes materiales, así como los que afectan el bienestar del hombre y de los animales" (Diario Oficial de la Federación, 1991; CICOPLAFEST, 1998).

En México, la presencia de plaguicidas organoclorados en el ambiente, los alimentos, y en el tejido humano, no ha sido considerado como un problema

prioritario por la escasa información del tema. En nuestro país no se ha restringido la producción, importación y el uso de algunos de estos plaguicidas, e incluso no se ha restringido el uso de algunos xenobióticos que son muy tóxicos (Albert, 1996).

La falta de información por parte de los gobernantes de nuestro país, se refleja en la toma de decisiones importantes respecto a la normatividad de dichos contaminantes, las decisiones deben tomarse y aplicarse con base en nuestras necesidades; donde los problemas de salud podrían ser el resultado de la producción masiva, el uso, y la disposición de éstos químicos (Albert, 1996).

Como una consecuencia de esta falta de información y del desconocimiento de los compuestos se ha ampliado de manera importante el uso de plaguicidas en México, después de que éstos han sido retirados de los mercados internacionales; en algunos casos incluso se han trasladado las fábricas a México para producir y usar éstos y otros químicos de mayor riesgo para la salud humana y los ecosistemas (Albert, 1996).

El paludismo y el mosquito que transmite dicho vector en México, fue un problema prioritario de salud pública, en las décadas de 1940 y 1950, era una de las principales causas de defunción con un promedio anual de 24,000 muertes y alrededor de 2.4 millones de enfermos (Cortinas de Nava *et al.*, 1996). Con base en un cuidadoso análisis epidemiológico de las condiciones de transmisión de la enfermedad, erradicándose través del rociado domiciliario con DDT, siendo rociadas 103.8 millones de viviendas y la cantidad de DDT rociadas fueron 69 545.4 ton entre 1957-1999. Cabe resaltar que las aplicaciones en los últimos años (1998 y 1999) se efectuaron de manera ocasional y que actualmente su aplicación

es prácticamente nula (Comisión para la Cooperación ambiental de América del Norte (CCA), 2000; CCA, 2001).

Para el estudio de los plaguicidas se pueden clasificar según la Asociación Mexicana de la Industria de Plaguicidas y Fertilizantes A.C. (AMIPFAC, 1985), de diferentes maneras por: su uso, su composición, su forma de aplicación, su modo de acción, su persistencia y su toxicidad.

Una ventaja de clasificar a los plaguicidas desde el punto de vista químico es que permite agruparlos con criterios sistemáticos que permitan la correlación entre su estructura, actividad, toxicidad y mecanismos de degradación (Albert, 1990).

Entre los más importantes se encuentran aquellos clasificados con base en su composición química como:

- **Organoclorados:** Son sintéticos y se caracterizan por poseer estructuras hidrocarbonadas unidas a átomos de cloro. Las estructuras varían de ciclodiénicas, alicíclicas y aromáticas; poseen gran estabilidad y una gran afinidad por los tejidos grasos y son bioacumulables en las cadenas tróficas. Algunos ejemplos son: diclorodifeniltricloroetano (DDT), Endrín, Dieldrín, Toxafeno, Lindano (γ -HCH) y Heptacloro (Nhan *et al.*, 2001; Tricklebank *et al.*, 2002).
- **Organofosforados:** Son sintetizados de los derivados del ácido fosfórico. Los sustituyentes que presentan son grupos alquil, alcoxi, grupos amida y átomos de azufre. Son compuestos que se degradan fácilmente, además de ser solubles al agua. Algunos ejemplos son: Malation, Paration, Dipterex, Dibrón.

- **Carbámicos:** Son sintéticos, su precursor es la fisostigmina, es un alcaloide producido por *Physostigma venenosum*. Estos son ésteres carbónicos N-metilados y N,N' dimetilados de numerosos enlaces y fenoles heterocíclicos. Dependiendo de los sustituyentes que posean, se clasifican en insecticidas, herbicidas, fungicidas, nematicidas o molusquicidas.

Los plaguicidas organoclorados son insecticidas muy estables químicamente por tanto, muy persistentes ambientalmente, altamente afines a tejidos grasos, con un espectro amplio de difusión y un tiempo de vida media mayor a 10 años; por lo que sus impactos a largo plazo en los sistemas, no pueden ser determinados fácilmente (Brown, 1978; Li *et al.*, 2001).

Las características físicas y químicas de los plaguicidas son importantes para determinar su actividad y efectos sobre los diferentes ecosistemas, lo que permite prevenir ó resolver los problemas generados por este tipo de contaminación. De acuerdo a su estructura química, los plaguicidas organoclorados se pueden clasificar en tres grupos:

- A) Hidrocarburos alicíclicos: α -HCH (hexaclorociclohexano), β -HCH, γ -HCH y δ -HCH (Fig. 1).
- B) Hidrocarburos aromáticos: p,p'-DDT y sus metabolitos p,p'-DDE (diclorodifenildicloroetileno) y p,p'-DDD(diclorodifenildicloretano) (Fig. 2).
- C) Hidrocarburos ciclodiénicos: aldrín, dieldrín, endrín, heptacloro, epóxido de heptacloro, endosulfán I , endosulfán II y sulfato de endosulfán (Fig. 3).

HIDROCARBUROS ALICÍCLICOS

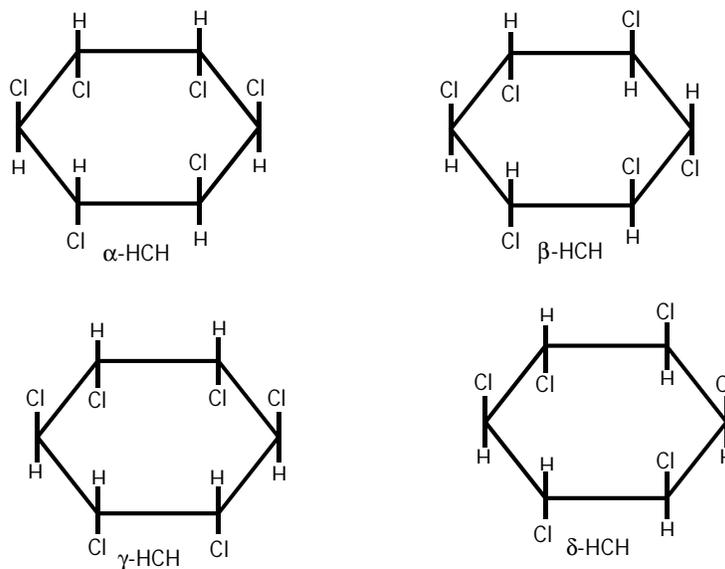


Figura 1. Estructuras químicas de plaguicidas organoclorados, familia de los alicíclicos.

HIDROCARBUROS AROMÁTICOS

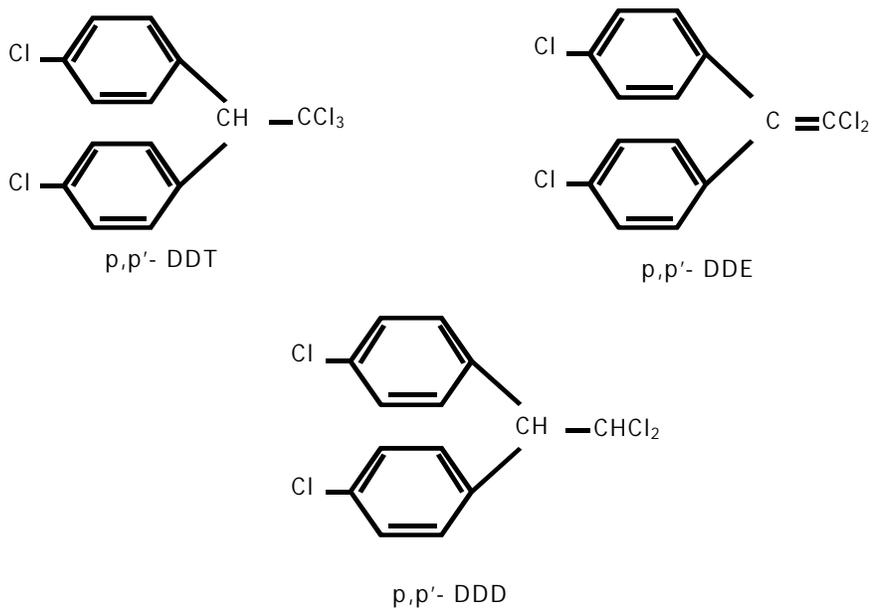
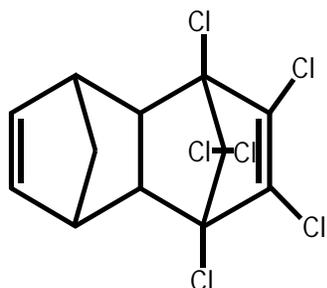
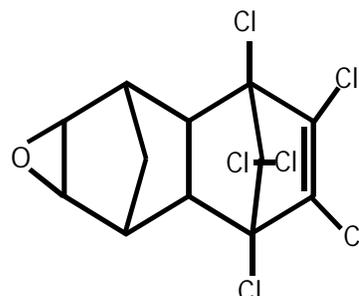


Figura 2. Estructuras químicas de plaguicidas organoclorados, familia de los aromáticos.

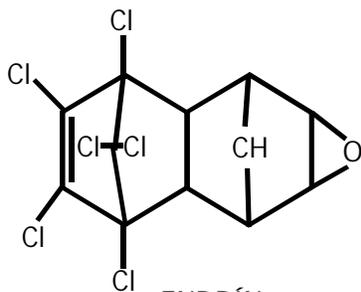
HIDROCARBUROS CICLODIÉNICOS



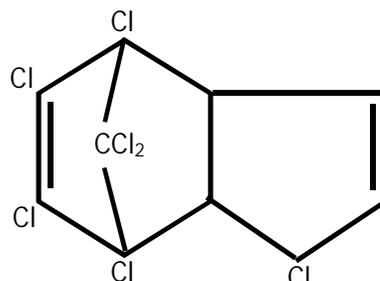
ALDRÍN



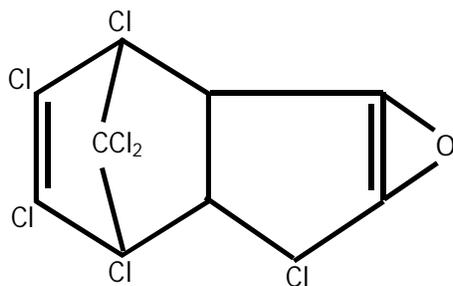
DIELDRÍN



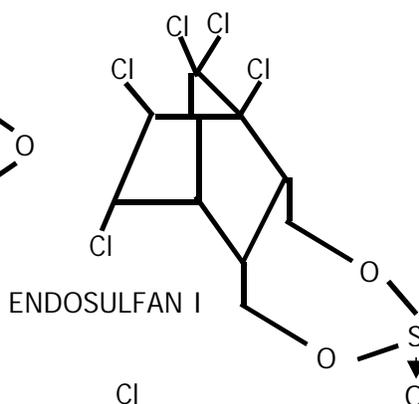
ENDRÍN



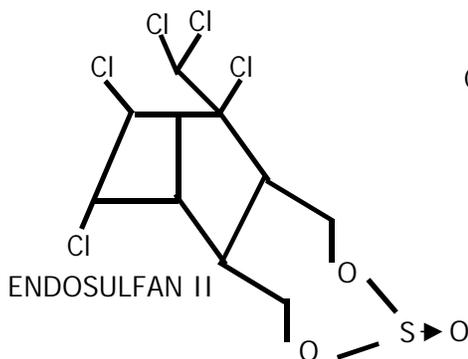
HEPTACLORO



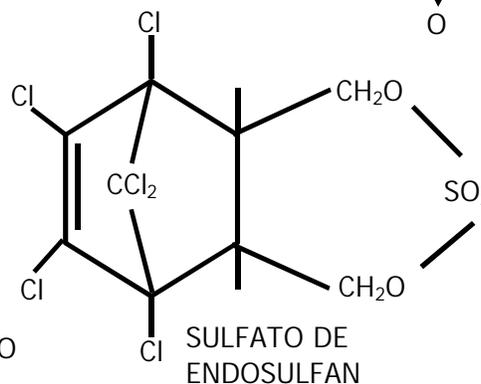
HEPÓXIDO DE
HEPTACLORO



ENDOSULFAN I



ENDOSULFAN II



SULFATO DE
ENDOSULFAN

Figura 3. Estructuras químicas de plaguicidas organoclorados, familia de los ciclodiénicos.

La persistencia y toxicidad de los plaguicidas organoclorados depende de las características del ambiente tales como el tamaño, tipo de grano y cantidad de materia orgánica suspendida o en sedimentos, ya que afectan su actividad biológica.

Por otra parte, de acuerdo a su permanencia en los sistemas los plaguicidas pueden ser clasificados de la siguiente manera (AMIPFAC, 1985):

- **Moderadamente persistentes:** Son aquellos cuya actividad se reduce a 18 meses como máximo en condiciones ambientales ordinarias, éstos son la mayoría de los herbicidas.
- **Persistentes:** Son los que su actividad se pierde tan lentamente que llegan a permanecer de 1 a 20 años en desaparecer, algunos son el DDT, el Aldrín y el Toxafeno.
- **Permanentes:** Son los que por su actividad permanece más de 20 años. Las afirmaciones de acuerdo a su persistencia son imprecisas, ya que éste depende tanto de la forma de aplicación, de las dosis utilizadas, la frecuencia con que se usan, la composición del suelo, la temperatura, la exposición a la luz solar y la presencia de lluvias, por ejemplo los compuestos de mercurio, arsénico y plomo.

Una vez que los contaminantes son liberados al ambiente pueden entrar a los diversos ecosistemas, desde orígenes y fuentes diversas, tales como los escurrimientos agrícolas, aguas subterráneas, por fuentes deposicionales (sedimentos), aportes antropogénicos, atmosféricos, descargas industriales y plantas de tratamiento (Hodges, 1973; Nhan *et al.*, 2001; Manirakiza *et al.*, 2002).

Los ecosistemas marinos y los terrestres con altas temperaturas y precipitaciones presentan el mayor índice de dispersión de este tipo de contaminantes (Kilikidis *et al.*, 1992; Sanpera *et al.*, 2002). En los ambientes acuáticos la concentración, transporte, transformación y destino de los contaminantes son controlados principalmente por el pH, profundidad, partículas suspendidas, tamaño y tipo de grano de las partículas, cantidad de carbono orgánico, solubilidad en el agua, fotólisis, volatilización, presión de vapor, coeficiente de partición octanol-agua, además de las condiciones meteorológicas del área (Rosales, *et al.*, 1979a; Hassal, 1990). Por lo que los organismos acuáticos pueden estar expuestos a contaminantes presentes en el agua, sedimentos o partículas alimenticias. Estas rutas de exposición pueden afectar además factores cinéticos, como la absorción, distribución, biotransformación y excreción en los seres vivos (Rand y Petrocelli, 1995).

En los ambientes acuáticos los contaminantes hidrofílicos son asimilados más frecuentemente por los individuos que los hidrofóbicos que están estrechamente adsorbidos por partículas suspendidas o materia orgánica, aunque los compuestos hidrofóbicos con baja solubilidad en agua y alta solubilidad en lípidos son mayormente afines a tejidos grasos acumulándose y magnificándose a través del consumo de materia orgánica que los haya acumulado previamente (Nhan *et al.*, 2001). Todas las especies difieren en su susceptibilidad a los contaminantes, debido a diferencias en accesibilidad y factores internos como tasas y patrones de metabolismo, frecuencia de ingestión y excreción, además de factores genéticos que pueden sustancialmente afectar esta susceptibilidad. Los factores dietéticos también influyen la toxicidad porque producen cambios en la composición del cuerpo, funciones bioquímicas y fisiológicas (Rand y Petrocelli, 1995).

Es hasta hace poco tiempo, que el hombre ha empezado a preocuparse por las graves consecuencias que el uso desmedido y sin control de estas sustancias químicas está ejerciendo sobre él; y también cuando se ha optado por racionalizar y controlar el uso de estos compuestos, para evitar el avance de este tipo de contaminación (Sanpera *et al.*, 2002).

Respecto a los efectos de los plaguicidas organoclorados una vez dentro de los ecosistemas pueden afectar en forma destacada el desarrollo de los organismos e inclusive la salud humana a través del consumo directo de organismos que estuvieron expuestos a estos compuestos. Algunos plaguicidas organoclorados son particularmente tóxicos y sus efectos sobre la biota pueden ser letales y subletales ya que pueden llegar a afectar los procesos biológicos como lo son las tasas de crecimiento, alteraciones en la fase de reproducción y crecimiento además de provocar la muerte de los organismos (Espina y Vanegas, 1996), y muestran una correlación directa de la concentración disponible para ingesta y la concentración bioacumulada (Basturk *et al.*, 1980).

En peces, el grado de acumulación tejido de machos es proporcional a la edad del animal (Tricklebank *et al.*, 2002) y el nivel trófico del mismo (Manirakiza *et al.*, 2002). La parte que más afectan los plaguicidas es la fase de la reproducción, por ejemplo el DDT, DDE y DDD alteran el tiempo en el que el saco vitelino es absorbido, además de que otros tipos de organoclorados dañan diferentes órganos vitales como riñón, cerebro, músculos, gónadas, intestinos y branquias (Jonson y Toledo, 1993). Se han encontrado en peces en cautiverio de Venezuela tumores benignos y malignos, necrosis en hígado y anomalías en el esqueleto, por la exposición de los organismos a este tipo de compuestos (Urdaneta *et al.*, 1995).

De manera general, y partiendo de que dichos xenobióticos son altamente persistentes y muy tóxicos, es necesario agregar que en las aves los efectos se presentan desde la fase de la reproducción, siendo el p,p'-DDE el compuesto culpable del adelgazamiento del cascarón del huevo y consecuentemente el organismo muere (Tardiff, 1992). Además de que la Agencia Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer ha comprobado que el DDT, clordano y lindano son causantes de tumores en mamíferos como los ratones (IARC, 2002).

En el mismo sentido, los efectos en el hombre varían de acuerdo al tipo de exposición y duración (Calva y Torres, 1998). A finales de la década de los 90's se han realizado estudios epidemiológicos sobre la relación del cáncer con plaguicidas y se ha comprobado que los herbicidas e insecticidas organoclorados son los causantes del sarcoma del tejido suave, linfoma maligno (Non-Hodgkin's) y leucemia; además de diversos tipos de cáncer en pulmón y seno (Jand *et al.*, 1997).

Una vez que los plaguicidas organoclorados son incorporados en el organismo se almacenan en el tejido adiposo donde suelen estar inactivos, cuando el tejido adiposo es removido de manera natural por el metabolismo, dichos compuestos son liberados, pasando al torrente sanguíneo, si las concentraciones de estos compuestos son muy altas se pueden producir efectos tóxicos para el hombre. Principalmente el DDT y el lindano provocan reacciones cutáneas severas y cloracné; asimismo tienen efectos neurológicos que abarcan lesiones del sistema nervioso central (OMS, 1992).

El endosulfán altera las concentraciones de sodio y potasio, además de que disminuye los niveles de calcio y magnesio en el plasma sanguíneo del hombre (Navqui y Vaishnavi, 1993). El HCH es causante de la enfermedad llamada

porfirina; mientras que el DDT y sus metabolitos el p,p'-DDE y el p,p'-DDD son los causantes de desequilibrios estrogénicos en mujeres embarazadas, lo que provoca abortos (Nasir *et al.*, 1998). El heptacloro tiende a aumentar el riesgo de presentar leucemia, trastornos en el hígado, así como el producir nacimientos prematuros y niños con bajo peso al nacer, de igual forma, se ha reportado la transferencia de dichos compuestos de madre a hijos a través de la leche materna, la placenta y el cordón umbilical (Nasir *et al.*, 1998).

Conociendo el riesgo que representa el uso inadecuado de la presencia de plaguicidas se debe proponer la aplicación correcta de normas nacionales para su uso y control, manteniendo los límites máximos permisibles de tolerancias de residuos y promover la investigación sobre nuevos plaguicidas que no resulten perjudiciales al medio. Del mismo modo, intensificar los estudios sobre los métodos de control biológico de plagas con el fin de mantener un equilibrio ecológico satisfactorio (Albert, 1996).

Con base en todo lo mencionado anteriormente, se identificaron y cuantificaron la presencia de plaguicidas organoclorados en sedimentos recientes y peces comerciales (*Oreochromis sp*), así como la cantidad de carbono orgánico particulado en el lago de Metztlán, Hgo., donde se lleva a cabo la acuicultura, ya que en las zonas aledañas se practica la agricultura de manera intensiva (SEMARNAP, 1999), y para obtener mejores rendimientos se rocían grandes cantidades de plaguicidas y fertilizantes; dichos compuestos pueden almacenarse y estar biodisponibles en el ecosistema.

2. ANTECEDENTES

La región de La Vega de Metztitlán se localiza en la parte central del Estado de Hidalgo, a 88 km de la capital del Estado y a 183 km de la Ciudad de México, correspondiendo al Municipio de Metztitlán, cuya superficie es de 756 km² (Rovirosa, 1973).

Similar a otras localidades de dicho Estado, el municipio de Metztitlán tiene como base económica la agricultura, enfocada inicialmente al autoconsumo y la venta al mayoreo de los productos sin mayores procesamientos (SEMARNAP, 1999).

El sistema de producción comercial se desarrolla en la Vega de Metztitlán, en la zona de influencia, donde trabajan los habitantes de Atzolcintla, Pie de la Cuesta, San Cristóbal y Metznoztla. Los recursos naturales y la infraestructura han hecho de este Valle agrícola uno de los más importantes a nivel estatal. Entre los recursos que se han conjugado para que esta zona sea muy productiva se pueden citar la alta fertilidad de los suelos y la disponibilidad de agua por la construcción en 1953 del distrito de riego de Metztitlán. A su vez, se cuenta con vías de comunicación internas entre las que destacan carreteras, veredas y brechas entre los poblados y externas que enlazan a la región con la carretera Pachuca-Tampico, lo que permite la venta y comercialización de alimentos con la Ciudad de México (SEMARNAP, 1999).

Sobre los antecedentes de diversos estudios desarrollados en Valle de Metztitlán se cuenta con el trabajo de la SEMARNAP (1999), donde se realizó un análisis detallado de la barranca de Metztitlán, en el cual se consigna la importancia del sistema debido a la riqueza de especies presentes y a su grado de endemismo,

razón por la cual, en el año 2000 se decretó como Reserva de la Biosfera “Barranca de Metztitlán”.

Para esta área en particular se cuenta con un trabajo sobre el análisis de las pesquerías de tilapia (Ibáñez, en prensa) y un estudio sobre el zooplancton en el cual se destaca la ampliación del ámbito de *Leptodiptomus novamexicanus*, grupo Calanoide (Álvarez-Silva y González-Ortiz, 2000; Álvarez-Silva y Miranda-Arce, 2000). Por otro lado, se realizó una investigación sobre el crecimiento de la tilapia en sistemas de cultivo (Hernández-Avilés *et al.*, 2000) además, de una caracterización del lago de todo el sistema lacustre de Metztitlán (Ibáñez *et al.*, 2002).

Recientemente, se reportó un estudio sobre la morfometría y caracterización de sedimentos superficiales del lago (Pérez-Rojas *et al.*, 2002), de igual manera se realizó un trabajo sobre el macrobentos donde se identificaron principalmente 4 géneros *Procladius (Holotanypus)*, *Tanypus*, *Chironomus*, *Cypris*, y 2 especies *Elobdella elongata* y *Lombiculus variegatus*, todos ellos con baja abundancia lo cual es explicado por la utilización de plaguicidas y exceso de materia orgánica acarreada al lugar por las lluvias (Juárez e Ibáñez, 2003).

Ahora bien, en México, los trabajos reportados sobre plaguicidas en lagos son muy escasos; uno de ellos es el de Calderón-Villagómez *et al.*, (2001) en el cual se identificaron y cuantificaron plaguicidas organoclorados en sedimentos, peces (*Dorosoma petenense*) y gasterópodos (*Pomacea patula catemacensis*), del lago de Catemaco Ver., registrando que el DDT y el dieldrín no presentan riesgo para la salud humana, mientras que los niveles de α -HCH se reportan cercanos a los límites permitidos por la IDA (Ingestión Diaria Admitida) para peces y mariscos.

Existen investigaciones nacionales sobre plaguicidas organoclorados en ambientes marinos y salobres. Se tienen registrados estudios en sistemas lagunares costeros del Golfo de México, como los llevados a cabo por Rosales *et al.* (1979b) donde determinaron niveles altos de insecticidas organoclorados en las lagunas costeras del Golfo de México, en el cual se reportan el DDT y sus derivados, dieldrín, clordano, endosulfán y BPCs en bivalvos, siendo el DDT y el dieldrín los compuestos con mayores concentraciones en organismos presentes en las zonas que están en contacto directo con cultivos. Mientras que en el estudio de Rosales *et al.* (1985) se analizaron los sedimentos de dos diferentes lagunas del Norte de México; se reportan las más altas concentraciones para los derivados del DDT en sedimentos para Huizache-Caimanero y Yavaros en el Estado de Sinaloa.

Díaz-González (1992) reportó concentraciones de plaguicidas organoclorados en sedimentos de la Laguna Bojórquez, Quintana Roo de 58.46 ngg^{-1} , cuyo valor es muy alto comparado con reportes presentados para la zona del Golfo de México. De igual forma, están los estudios sobre plaguicidas organoclorados en sedimentos de las Lagunas de Carmen-Machona, Tabasco y Alvarado en Veracruz con valores promedio de 17.3 ngg^{-1} y 20 ngg^{-1} , respectivamente (Botello *et al.*, 1994).

Gold-Bouchot *et al.* (1993) determinaron las concentraciones promedio de plaguicidas organoclorados en la laguna de Términos, Camp. para sedimentos cuyo intervalo fue de $0.27\text{-}17.67 \text{ ngg}^{-1}$, y en el camarón (*P. setiferus*) dichos compuestos no fueron detectados para esta matriz ($<0.01 \text{ ngg}^{-1}$); de igual manera, en el sistema fluvial del Río Palizada, Camp. se detectó una concentración promedio de 2.37 ngg^{-1} en el sedimento de esta zona costera (Gold-Bouchot *et al.*, 1995).

En las Costas del Pacífico, específicamente en el Estado de Chiapas donde su principal fuente de trabajo es la agricultura, Rueda *et al.* (1997) determinaron concentraciones de plaguicidas organoclorados en sedimentos, en el sistema Lagunar de Carretas-Pereyra de 71.59 a 157 ngg⁻¹, y de 25.77 a 72.07 ngg⁻¹ en el sistema de Chantuto-Panzacola. También obtuvieron en camarones, que tienen una gran importancia comercial para el lugar, obteniendo valores promedio de 21.42 ngg⁻¹ en Chantuto-Panzacola y para Carretas-Pereyra el promedio fue de 8.72 ngg⁻¹; asimismo, se reportó en el “Pargo Prieto” de Carretas-Pereyra un valor de 93.9 ngg⁻¹. Cabe mencionar que las concentraciones de este trabajo están por debajo de los límites internacionales establecidos para el consumo humano (US-FDA, 1984; Mugachia *et al.*, 1992).

Gutiérrez *et al.* (1998) realizaron recientemente un trabajo en las costas de Baja California donde encontraron plaguicidas organoclorados, particularmente lindano, clordano y p,p'-DDE, en concentraciones totales de 0.2 a 4.5 ngg⁻¹.

Osuna-Flores y Riva (2002) encontraron en la bahía de Ohuira, Sin., altas concentraciones en el agua superficial de endosulfán, lindano y epóxido de heptacloro seguido por el DDT, aldrín, p,p'-DDE y heptacloro. De igual forma, para sedimentos reportaron que el endosulfán y el heptacloro seguidos por el p,p'-DDE, el clordano y el lindano tuvieron los valores más altos; mientras que para el camarón (*Litopenaeus* sp.) el compuesto más abundante fue el endosulfán.

3. JUSTIFICACIÓN

Como se mencionó anteriormente la agricultura y la pesca son las principales fuentes de ingresos para la población que habita en el Valle de Metztitlán, de tal manera es urgente llevar a cabo los estudios sobre agroquímicos del lugar. Se

esperaría que en las zonas de mayor actividad agrícola los niveles presentes de plaguicidas en la cuenca sean elevados ya que éstos son acarreados por escurrimientos, y por los vientos hacia el centro del lago, afectándolo fuertemente ya que es un lago endorréico. Por lo tanto, en el presente trabajo se realizó un análisis detallado de las concentraciones y posibles fuentes de los plaguicidas organoclorados en sedimentos y peces del lago. Considerando las posibles fluctuaciones estacionales y geográficas que pudieran registrarse debido a la influencia climática, así como a la dinámica particular de microambientes, se analizará si las concentraciones de estos xenobióticos varían de acuerdo a la temporada de colecta (lluvias o secas), ya que se espera que las concentraciones aumenten en época de lluvias, donde dichos contaminantes tienen mayor probabilidad de ser acarreados al lugar.

Además de ser un estudio de suma importancia para la zona de Metztitlán, cabe mencionar que a nivel nacional, hay muy pocos trabajos sobre plaguicidas organoclorados en lagos ya que la mayoría de los estudios han sido realizados en ambientes costeros y marinos.

4. ÁREA DE ESTUDIO

El lago de Metztitlán es una cuenca endorréica que tiene una superficie de 3 230 km² (Fig. 4), posee una peculiaridad ya que el espejo de agua es muy cambiante año tras año, esta fluctuación es debida al avance de la frontera agrícola, por lo que la superficie promedio del lago ha quedado reducida a 640 ha, cuya profundidad promedio es de 3 m, la visibilidad es de apenas 25 cm (Ibáñez *et al.*, 2002). El clima predominante es semiseco templado, con una temperatura y precipitación media anual de 20.2°C y 437.1 mm respectivamente, siendo los

meses de mayor precipitación septiembre, junio y julio, presentándose una marcada estacionalidad entre las épocas del año (Ibáñez y García, 1999).

Se localiza a 20° 42' de latitud Norte y a 98° 52' de longitud Oeste a 1,264 m snm, en la parte central del estado de Hidalgo, tuvo su origen por un gran hundimiento de un bloque de roca calcárea que formaba parte de la cadena montañosa de la Sierra Madre Oriental, además de otros grandes derrumbes, bloqueando por completo el cauce del río Grande o Metztitlán actualmente llamado río Venados, el cual inicia en un punto denominado Venados a 20° 28' de latitud Norte y a 98° 52' de longitud Oeste a una altura de 1,329 m snm (Cantú, 1953; Pérez-Rojas *et al.*, 2002). La Vega de Metztitlán es un ambiente asociado a este río donde la superficie agrícola es de 5,000 ha de gran fertilidad, dando a esta zona importancia para la región, en contraste con las vertientes que rodean a dicho valle. Las barrancas adyacentes a dicha vega se encuentran revestidas de vegetación variada, en la que predominan especies crasicuales y espinosas (Sánchez-Mejorada, 1953).

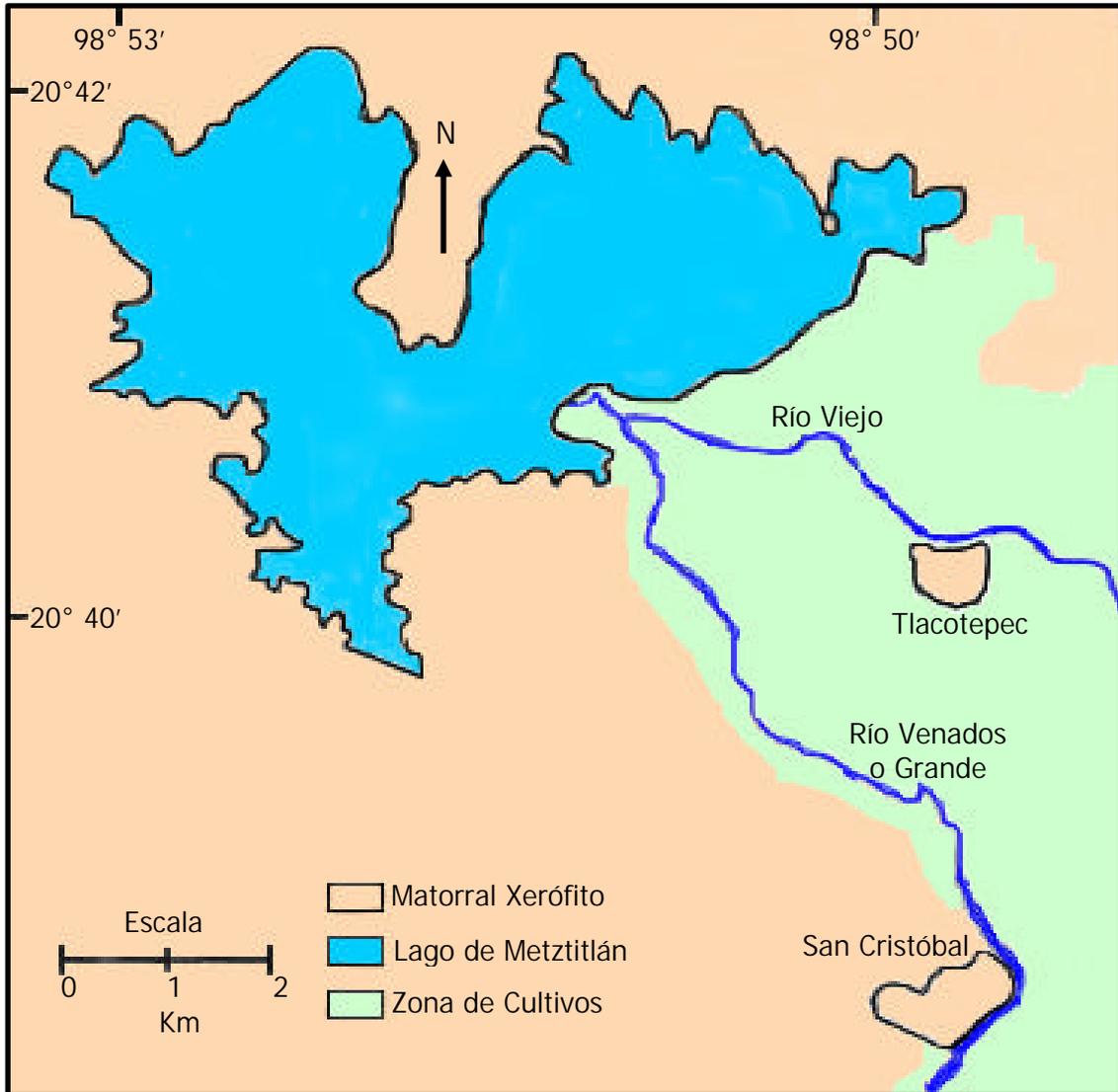


Figura 4. Localización del área de estudio

Actualmente se ha realizado un trabajo sobre la granulometría de los sedimentos superficiales del lago, donde se reporta que hay dos grupos predominantes que van de arcillas-limosas frente a la desembocadura del afluente principal y en la margen oriental y occidental del lago, hasta las arcillas francas en las zonas más profundas. El contenido de materia orgánica en dichos sedimentos se ha encontrado en una proporción elevada con valores que fluctúan de 6 a 15% (Pérez-Rojas *et al.*, 2002).

5. HIPÓTESIS

Las concentraciones de plaguicidas organoclorados presentes en el lago de Metztitlán, Hgo., varían de acuerdo a la temporalidad ya que todo el año, están siendo utilizados estos agroquímicos en la zona pero, únicamente son lavados al sistema por las lluvias. Se espera obtener mayores concentraciones de estos xenobióticos en sedimentos colectados durante la temporada de lluvias por los posibles aportes de las zonas agropecuarias aledañas. De igual manera, los niveles de plaguicidas organoclorados en peces deben ser mayores durante los periodos de mayor acumulación de lípidos.

6. OBJETIVOS:

6.1. OBJETIVO GENERAL

- Evaluar los niveles de plaguicidas organoclorados en sedimentos y peces del lago de Metztitlán, Hidalgo.

6.2. OBJETIVOS PARTICULARES

- Identificar los plaguicidas organoclorados y determinar sus concentraciones individuales en sedimentos recientes en el lago de Metztitlán, Hgo.
- Identificar los plaguicidas organoclorados y cuantificar sus concentraciones individuales en peces del género *Oreochromis* spp. en el lago de Metztitlán, Hgo.
- Relacionar los niveles de plaguicidas organoclorados en sedimentos con algunos parámetros como el carbono orgánico particulado y el tipo de sedimentos para poder evidenciar sitios de depósito específicos.
- Establecer el origen de los plaguicidas organoclorados encontrados y determinar el posible impacto ambiental que pudieran ocasionar.

7. METODOLOGÍA

7.1. PLAGUICIDAS ORGANOCLORADOS (PO)

7.1.1. COLECTA DE MATERIAL:

a) SEDIMENTOS:

Se realizaron 3 muestreos, dos de ellos fueron en tiempo de secas (noviembre del 2001 y abril del 2002) y uno más en temporada de lluvias (julio del 2002). La ubicación de las estaciones de colecta se muestra en la figura 5.

La toma de muestras se realizó con una draga van Veen, con la cual se extrajo el sedimento, éste fue vaciado con una espátula metálica a frascos de vidrio cerrados con tapa metálica y contratapa de papel aluminio, inmediatamente después se pusieron en una hielera donde se mantuvieron a 4°C, hasta su análisis en el laboratorio.

b) ORGANISMOS:

Se realizaron 2 muestreos, uno fue en tiempo de secas (abril del 2002) y uno más en temporada de lluvias (julio del 2002), donde se colectaron organismos del género *Oreochromis* para todo el lago, 12 organismos por temporada. Dichos organismos del género *Oreochromis* sp se capturaron con una red de cerco con una luz de malla de 3 ¼ pulgadas capturándose organismos de tallas comerciales que van de 15 – 20 cm de longitud total, los cuales se envolvieron en papel aluminio, se embolsaron y guardaron en una hielera donde se conservaron a 4°C hasta su análisis en el laboratorio.

Todo el material (espátula, frascos y tapas) que se utilizó en la colecta previamente se lavó con Extrán, se enjuagó perfectamente y se dejó escurrir; después se enjuagó con acetona. Se sometió a 200°C en una estufa de laboratorio durante 12 h, posteriormente se enjuagó con hexano.

7.1.2. PRETRATAMIENTO:

a) SEDIMENTOS:

Las muestras se secaron a temperatura ambiente (<40°C) en charolas de papel aluminio. Una vez secas se maceraron en un mortero de porcelana, posteriormente se tamizaron usando un tamiz metálico de luz de malla de 250 µm y se guardaron en frascos de vidrio para su posterior procesamiento.

b) ORGANISMOS:

Para el análisis de los peces se requirió extraer tejido muscular de los organismos, el cual se secó en una estufa a una temperatura de 40°C, a continuación se homogeneizó la muestra en un mortero y se guardó en papel aluminio para las determinaciones químicas posteriores.

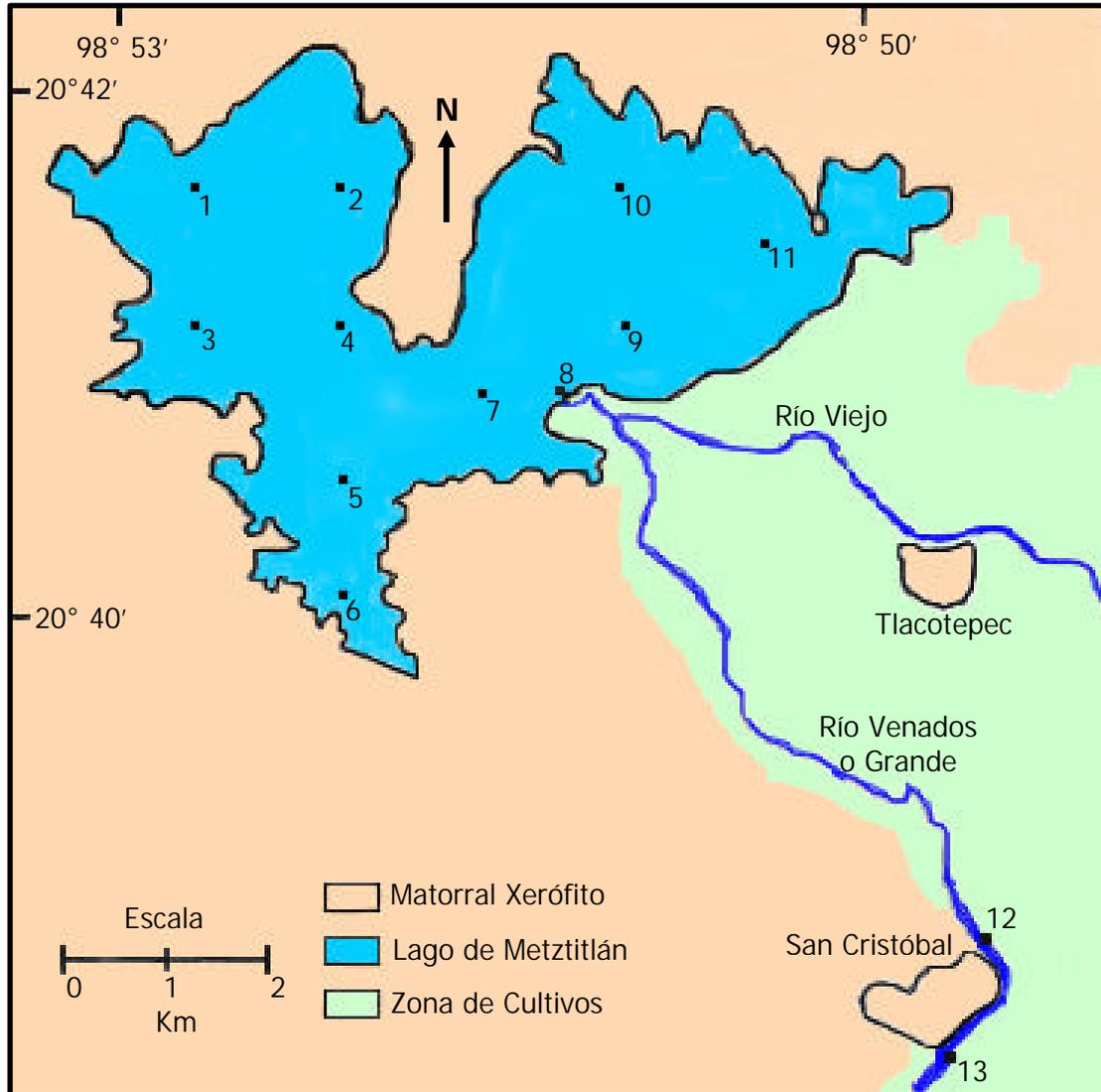


Figura 5. Localización de las estaciones de muestreo.

7.1.3. TRATAMIENTO:

a) SEDIMENTOS:

1. Una vez que se realizarón los pretratamientos se iniciaron los protocolos analíticos para cada matriz, los cuales se desglosan a continuación (Fig. 6).
2. Se pesaron 3 g de sedimento seco colocándose en papel filtro previamente lavado con acetona y hexano durante 8 h.
3. La extracción se realizó en equipo Soxhlet con un matraz de balón de 500 mL y 250 mL de hexano por 8 h.
4. El extracto se concentró en un rotoevaporador hasta aproximadamente 10 mL (la temperatura del baño no debe exceder los 30°C y la presión de la bomba de vacío debe estar en 40 psi), y con una suave corriente de nitrógeno ultrapuro, se redujo aproximadamente hasta 1 mL. Se registró el volumen.

LIMPIEZA DEL EXTRACTO POR CROMATOGRAFÍA EN COLUMNA:

5. Se utilizaron columnas de vidrio de 2 cm de diámetro interno x 30 cm de longitud. Se empacaron con fibra de vidrio, 13 g de Florisil parcialmente desactivado al 1.25% en una mezcla de hexano y 0.5 g de sulfato de sodio anhidro, luego se lavó con 60 mL de hexano.
6. El extracto fue aplicado en el tope de la columna y se eluyó con 60 mL de hexano, ésta fue la fracción 1 (contiene los BPCs); después se eluyó con 50 mL de

hexano:eter etílico (9:1), seguido de 20 mL de hexano:eter etílico (8:2), esta fue la fracción 2 (con los plaguicidas organoclorados).

7. Las dos fracciones fueron concentradas a volúmenes apropiados, se trasvasaron a tubos de centrifuga graduados con tapa, se registró el volumen y se inyectó en el cromatógrafo de gases con columna capilar y detector de captura de electrones (DCE).

8. De igual forma que el extracto de la muestra, se procesó en la columna de purificación 1mL de la mezcla del estándar con el fin de cuantificar el porcentaje de recuperación de los analitos, así como un blanco de reactivos por cada 5 muestras problema, con el propósito de evaluar la calidad del análisis.

El florisil se activó a 700°C por 12 h, después se disminuyó la temperatura a 190°C por 2 h y finalmente se pasó a un desecador hasta que alcanzó la temperatura ambiente. Se desactivó al 1.25% y se utilizó un día posterior (UNEP/IAEA, 1982).

b) ORGANISMOS:

1. Una vez hecho el pretratamiento se realizaron los protocolos analíticos para cada matriz, los cuales se desglosan a continuación (Fig. 6).

2. Se pesaron 3 g de la muestra seca y colocándose en papel filtro previamente lavado con acetona y hexano durante 8 h.

3. Se extrajo en equipo Soxhlet en un matraz de balón de 500 mL y 200 mL de hexano por 8 h (de 4 a 5 ciclos por hora).

4. El extracto se concentró en un rotoevaporador hasta aproximadamente 10 mL (la temperatura del baño no debe exceder los 30°C y la presión de la bomba de vacío debe estar en 40 psi).

5. El extracto concentrado se pasó a tubos para centrífuga y se agregó 1 mL de H₂SO₄ ; fue centrifugado por 5 min con la finalidad de hidrolizar los lípidos. Cuando se presentó turbidez, se agregó 1 mL más de H₂SO₄ y se centrifugó nuevamente. Con ayuda de una pipeta Pasteur se separó el extracto, colocándolo en un matraz redondo de 50 mL.

LIMPIZA DEL EXTRACTO POR CROMATOGRAFÍA EN COLUMNA:

6. Se utilizaron columnas de vidrio de 2 cm de diámetro interno x 30 cm de longitud. Se empacaron con fibra de vidrio, 13 g de Florisil parcialmente desactivado al 1.25% en una mezcla de hexano y 0.5 cm de sulfato de sodio anhidro, luego se lavó con 60 mL de hexano.

7. Para la fracción 1 el extracto fue aplicado en el tope de la columna y se eluyó con 15 mL de hexano (contiene los BPCs), después para la fracción 2 se eluyó con 15 mL de hexano:éter etílico (75:25), esta es la fracción que contiene los plaguicidas organoclorados.

8. Las dos fracciones se concentraron a volúmenes apropiados, se trasvasaron a tubos de centrífuga graduados con tapa y se inyectaron al cromatógrafo de gases con columna capilar y detector de captura de electrones (DCE).

9. De igual forma que el extracto de la muestra, se procesó en la columna de purificación 1mL de la mezcla de estándares con el fin de cuantificar el porcentaje

de recuperación de los analitos, así como un blanco de reactivos por cada 5 muestras problema, con el propósito de evaluar la calidad del análisis.

El florisil se activó a 700°C por 12 h, después se disminuyó la temperatura a 190°C por 2 h y finalmente se pasó a un desecador hasta que alcanzó la temperatura ambiente. Se desactivó al 1.25% y se utilizó un día posterior (UNEP/FAO/IAEA/IOC 1986).

7.1.4. CROMATOGRAFÍA DE GASES:

El análisis de la fracción 2 que contuvieron los plaguicidas organoclorados se realizó con un cromatógrafo de gases marca Hewlett Packard modelo 5890 serie II, equipado con un detector de captura de electrones (^{63}Ni) y columna capilar de sílice fundida de 30 m de longitud por 0.25 mm de diámetro interno y un recubrimiento de 0.25 μm de fenil-metil-silicón al 5%; como gas acarreador se empleó el helio con un flujo de 1 mL/min, la temperatura del horno se programó de 90°C a 300°C con un incremento de 8°C/min, la temperatura del inyector a 260°C y la del detector a 320°C. Se empleó una mezcla estándar de referencia conteniendo 16 analitos (Chem. Service, Inc.): Alicíclicos: α -HCH, β -HCH, γ -HCH y δ -HCH; aromáticos: p,p'-DDE, p,p'-DDT y p,p'-DDD; ciclodiénicos: aldrín, dieldrín, endrín, heptacloro, epóxido de heptacloro, endosulfán I , II y sulfato de endosulfán.

7.1.5. CÁLCULOS:

La cuantificación de los plaguicidas organoclorados se realizó mediante el método del estándar externo, utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Concentración (ngg}^{-1}\text{)} = \left(\frac{A_m}{A_e} \right) * \left(\frac{V_e}{V_m} \right) * C_e * \left(\frac{V_{am}}{W_m} \right) * 1000$$

donde:

A_m = Área de la muestra

A_e = Área del estándar

V_e = Volumen del estándar inyectado (μL)

V_m = Volumen de la muestra inyectado (μL)

C_e = Concentración del estándar ($\mu\text{g/mL}$)

V_{am} = Volumen de aforo de la muestra (mL)

W_m = Peso de la muestra (g)

7.1.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO:

Las medidas de tendencia central y dispersión utilizadas para los datos de PO en sedimentos y peces fueron la media aritmética y el error estándar. Se realizó un análisis exploratorio de datos por medio de histogramas de frecuencias para determinar el tipo de pruebas a utilizar (paramétricas o no paramétricas), con el fin de evaluar si existían diferencias en la concentración total de PO entre las colectas,

así como entre cada familia química por temporada y entre cada uno de los compuestos analizados por época climática, utilizando para tal efecto los programas Intercooled Stata 7.0 (StataCorp, 2001a y b) y Excel (Office XP Profesional), a un nivel de significancia (α) de 0.05.

7.1.7. ELABORACIÓN DE MAPAS DE DISTRIBUCIÓN:

La elaboración de los mapas para la concentración total de PO en sedimentos y profundidades contra PO se recurrió al Surfer 8.0 (2001) cuyo método de interpolación fue el kriging, el cuál es un software específico que con una base de datos en EXCEL generó la distribución de los contaminantes sobre la zona real en estudio.

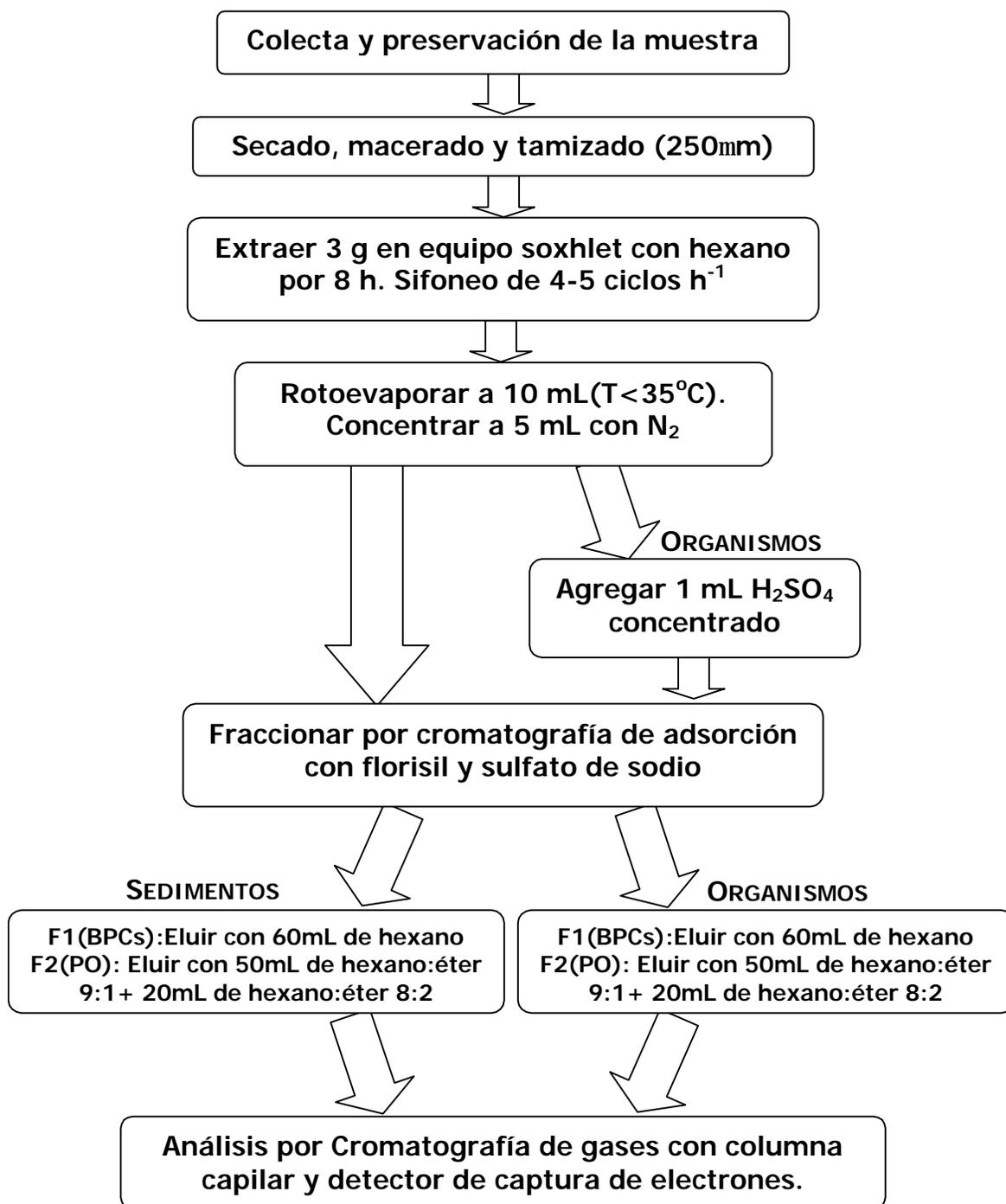


Figura 6. Metodología para la extracción de plaguicidas organoclorados en sedimentos (UNEP/IAEA, 1982) y organismos acuáticos (UNEP/FAO/IOC/IAEA, 1986).

7.2. CARBONO ORGÁNICO PARTICULADO (COP)

Para la determinación del carbono orgánico particulado se analizó por el método de titulación propuesto por Gaudette *et al.*, (1974), el cual utiliza calentamiento exotérmico y oxidación con $K_2Cr_2O_7$ y H_2SO_4 concentrado (Fig. 7); el exceso de dicromato es titulado con $FeSO_4 - NH_4 - 0.5N$ o $FeSO_4 - 0.5N$ (Jackson, 1970).

7.2.1. PRETRATAMIENTO

Se realizó el mismo pretratamiento para las muestras de sedimentos que para la parte de plaguicidas.

7.2.2. DETERMINACIÓN DE ALÍCUOTA:

Se realizaron pruebas para poder estandarizar el tamaño de la alícuota ya que se pueden tomar desde 0.1 a 0.5 g, para los sedimentos del lago de Metztitlán, se seleccionó una alícuota de 0.3 g.

7.2.3. TRATAMIENTO:

Se tomó una alícuota de 0.3 g de sedimentos, se colocaron en un matraz Erlenmeyer de 500 mL, se agregaron 10 mL de una solución de dicromato de potasio 1N. A continuación se adicionaron 20 mL de ácido sulfúrico concentrado, mezclando perfectamente durante un minuto. Se dejó reposar la muestra por 30 min, una vez transcurrido el tiempo se agregaron 200 mL de agua destilada para diluir la muestra. Posteriormente se agregaron 10 mL de ácido fosfórico al 85%, además de 0.2 g de fluoruro de sodio y 15 gotas de difenilamina como indicador.

A continuación, se procedió a la titulación con una solución de sulfato ferroso al 0.5N esperando el cambio de coloración de la muestra que va desde un café verdoso a verde, posteriormente pasa a un tono azul oscuro hasta llegar a el punto de equivalencia que es el tono verde esmeralda o verde brillante. Las muestras de sedimentos se hicieron por duplicado y se evaluaron blancos de reactivos para cada lote de muestras de sedimentos.

7.2.4. CÁLCULOS:

Los resultados se calcularon por medio de la siguiente ecuación:

$$\% \text{ de carbono orgánico} = 10 \left(1 - \frac{T}{S} \right) \left(1.0N (0.003) \left(\frac{100}{w} \right) \right)$$

donde:

T = mL de FeSO_4 en la titulación de la muestra

S = mL de FeSO_4 en la titulación del blanco

0.003 = $12/4000$ = peso miliequivalente del carbono

0.1N = normalidad del dicromato de potasio

10 = volumen del dicromato de potasio en mL

w = peso de la muestra de sedimentos en gramos.

El factor T/S cancela el efecto de la normalidad del sulfato ferroso.

7.2.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO:

Las medidas de tendencia central y dispersión utilizadas para los datos de COP en sedimentos fueron la media aritmética y el error estándar, para tal efecto se realizó una conversión de los datos a logaritmos naturales. Se realizó un análisis exploratorio de datos por medio de histogramas de frecuencias para determinar el tipo de pruebas a utilizar (paramétricas o no paramétricas), con el fin de evaluar si existían diferencias en la concentración total de COP entre las diferentes colectas, utilizando para tal efecto los programas Intercooled Stata 7.0 (Stata Corp, 2001a y b) y Excel (Office XP Professional), a un nivel de significancia (α) de 0.05. Asimismo, se obtuvieron los coeficientes de correlación lineal entre la concentración de PO y cantidad de COP en sedimentos, a un nivel de significación (α) de 0.05.

7.2.6. ELABORACIÓN DE MAPAS DE DISTRIBUCIÓN:

La elaboración de los mapas para la concentración total de COP en sedimentos se recurrió al Surfer 8.0 (2001) cuyo método de interpolación utilizado fue el kriging, el cuál es un software específico que con una base de datos en EXCEL generó la distribución de este parámetro sobre la zona real en estudio.

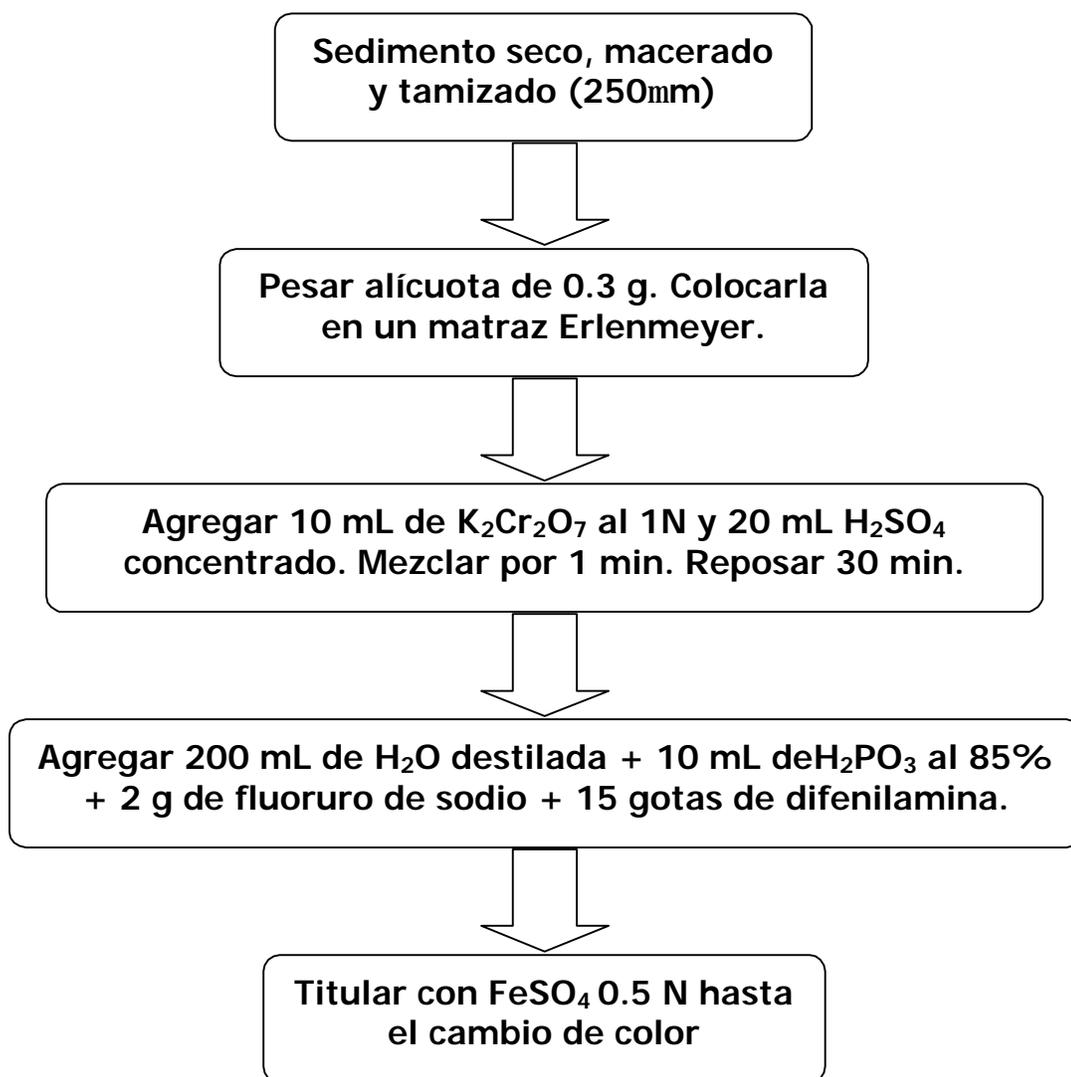


Figura 7. Diagrama para la obtención de carbono orgánico particulado (Gaudette *et al.*, 1974).

8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

8.1. PLAGUICIDAS ORGANOCOLORADOS

8.1.1. SEDIMENTOS

8.1.1.1. NOVIEMBRE 2001

La concentración promedio de plaguicidas organoclorados para el lago de Metztitlán durante noviembre de 2001 fue de $6.51 \pm 1.37 \text{ ngg}^{-1}$ (Tabla 1). El nivel mayor se registró en la estación 13 (12.58 ngg^{-1}), dicho sitio se localiza en el río Venados, este valor puede deberse a que en los márgenes del río se presentan diferentes cultivos como jitomate, calabaza, maíz, chile serrano y sorgo, en los cuales se utilizan grandes cantidades de agroquímicos; cabe mencionar que dichos cultivos son intensivos y que permanentemente se utilizan estos xenobióticos (Tabla 1; Fig. 8).

La concentración más baja se determinó en la estación 10 con 0.96 ngg^{-1} se localiza al inicio del lago, dicho nivel puede deberse a los patrones de circulación que son mínimos o nulos porque en esta zona no existen aportes de ríos, tampoco hay cultivos cercanos y el espejo de agua es muy inestable (Tabla 1; Fig. 8). Por otro lado la falta de acceso al área noreste del lago de Metztitlán impidió coleccionar las muestras de las estaciones 7, 8, 9 y 11.

La concentración promedio más alta por familia química de plaguicidas organoclorados correspondió al grupo de los alicíclicos, con un valor de $9.01 \pm 4.23 \text{ ngg}^{-1}$, en orden decreciente siguieron los aromáticos ($2.53 \pm 1.62 \text{ ngg}^{-1}$) y los ciclodiénicos ($1.66 \pm 1.07 \text{ ngg}^{-1}$) (Tabla 1).

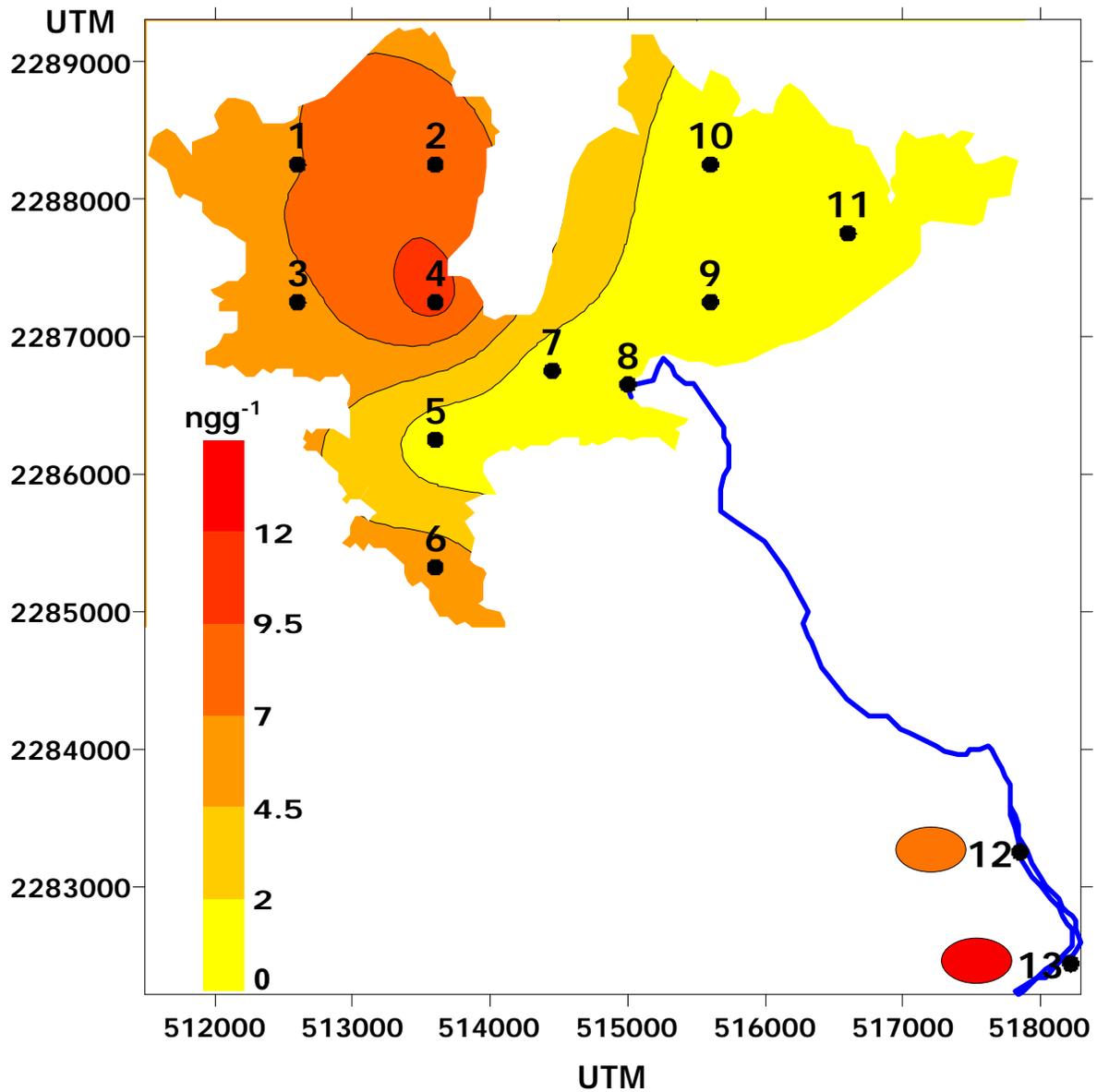


Figura 8. Mapa de distribución de plaguicidas organoclorados totales (ngg⁻¹, peso seco) por estación en el lago de Metztitlán Hidalgo. Noviembre (2001).

De los 16 PO evaluados, de forma global dentro del lago se detectó el 62.5%, donde, la diversidad de los analitos fue baja ya que la estación 1 registró el mayor número de ellos con 31.25%, mientras que en la E-5 no fue detectado ninguno ($<0.01\text{ngg}^{-1}$). El compuesto dominante para la familia de los alicíclicos fue el δ -HCH, con un promedio de $2.04 \pm 0.95 \text{ ngg}^{-1}$; cabe mencionar que el lindano (γ -HCH) presentó un nivel similar con $1.52 \pm 0.67 \text{ ngg}^{-1}$ (Fig. 9), de igual manera, el α -HCH registró una concentración promedio de 0.45 ± 0.30 , manifestando el uso de la mezcla comercial del HCH-técnico (Tabla 1; Fig. 9), donde este último es el isómero con mayor actividad tóxica sobre la biota, de hecho, su uso está restringido en México por el Gobierno Federal desde 1991 (CICOPLAFEST, 1998).

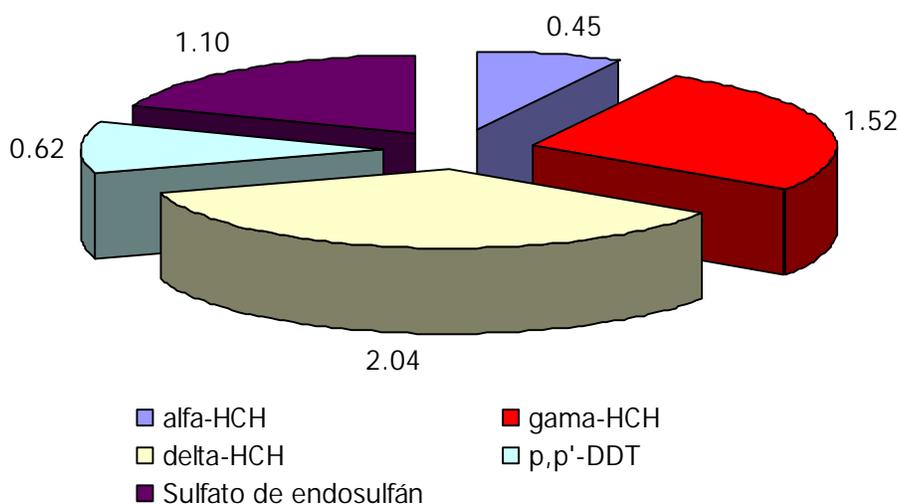


Figura 9. Concentración promedio de plaguicidas organoclorados en sedimentos superficiales (ngg^{-1} peso seco) del lago de Metztlán, Hgo. (Noviembre, 2001).

En orden decreciente, siguió el sulfato de endosulfán que registró la concentración mayor de ciclodienicos ($1.10 \pm 0.56 \text{ ngg}^{-1}$) (Fig. 9), seguido por el heptacloro ($0.28 \pm 0.28 \text{ ngg}^{-1}$), el endrín ($0.14 \pm 0.14 \text{ ngg}^{-1}$), el endosulfán I ($0.09 \pm 0.09 \text{ ngg}^{-1}$) y el epóxido de heptacloro ($0.05 \pm 0.05 \text{ ngg}^{-1}$). En México el endrín está clasificado

como restringido (CICOPLAFEST, 1998), al igual que en los países desarrollados (ONU, 1984 y USEPA, 1993), mientras que para el grupo del heptacloro no se presenta ninguna restricción de uso en nuestro país (Diario Oficial de la Federación, 1991) no obstante, en Estados Unidos la Agencia de Protección Ambiental (USEPA, 1993) y la Organización de las Naciones Unidas (ONU, 1994) lo consideran restringido.

El p,p'-DDT tuvo una concentración promedio de $0.62 \pm 0.38 \text{ ngg}^{-1}$, dicho compuesto fue el mayor representante de la familia aromática (Tabla 1), seguido por el p,p'-DDD con $0.22 \pm 0.15 \text{ ngg}^{-1}$, ésto significa que ha ocurrido la transformación del compuesto original en un 35% aproximadamente, evidenciando una aplicación reciente de este plaguicida organoclorado, observándose una violación a la legislación ya que dicho compuesto está restringido en México por el Ejecutivo Federal desde 1991 y su uso es exclusivo para el Sector Salud en campañas sanitarias (CICOPLAFEST, 1998); sin embargo, este xenobiótico está completamente prohibido por organismos internacionales como USEPA (1993) y ONU (1984), debido a sus características carcinogénicas (Dich *et al.*, 1997; IARC, 2002). Por otro lado, los compuestos con una concentración menor al límite de detección de $<0.01 \text{ ngg}^{-1}$ en esta colecta fueron: β -HCH, p,p'-DDE, aldrín, dieldrín, endrín aldehído y endosulfán II (Tabla 1).

Actualmente, no existe una legislación oficial que contenga límites máximos permisibles en México para plaguicidas en sedimentos lacustres. En este sentido, hay una serie de concentraciones propuestas por la NOAA (Administración Nacional Oceánica y Atmosférica) para Estados Unidos que conforman los criterios de calidad sedimentaria donde se delimitan los intervalos a partir de los cuales pueden ocurrir efectos adversos a la biota bentónica (Long *et al.*, 1995; Buchman, 1999); para plaguicidas organoclorados están los siguientes: el lindano (γ -HCH) va

de 0.94 a 1.38 ngg⁻¹, para el DDT las concentraciones deben ser menores a 50 ngg⁻¹, para el heptacloro son de 10 ngg⁻¹, el epóxido de heptacloro va de los 0.6 a los 2.7 ngg⁻¹, el dieldrín está entre 2.85 y 6.67 ngg⁻¹ y el endrín va de 2.7 a 62.4 ngg⁻¹; por ejemplo Bhavan y Geraldine (2001) realizaron un experimento sobre juveniles del langostino (*Macrobrachium malcolsonii*), donde expuestos a distintas concentraciones subletales de endosulfán, observándose alteraciones en los niveles de fosfatasas y LDH en los tejidos. Las concentraciones de proteínas solubles en la hemolinfa tiende a incrementarse, al tiempo que disminuye en otros tejidos; se observó además ciclos de elevación y declinación de los niveles de aminoácidos libres en muestras de DNA y RNA, además de un rompimiento de polipéptidos en distintos tejidos, por lo que el efecto más notorio del endosulfán es el de originar desnaturalización de las proteínas, perturbando las actividades metabólicas básicas.

Tabla 1. Resultados de plaguicidas organoclorados en sedimentos superficiales del lago de Metztitlán, Hgo (Noviembre, 2001).

Compuesto	E-1	E-2	E-3	E-4	E-5	E-6	E-10	E-12	E-13	Promedio por compuesto (ngg ⁻¹)	Promedio por familia (ngg ⁻¹)	Valores Mínimo (TEL*)	Valores Máximo (NOAA++ (PEL**))
α-HCH	2.17	+	+	+	+	+	+	+	1.86	0.45 ± 0.30			
β-HCH	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	Alicíclicos		
γ-HCH	1.62	+	2.85	+	+	+	+	4.42	4.77	1.52 ± 0.67	9.01 ± 3.65	0.94	1.38
δ-HCH	+	6.02	+	5.82	+	5.57	0.96	+	+	2.04 ± 0.95			
p,p'-DDT	1.08	+	3.48	+	+	0.66	+	0.33	+	0.62 ± 0.38	Aromáticos***		<50
p,p'-DDE	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	2.53 ± 1.44	1.42	6.75
p,p'-DDD	1.23	+	+	+	+	+	+	0.79	+	0.22 ± 0.15		3.54	8.51
Heptacloro	+	+	+	+	+	+	+	+	2.51	0.28 ± 0.28			10
Epóxido de heptacloro	+	+	+	+	+	+	+	0.48	+	0.05 ± 0.05		0.6	2.74
Aldrín	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		4.5	8.9
Dieldrín	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	Ciclodiénicos	2.85	6.67
Endrin	+	+	+	1.25	+	+	+	+	+	0.14 ± 0.14	1.66 ± 1.32	2.67	62.4
Endrin aldehído	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+			
Endosulfán I	0.79	+	+	+	+	+	+	+	+	0.09 ± 0.09			
Endosulfán II	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+			
Sulfato de endosulfán	+	2.75	+	3.77	+	+	+	+	3.43	1.10 ± 0.56			
Concentración total	6.88	8.76	6.32	10.83	+	6.23	0.96	6.03	12.58	Conc. prom. de la colecta	6.51 ± 1.37		

+ N. D. = 0.01 ngg⁻¹.

* TEL = Posibles efectos adversos sobre la biota (ngg⁻¹).

TEL - PEL = Probables efectos adversos sobre la biota (ngg⁻¹).

** PEL = Frecuentes efectos adversos sobre la biota (ngg⁻¹).

*** Para esta familia el TEL es de 6.98 y el PEL es de 4450.

+ +NOAA = Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (National Oceanic and Atmospheric Administration).

Si comparamos las concentraciones promedio de la Tabla 1 con los valores propuestos por la NOAA (Long *et al.*, 1995; Buchman, 1999), para sedimentos dulceacuícolas se observa que el lindano (γ -CHC) en su concentración promedio, es el único compuesto organoclorado que está fuera del intervalo pero muy cerca del límite máximo; asimismo, la concentración detectada en las estaciones 12 y 13 (4.42 y 4.77 ngg^{-1}) superaron casi por triplicado este criterio.

Los cultivos predominantes en la Vega de Metztlán son: frijol, frijol ejotero, calabaza, maíz, chile, ejote y tomate para los cuales los plaguicidas permitidos en el Catálogo Oficial de Plaguicidas son: abamectina, dimetoato, captan, clorotalonil entre otros, dichos plaguicidas no contienen ninguno de los analitos registrados para la colecta (Anexo 1; CICOPLAFEST, 1998).

Por otro lado, los cultivos en dicha Vega son rotatorios y temporales, es decir se siembra con base en el clima, principalmente con el régimen de lluvias y no de acuerdo a la demanda de los productos alimenticios, demostrando así la utilización continua de los diferentes plaguicidas.

Los resultados obtenidos de las concentraciones de plaguicidas organoclorados detectados en sedimentos superficiales del lago de Metztlán para noviembre (2001), están evidenciando procesos de acumulación de estos xenobióticos en áreas específicas del sistema, de igual forma, la magnitud de sus niveles refleja una fuente potencial de los agroquímicos, representando un daño posible a la biota del bentos y aquella que se alimente directamente del detritus, además de los consumidores finales como el hombre.

8.1.1.2 ABRIL 2002

Los niveles totales de PO para el mes de abril (2002) registraron la concentración mayor en la estación 1 (5.63 ngg^{-1}). Dicha estación se localiza en el extremo final del lago y cuya concentración se puede explicar por el acarreo de los xenobióticos del río hacia el tubo de demasías, lugar por donde se drena el sistema (Tabla 2; Fig. 10).

La concentración más baja se determinó en la estación 7 (0.78 ngg^{-1}), localizada a la entrada del río Venados, se puede explicar porque en esta temporada de secas los aportes de agua por parte del río son nulos y el nivel de agua dentro del lago se reduce por lo que el acarreo desde las orillas del mismo, se va al extremo final donde se localiza el tubo de demasías, cercano a las estaciones 1 y 2 (Fig. 10). La concentración promedio de plaguicidas organoclorados para el lago de Metztitlán durante abril del 2002 fue de $2.24 \pm 0.48 \text{ ngg}^{-1}$ (Tabla 2). Cabe mencionar que, la falta de acceso para la zona noreste del lago de Metztitlán impidió coleccionar las muestras de las estaciones 10 y 11.

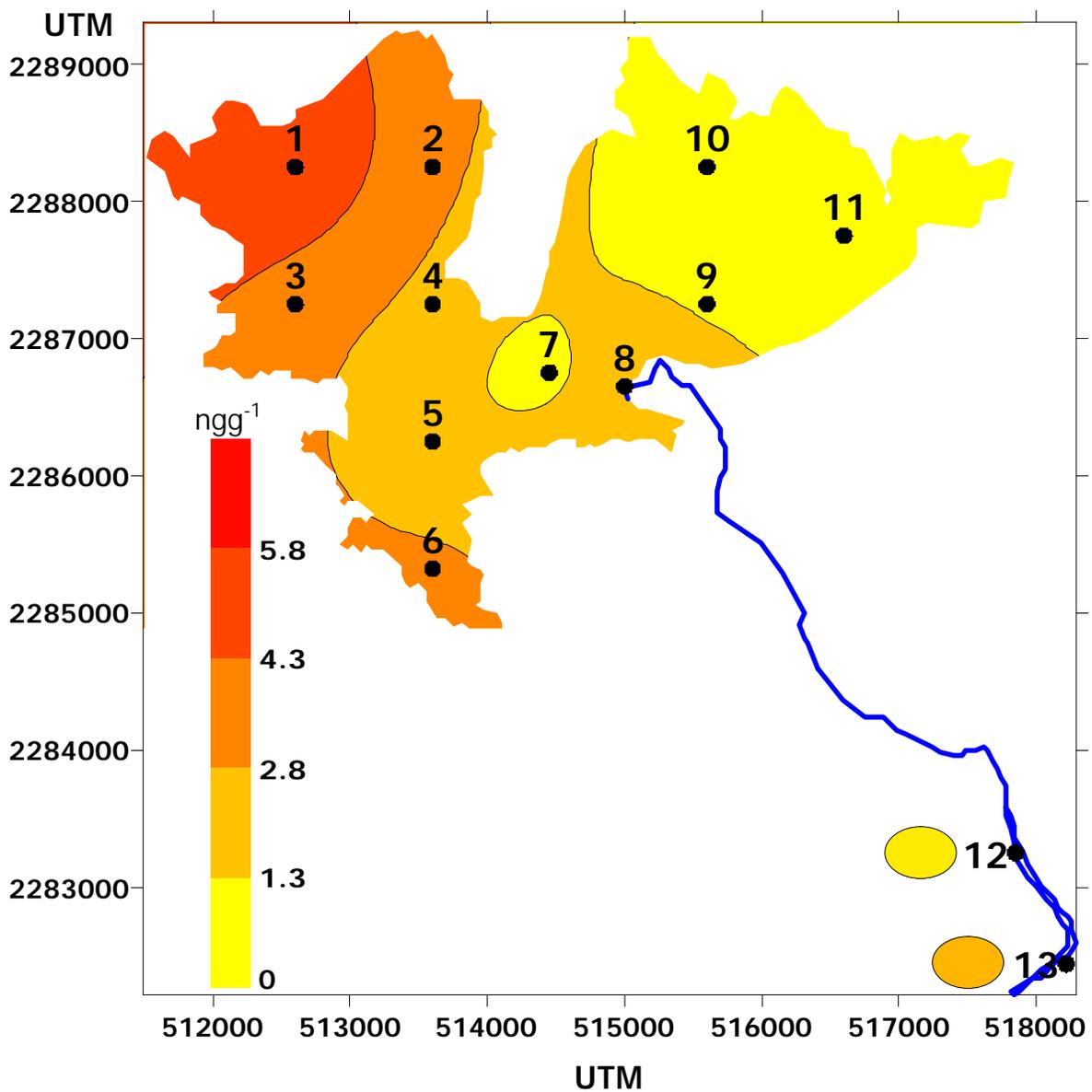


Figura 10. Mapa de distribución de plaguicidas organoclorados totales (ngg⁻¹, peso seco) por estación en el lago de Metztlán Hidalgo. Abril (2002).

La concentración promedio más alta por familia química de PO correspondió al grupo de los alicíclicos (Tabla 2), con un valor de $3.60 \pm 1.62 \text{ ngg}^{-1}$, en orden decreciente siguieron los aromáticos ($2.06 \pm 1.08 \text{ ngg}^{-1}$), seguidos de los ciclodiénicos ($0.45 \pm 0.34 \text{ ngg}^{-1}$).

De los 16 PO evaluados, para esta colecta se detectó el 50% de xenobióticos en el lago, y la diversidad de los mismos fue baja ya que en la estación 13 se obtuvo el 31.25%, mientras que para la E-2 no se detectaron compuestos ($<0.01 \text{ ngg}^{-1}$). De todos los PO analizados el compuesto dominante para la familia de los alicíclicos para esta colecta fue el β -HCH con una concentración promedio de $0.69 \pm 0.47 \text{ ngg}^{-1}$, de igual manera el lindano (γ -HCH) presentó un nivel similar con $0.42 \pm 0.24 \text{ ngg}^{-1}$ (Fig. 11), manifestando el uso de la mezcla comercial del HCH-técnico, ya que se encontraron también el δ -HCH ($0.18 \pm 0.18 \text{ ngg}^{-1}$) y el α -HCH ($0.02 \pm 0.02 \text{ ngg}^{-1}$) (Tabla 2; Fig. 11), donde el lindano es el isómero con mayor actividad tóxica sobre la biota, además de que su uso está restringido en México por el Gobierno Federal desde 1991 (CICOPLAFEST, 1998).

En orden decreciente para la familia de los ciclodiénicos estuvo el sulfato de endosulfán con un valor promedio de $0.27 \pm 0.21 \text{ ngg}^{-1}$ (Fig. 11), para dicho xenobiótico no existe restricción alguna tanto nacional como internacional. Otro compuesto detectado fue el dieldrín (0.10 ± 0.10) cuyo uso está restringido en México por CICOPLAFEST (1998), al igual que en los países desarrollados (US-EPA 1993 y ONU 1984). Dicho compuesto está clasificado por la IARC (2002), como carcinogénico para el hombre.

Tabla 2. Resultados de plaguicidas organoclorados en sedimentos superficiales (ngg^{-1} peso seco) del lago de Metztitlán, Hgo (Abril, 2002).

Compuesto	E-1	E-2	E-3	E-4	E-5	E-6	E-7	E-8	E-9	E-12	E-13	Promedio por compuesto (ngg^{-1}) ¹⁾	Promedio por familia (ngg^{-1})	Valores Mínimo (TEL*)	Valores Máximo (PEL**)
α -HCH	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0.23	0.02 ± 0.02	Alicíclicos	0.94	1.38
β -HCH	4.04	+	3.58	+	+	+	+	+	+	+	+	0.69 ± 0.47			
γ -HCH	1.59	+	+	+	+	2.24	0.78	+	+	+	+	0.42 ± 0.24			
δ -HCH	+	+	+	+	+	+	+	1.93	+	+	+	0.18 ± 0.18			
p,p'-DDT	+	+	+	+	1.57	+	+	0.26	+	+	0.71	0.23 ± 0.15	Aromáticos***	<50	
p,p'-DDE	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	2.06 ± 0.45	1.42	6.75
p,p'-DDD	+	+	+	+	+	0.91	+	0.67	1.10	0.86	0.09	0.33 ± 0.14		3.54	8.51
Heptacloro	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+			10
Epóxido de heptacloro	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		0.6	2.74
Aldrín	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		4.5	8.9
Dieldrín	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	1.10	0.10 ± 0.10		2.85	6.67
Endrín	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		2.67	62.4
Endrín aldehído	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	Ciclieniicos	0.45 ± 0.44	
Endosulfán I	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+			
Endosulfán II	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+			
Sulfato de endosulfán	+	+	+	2.34	+	+	+	+	+	+	0.63	0.27 ± 0.21			
Concentración total	5.63	+	3.58	2.34	1.57	3.15	0.78	2.86	1.10	0.86	2.76	Conc. prom. de la colecta	2.24 ± 0.48		

+ N. D. = 0.01 ngg^{-1} .

* TEL = Posibles efectos adversos sobre la biota (ngg^{-1}).

TEL - PEL = Probables efectos adversos sobre la biota (ngg^{-1}).

** PEL = Frecuentes efectos adversos sobre la biota (ngg^{-1}).

*** Para esta familia el TEL es de 6.98 y el PEL es de 4450.

+ +NOAA = Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (National Oceanic and Atmospheric Administration)

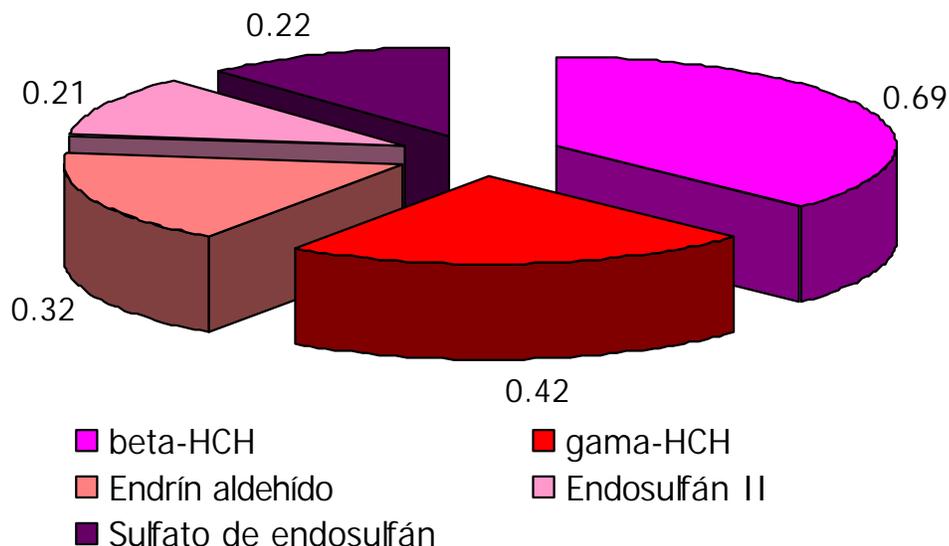


Figura 11. Concentración promedio de plaguicidas organoclorados en sedimentos superficiales (ngg⁻¹ peso seco) del lago de Metztitlán, Hgo. (Abril, 2002).

El p,p'-DDD con una concentración promedio de $0.33 + 0.14$ ngg⁻¹ fue el mayor representante de la familia aromática, seguido por el p,p'-DDT con $0.23 + 0.15$ ngg⁻¹ (Tabla 1), ésto significa que ha ocurrido la transformación del compuesto original, evidenciando que no se ha utilizado recientemente este plaguicida organoclorado, aún con esto se observa una violación a la legislación ya que dicho compuesto está restringido en México por el Ejecutivo Federal desde 1990 y su uso es exclusivo del Sector Salud en campañas sanitarias (COCOPLAFEST, 1998); no obstante, este xenobiótico está completamente prohibido por la US-EPA (1993) y ONU (1984), debido a sus características carcinogénicas (IARC, 2002). Por otro lado, los compuestos cuya concentración fue menor al límite de detección (<0.01 ngg⁻¹) para esta colecta fueron el p,p'-DDE, heptacloro, epóxido de heptacloro, aldrín, endrín, endrín aldehído, endosulfán I y II (Tabla 2).

Como se mencionó anteriormente, no existe una legislación oficial que contenga límites máximos permisibles en México para plaguicidas en sedimentos lacustres. Considerando los criterios de calidad sedimentaria dulceacuícola propuestos por la NOAA (Long *et al.*, 1995; Buchman, 1999), los niveles promedio registrados en esta colecta para el lindano no rebasaron el límite máximo; aunque la concentración total detectada en la estación 6 de 2.24 ngg^{-1} está por arriba del límite superior. El resto de los PO presentaron concentraciones menores a estos criterios.

Los compuestos que se registraron para esta colecta y cuya utilización esta permitida por Catálogo Oficial de Plaguicidas (CICOPLAFEST, 1998) en los cultivos (calabaza, frijol ejotero, frijol, maíz jitomate y chile) que se realizaron en la Vega de Metztitlán para el año del 2002 (Rodríguez, 2002) fueron: el thiodan, vidate, lannate, abonos, etc. Cabe mencionar que el thiodan tiene como sustancia activa al endosulfán el cual está permitido en los cultivos de calabaza, chile, frijol, jitomate y maíz, entre otros, coincidentemente para esta colecta en la E-4 y en la E-13 se registró el sulfato de endosulfán que es un metabolito activo de éste (Anexo 1).

Los resultados obtenidos de las concentraciones de plaguicidas organoclorados detectados en sedimentos superficiales del lago de Metztitlán para abril (2002) al igual que en noviembre, evidenciaron procesos de acumulación de estos xenobióticos en áreas específicas del sistema, de igual forma, la magnitud de sus niveles sigue demostrando una fuente potencial de los agroquímicos, la cual representa un posible daño a la biota del bentos y aquella que se alimente directamente del detritus, además de los consumidores finales como el hombre.

8.1.1.3 JULIO DEL 2002

Los niveles totales de plaguicidas organoclorados para el mes de julio (2002) registraron la concentración mayor en la estación 8 (18.49 ngg^{-1}) localizada en la descarga del río y estos niveles altos de xenobióticos se pueden explicar por los escurrimientos de las zonas de cultivos hacia el río, provocadas por el inicio de la temporada de lluvias (Tabla 3; Fig. 12).

La concentración más baja se encontró en la estación 1 (1.93 ngg^{-1}), ubicada hacia el fondo del lago, dicho nivel se puede explicar porque en este mes comienza la temporada de lluvia, y el principal aporte de xenobióticos se localiza en el noreste del lago donde se localiza la zona de cultivos (Tabla 3; Fig. 12). El promedio de plaguicidas organoclorados para el lago de Metztitlán durante julio (2002) fue de $5.02 \pm 1.45 \text{ ngg}^{-1}$ (Tabla 3). Por otra parte, se presentaron problemas técnicos y no se pudo coleccionar la muestra de la estación 12.

La concentración promedio más alta por familia química de plaguicidas organoclorados correspondió al grupo de los aromáticos con un valor de $4.46 \pm 2.47 \text{ ngg}^{-1}$ (Tabla 3), en orden decreciente siguieron los alicíclicos ($3.81 \pm 0.70 \text{ ngg}^{-1}$) y con un valor similar los ciclodiénicos ($3.51 \pm 1.46 \text{ ngg}^{-1}$).

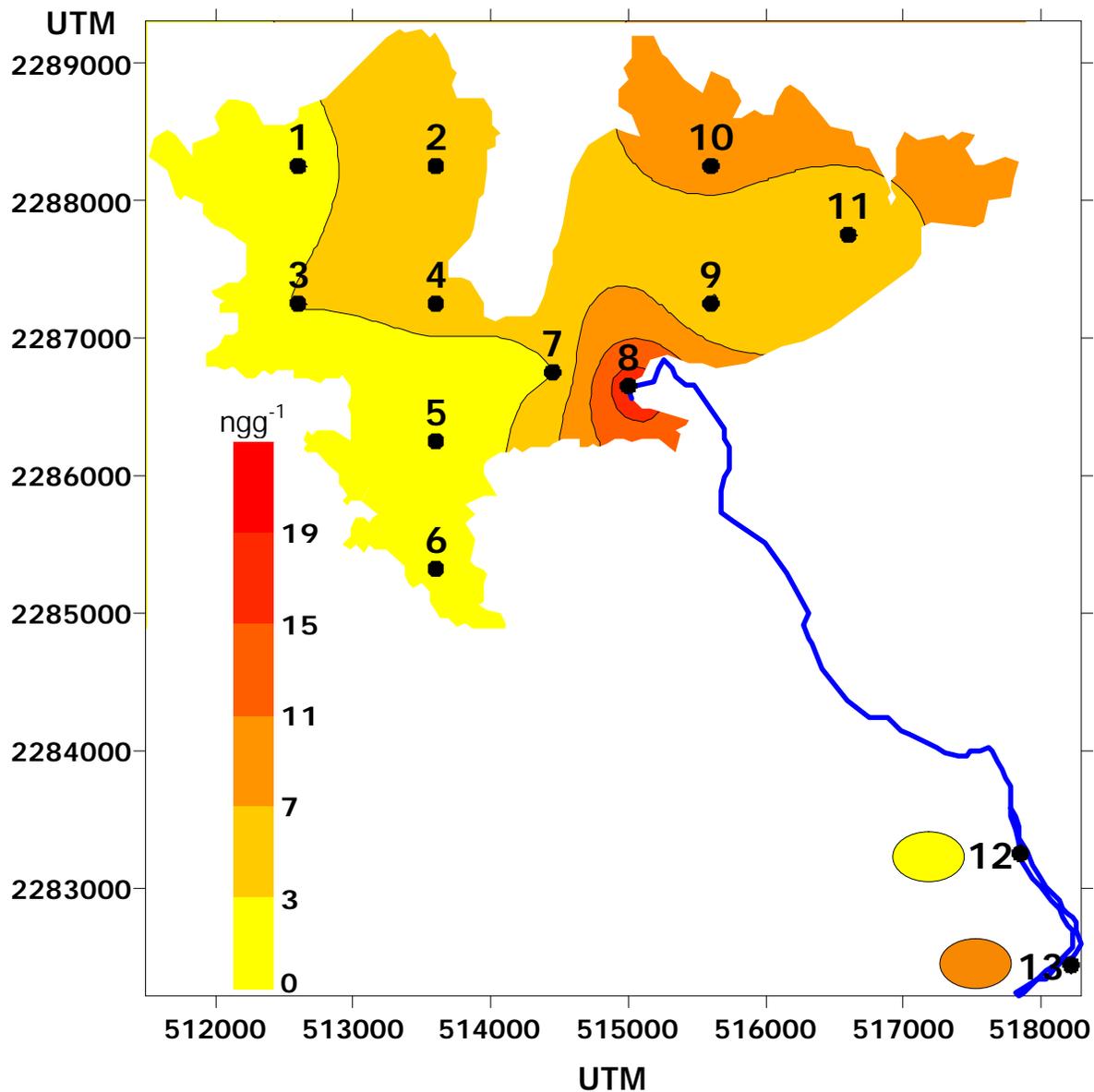


Figura 12. Mapa de distribución de plaguicidas organoclorados totales (ngg^{-1} , peso seco) por estación en el lago de Metztlán Hidalgo. Julio (2002).

De los 16 PO evaluados, se detectó el 93.75% y para esta colecta la diversidad de los analitos fue muy alta en la E-4 con 62.5% mientras que en la E-5 y E-6 no se detectaron ($<0.01 \text{ ngg}^{-1}$). Los compuestos dominantes para la familia de los ciclodiénicos en julio, fueron el epóxido de heptacloro con una concentración promedio de $1.16 \pm 0.52 \text{ ngg}^{-1}$ y el heptacloro con $0.57 \pm 0.28 \text{ ngg}^{-1}$ (Fig. 13), para éstos no existe restricción alguna a nivel nacional, no obstante en Estados Unidos la US-EPA (1993) y la ONU (1994) los consideran restringidos y el PAN prohíbe su uso, además de estar considerados como posibles carcinogénicos (IARC, 2002); en orden decreciente siguió el endosulfán I ($0.27 \pm 0.15 \text{ ngg}^{-1}$) el cual únicamente está restringido por la ONU (1984).

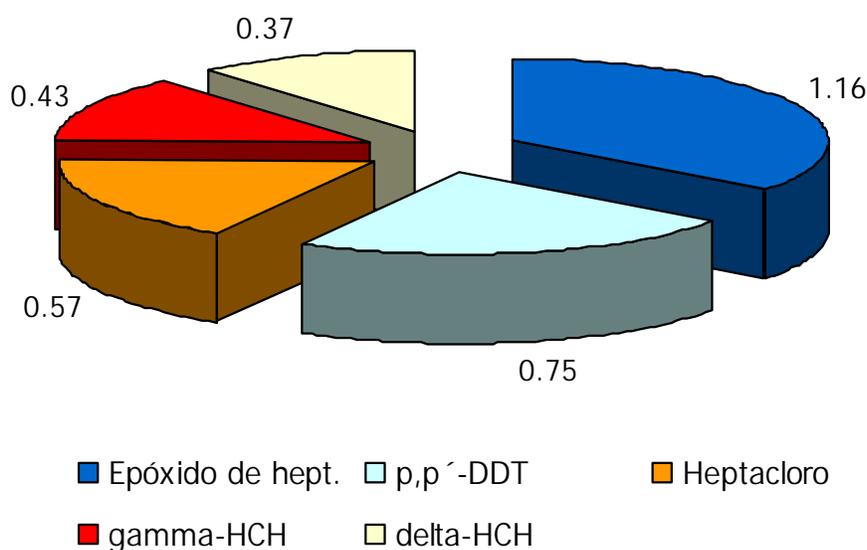


Figura 13. Concentración promedio de plaguicidas organoclorados en sedimentos superficiales (ngg^{-1} peso seco) del lago de Metztitlán, Hgo. (Julio, 2002).

Tabla 3. Resultados de plaguicidas organoclorados en sedimentos superficiales (ngg^{-1} peso seco) del lago de Metztitlán, Hgo (Julio, 2002).

Compuesto	E-1	E-2	E-3	E-4	E-5	E-6	E-7	E-8	E-9	E-10	E-11	E-13	Promedio por compuesto (ngg^{-1})	Promedio por familia (ngg^{-1})	Valores Mínimo (TEL*)	NOAA++ Máximo (PEL**)
α -HCH	0.03	1.26	+	0.36	+	+	+	0.65	+	1.46	+	+	0.31 ± 0.15			
β -HCH	+	1.01	0.22	0.67	+	+	+	+	+	+	+	+	0.16 ± 0.10	Alicíclicos		
γ -HCH	0.10	+	0.18	0.06	+	+	+	+	+	+	2.43	2.40	0.43 ± 0.27	3.81 ± 0.70	0.94	1.38
δ -HCH	0.20	0.31	0.50	1.51	+	+	+	0.45	+	+	1.43	+	0.37 ± 0.16			
p,p'-DDT	0.62	0.82	0.71	0.06	+	+	+	6.19	+	+	+	0.63	0.75 ± 0.50	Aromáticos***		<50
p,p'-DDE	+	0.32	0.16	0.10	+	+	+	+	+	+	+	+	0.05 ± 0.03	4.46 ± 2.47	1.42	6.75
p,p'-DDD	0.63	0.87	0.88	0.95	+	+	+	+	+	+	+	0.45	0.31 ± 0.12		3.54	8.51
Heptacloro	0.02	+	+	0.19	+	+	+	1.81	+	0.11	2.56	2.12	0.57 ± 0.28			10
Epóxido de heptacloro	+	+	+	+	+	+	2.67	4.70	2.61	3.93	+	+	1.16 ± 0.52		0.6	2.74
Aldrín	+	+	0.09	+	+	+	+	+	+	2.66	+	+	0.23 ± 0.22		4.5	8.9
Dieldrín	0.10	0.30	0.34	0.23	+	+	+	1.09	+	+	+	+	0.17 ± 0.09		2.85	6.67
Endrín	+	+	+	+	+	+	+	0.40	+	+	+	+	0.03 ± 0.02	Ciclidíenicos	2.67	62.4
Endrín aldehído	+	0.87	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0.07 ± 0.04	3.51 ± 1.46		
Endosulfán I	+	+	+	+	+	+	+	3.20	+	+	+	+	0.27 ± 0.15			
Endosulfán II	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+			
Sulfato de endosulfán	0.24	0.42	0.04	0.05	+	+	+	+	+	+	+	0.89	0.14 ± 0.8			
Concentración total	1.93	6.18	3.11	4.18	+	+	2.67	18.49	2.61	8.16	6.42	6.49	Conc. prom. de la colecta	5.02 ± 1.45		

+ N. D. = 0.01 ngg^{-1} .

* TEL = Posibles efectos adversos sobre la biota (ngg^{-1}).

TEL - PEL = Probables efectos adversos sobre la biota (ngg^{-1}).

** PEL = Frecuentes efectos adversos sobre la biota (ngg^{-1}).

*** Para esta familia el TEL es de 6.98 y el PEL es de 4450.

+ +NOAA = Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (National Oceanic and Atmospheric Administration).

En contraparte, se registraron el aldrín ($0.23 \pm 0.22 \text{ ngg}^{-1}$), el dieldrín ($0.17 \pm 0.09 \text{ ngg}^{-1}$) y el endrín ($0.03 \pm 0.02 \text{ ngg}^{-1}$) para los cuales está prohibido su uso a nivel nacional desde 1991 (CICOPLAFEST, 1998), así como internacionalmente por PAN (1991), US-EPA (1993) y ONU (1984) además, de estar catalogados como carcinogénicos para el hombre por la IARC (2002).

Siguiendo el orden decreciente para la familia de los alicíclicos como mayor representante estuvo el γ -HCH (lindano) con un promedio de $0.43 \pm 0.27 \text{ ngg}^{-1}$, de igual manera el δ -HCH ($0.37 \pm 0.16 \text{ ngg}^{-1}$) (Fig. 13), manifestándose de esta manera el uso de la mezcla comercial del HCH-técnico, ya que nuevamente se encontraron también el α -HCH ($0.31 \pm 0.15 \text{ ngg}^{-1}$) y el β -HCH ($0.16 \pm 0.10 \text{ ngg}^{-1}$), está prohibido su uso a nivel nacional desde 1991 por el poder Ejecutivo y a nivel internacional por la ONU, (1984) y el PAN (1991).

Dentro de la familia de los aromáticos como mayor representante estuvo el p,p'-DDT con un nivel promedio de $0.75 \pm 0.50 \text{ ngg}^{-1}$ (Fig. 13), siguió el p,p'-DDD ($0.31 \pm 0.12 \text{ ngg}^{-1}$) y el p,p'-DDE ($0.05 \pm 0.03 \text{ ngg}^{-1}$) demostrando su uso irracional aún con las prohibiciones a nivel nacional desde 1991 por el Ejecutivo Federal (CICOPLAFEST, 1998), así como internacionalmente por la ONU (1984); PAN (1991) y US-EPA (1993). Dichos compuestos están catalogados como posibles carcinogénicos por la IARC (2002).

Con menor promedio se presentó el sulfato de endosulfán ($0.33 \pm 0.16 \text{ ngg}^{-1}$) y el endrín aldehído ($0.07 \pm 0.04 \text{ ngg}^{-1}$), para los cuales no hay restricción sobre su uso tanto a nivel nacional como internacional. El único compuesto estuvo por debajo del nivel de detección ($<0.01 \text{ ngg}^{-1}$) fue el endosulfán II (Tabla 3).

Si comparamos los niveles de la tabla 3 con los valores propuestos por la NOAA para sedimentos dulceacuícolas (Long *et al.*, 1995; Buchman, 1999), se observa que ningún compuesto en su concentración promedio está por arriba del nivel máximo en los intervalos establecidos, aunque de manera puntual la concentración detectada de epóxido de heptacloro en las estaciones 7 y 9 con 2.67 y 2.61 ngg⁻¹ respectivamente son valores muy cercanos al límite máximo, en contraste con las estaciones 8 y 10 cuyos valores de 4.70 y 3.93 ngg⁻¹ en donde sí superan el intervalo máximo.

Se realizaron 39 encuestas en los sembradíos aledaños al lago de Metztitlán las zonas se dividieron en dos partes principalmente: la primera abarcó desde los límites del lago hasta el pueblo de San Cristóbal y la segunda que comprendió desde San Cristóbal hasta el municipio de Metztitlán (Anexo 2b). Dichas encuestas se realizaron durante el primer semestre del 2003, y con ellas se validó la información que se derivó del presente estudio, asimismo, se verificó que los compuestos utilizados en el Valle de Metztitlán coincidían con los compuestos detectados en los sedimentos del sistema. Se verificó si los químicos utilizados están permitidos para los plantíos, esto de acuerdo a la legislación del CICOPLAFEST (1998) establecida para nuestro país (Anexo 2a).

Cabe mencionar que las encuestas se realizaron entrevistando a los agricultores, preguntando en las tiendas autorizadas y clandestinas del Valle (Anexo 2c). Los principales cultivos que habían fueron: frijol, frijol ejotero, maíz, ejote, calabaza, chile, chile serrano, chile jalapeño, tomate, papa y sorgo (Anexo 2b), para los cuales los plaguicidas más utilizados y vendidos en las tiendas de la Vega de Metztitlán son: thiodan, traser, benlates, lannate, vydate, nuvacron, arribo, entre otros (Anexo 2b). El único compuesto que se registró en el lago (E-8) en los sedimentos superficiales en una concentración total alta y, que se constató que venden y utilizan los agricultores es el thiodan, cuyo activo es el endosulfán (Anexo 2c).

Algunos de los efectos que causa el endosulfán son reportados por Mishra y Shukla (1997) evaluaron el impacto de dosis subletales de endosulfán en las actividades general y específica, características electroforéticas y propiedades cinéticas de extractos crudos y purificados de lactato deshidrogenasa extraídas del hígado y músculo esquelético del pez gato (*Clarias batrachus*), se observó una reducción significativa de la actividad específica (de sitio) aunque no se observaron modificaciones estructurales de la proteína, adicionalmente el proceso de inhibición fue mixto (competitivo y no competitivo) en ambos tejidos, aunque existen diferencias respecto a las cargas relativas de las formas proteínicas provenientes del hígado y músculo no se observaron diferencias en la acción del endosulfán respecto a la proteínas. Asimismo, la acción del endosulfán en ambas formas (cruda y purificada) de la LDH fue la misma, sin observarse cambios posteriores en las formas proteínicas, lo que demuestra que el endosulfán inhibe la LDH a través de la formación de un complejo endosulfán-enzima.

Los resultados obtenidos de las concentraciones de plaguicidas organoclorados detectados en sedimentos superficiales del lago de Metztitlán para julio (2002), al igual que las colectas anteriores noviembre (2001) y abril (2002) están evidenciando procesos de acumulación de estos xenobióticos en áreas específicas del sistema, de igual forma, la magnitud de sus niveles refleja una fuente potencial de los agroquímicos, representando un posible daño a la biota del bentos y aquella que se alimenta directamente del detritus, además de los consumidores finales como el hombre.

8.1.1.4 Análisis Estadístico por colecta

En general, para las tres épocas climáticas los valores promedio de PO no fueron similares, especialmente en el mes de abril (2002) y por tal motivo se realizó un

análisis de varianza para verificar si había diferencias significativas entre las diferentes épocas climáticas, en donde se obtuvo un valor de F de 2.14 el cuál no fue significativo ($p = 0.1481$), además se hizo el mismo análisis para verificar si existían diferencias significativas entre las estaciones para las cuales tampoco fueron encontradas ($F = 0.65$, $p = 0.7751$).

Con base en lo anterior se concluye que no hay diferencias significativas en los niveles de PO en la matriz sedimentaria tanto para las diferentes épocas climáticas evaluadas como por estaciones en el sistema lacustre de Metztlán, Hgo.

De igual forma, se realizó un análisis de varianza para establecer si había diferencias entre las familias químicas y entre cada uno de los analitos. Para las familias químicas por colecta se obtuvo una $F = 1.13$ ($p = 0.4087$), y para cada uno de los analitos por colecta la $F = 3.94$ ($p = 0$), las cuales estadísticamente tampoco fueron significativas.

Las matrices de compuestos presentaron muchos valores de cero para cada uno de los meses analizados y se pensó que interferían en la parte estadística, por tal motivo para este análisis en particular, se utilizó una herramienta estadística denominada el "bootstrap" (StataCorp 2001a 2001b) el cual con base a las repeticiones se obtuvieron valores estadísticos representativos y establece los límites de confianza y sesgos. Los datos >0 se encontraron ubicados en el percentil 75 por lo que se ocuparon únicamente los valores del percentil 75-100.

Con base en la literatura para realizar el análisis de "bootstrap" el número ideal de repeticiones es 1000, con cuyo valor ya no se presentan cambios en los resultados (Stine, 1990).

8.1.2. ORGANISMOS

8.1.2.1. ABRIL 2002

La concentración promedio de PO encontradas en capturas comerciales de *Oreochromis sp* para la colecta de abril (2002) en el lago de Metztitlán fue de $2.69 \pm 1.27 \text{ ngg}^{-1}$ (Tabla 4).

De los 16 compuestos evaluados (Tabla 4; Fig. 14), el PO dominante dentro de la familia de los aromáticos fue el p,p'-DDD cuya concentración promedio fue de $1.35 \pm 0.42 \text{ ngg}^{-1}$, seguido del p,p'-DDE ($0.26 \pm 0.26 \text{ ngg}^{-1}$) y el p,p'-DDT ($0.08 \pm 0.05 \text{ ngg}^{-1}$), manifestando la biodisponibilidad de dichos xenobióticos para los organismos, así como la aplicación de este plaguicida en tiempos recientes ya que de esta familia aromática dominó el compuesto original en un mayor porcentaje respecto a sus productos de transformación.

En orden decreciente para la familia de los alicíclicos como mayor representante estuvo el δ -HCH con $1.06 \pm 0.79 \text{ ngg}^{-1}$, seguido del lindano (γ -HCH) con $0.12 \pm 0.12 \text{ ngg}^{-1}$ y el α -HCH ($0.20 \pm 0.07 \text{ ngg}^{-1}$), encontrándolos como analitos disponibles para los organismos y evidenciando el uso de la mezcla técnica de lindano al detectar a los isómeros alfa y delta en niveles equiparables.

Tabla 4. Resultados de plaguicidas organoclorados en capturas comerciales de *Oreochromis sp* (ngg^{-1} peso seco) del lago de Metztitlán, Hgo (Abril, 2002).

Compuesto	Promedio por compuesto (ngg^{-1})	Promedio por familia (ngg^{-1})
α -HCH	0.20 ± 0.07	
β -HCH		Alicíclicos
γ -HCH	0.12 ± 0.12	1.37 ± 0.97
δ -HCH	1.06 ± 0.79	
p,p'-DDT	0.08 ± 0.05	Aromáticos
p,p'-DDE	0.26 ± 0.26	6.78 ± 1.58
p,p'-DDD	1.35 ± 0.42	
Heptacloro	+	
Epóxido de heptacloro	+	
Aldrín	+	
Dieldrín	0.20 ± 0.07	
Endrín	0.08 ± 0.04	Ciclodiénicos
Endrín aldehído	+	1.08 ± 0.09
Endosulfán I	+	
Endosulfán II	+	
Sulfato de endosulfán	+	
	Conc. prom. De la colecta	2.69 ± 1.27

+ N. D. = $<0.01 \text{ ngg}^{-1}$.

El dieldrín con una concentración promedio de $0.20 \pm 0.07 \text{ ngg}^{-1}$ fue el mayor representante de la familia de los ciclodiénicos, seguido del endrín con $0.08 \pm 0.09 \text{ ngg}^{-1}$. Los compuestos cuya valor fue menor al límite de detección ($<0.01 \text{ ngg}^{-1}$) en esta colecta fueron: el β -HCH, heptacloro, epóxido de heptacloro, aldrín, endrín aldehído, endosulfán I y II (Tabla 4 ;Fig. 14).

El promedio más alto por familia química de plaguicidas organoclorados correspondió al grupo de los aromáticos, con un valor de $6.78 \pm 1.58 \text{ ngg}^{-1}$ (Tabla 4), en orden decreciente siguieron los alicíclicos ($1.37 \pm 0.97 \text{ ngg}^{-1}$), y los ciclodiénicos ($1.08 \pm 0.09 \text{ ngg}^{-1}$).

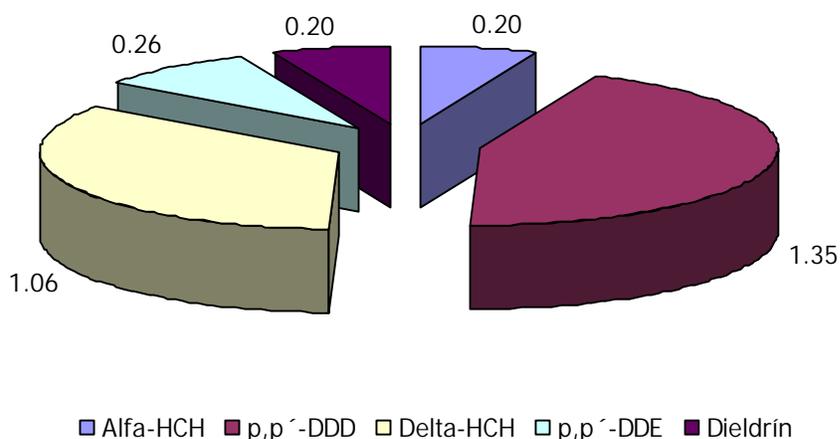


Figura 14. Concentración promedio de plaguicidas organoclorados en peces *Oreochromis sp* (ngg-1 peso seco) del lago de Metztlán, Hgo. (abril, 2002).

El alimento constituye la principal vía de ingestión de PO en este tipo de organismos y como una segunda ruta de ingreso está el agua filtrada por los mismos; en este sentido es importante mencionar la información con la que se cuenta en relación a la dinámica alimenticia de esta especie. Jiménez (1999) hace un estudio sobre el manejo de la pesquería de *Oreochromis aureus* en la presa de Infiernillo y concluye que, para este embalse, no se puede determinar una preferencia alimenticia definida. Menciona que esto se debe a que la disponibilidad de los recursos está muy influenciada por los fuertes cambios ambientales y es mucho mayor en la época de lluvias. Por otra parte, determinó que a pesar de los cambios mensuales en los contenidos estomacales, la tendencia es mantener una proporción similar entre la materia orgánica y los restos de plantas vasculares tanto en época de secas como de lluvias. Asimismo, encontró una tendencia decreciente en la proporción de ostrácodos, restos de peces y de insectos durante la época de lluvias, mientras que en la época de secas es mayor la proporción de semillas de gramíneas y de cladóceros.

En el ámbito Internacional, Chifamba (1990), señala la preferencia de organismos juveniles de *Tilapia rendalli*, en el Lago Kariba (Zimbawe), por las macrofitas *Ceratophyllum demersum*, *Lagarosiphon ilicifolius*, *Najas pectinata*, y *Valisneria aethiopica*. Estas variedades de macrofitas, fueron ofrecidas a los peces en proporciones iguales y mostraron preferencia sobre *V. aethiopica*. Esta preferencia se ratificó mediante el análisis de los contenidos estomacales. Estudios similares se han realizado a lo largo del tiempo, como el efectuado por Spataru (1976) en el que analiza diferentes aspectos en la alimentación natural, de *Tilapia galilea* y *Oreochromis aureus* en el Lago Kineret. En estos estudios se analizaron los hábitos de las especies, relacionados con la disponibilidad de alimento.

Hylsop (1980) propone que la preferencia hacia ciertos grupos alimenticios obedece a su abundancia en el ambiente, ya que, la cantidad o volumen de una categoría alimentaria en la dieta, está relacionada con su potencial alimentario en el ambiente, ésto es, su disponibilidad.

Las tilapias del Lago de Metztitlán son omnívoras, cuya preferencia alimenticia se encuentra influenciada por la temporalidad y la disponibilidad de recursos; Del Valle (2001) menciona un mayor consumo de materia vegetal, en el periodo comprendido entre enero y junio (época de secas), contrastado con una ingesta dominante de partículas sedimentarias para la época de lluvias; ésto con base en los contenidos estomacales, al igual que los ejemplares de *O. aureus* estudiados por Jiménez (1999).

En este sentido, se ha observado que el desove en estos organismos ocurre durante los meses de marzo y junio (Ibáñez, com. per.) por tanto, como se planteó en la hipótesis de este trabajo se esperaría obtener una mayor concentración de PO antes de dichos meses; sin embargo, no se realizaron colectas en los meses de febrero y

mayo, por lo que únicamente se pudo comparar los niveles de estos compuestos en los peces del lago, considerando sus hábitos alimenticios dominantes ya que no se cuenta con los datos de la fracción lipídica de los organismos capturados para este estudio, por consiguiente no es posible atribuir el almacenamiento de los compuestos clorados a las reservas grasas de las tilapias.

En nuestro país, existe un grupo de Normas Oficiales Mexicanas encaminadas a controlar la calidad de los productos pesqueros destinados al consumo humano. Específicamente para peces existen dos: NOM-027-SSA1-1993 para los frescos-refrigerados y congelados y NOM-028-SSA1-1993 para los de conserva. En ambas, se especifica que dichos productos no deben contener residuos de plaguicidas organoclorados como aldrín, dieldrín, endrín, heptacloro clordecona (kepone) u otros prohibidos en el Catálogo Oficial de Plaguicidas, CICOPAFEST (1998).

A nivel internacional existen criterios establecidos por Administración de los Estados Unidos para la Comida y los Medicamentos (US-FDA, 1998) los cuales son para el Aldrín/Dieldrín 300 ngg^{-1} , para la familia del DDT 5000 ngg^{-1} y para la familia del heptacloro 300 ngg^{-1} .

Comparando los criterios internacionales con las concentraciones encontradas en peces del lago de Metztitlán, Hgo., reportadas en la Tabla 4, ninguna concentración por familia de compuestos es superior a lo estipulado por la US-FDA (1998); sin embargo, cabe mencionar que a nivel nacional todos los compuestos detectados violan las Normas Oficiales Mexicanas mencionadas, por lo que no deberían ser consumidos.

8.1.2.2 JULIO 2002

La concentración total promedio de PO registrada en capturas comerciales de *Oreochromis sp* para julio (2002) en el lago de Metztitlán fue de $14.75 \pm 2.38 \text{ ngg}^{-1}$ (Tabla 5; Fig. 15).

De los 16 compuesto evaluados (Tabla 5; Fig. 15), el compuesto dominante para la familia de los alicíclicos fue el δ -HCH cuya concentración promedio fue de $6.97 \pm 1.07 \text{ ngg}^{-1}$, seguido del lindano (γ -HCH) con $0.48 \pm 0.20 \text{ ngg}^{-1}$, en éstos resultados se manifiesta la biodisponibilidad de dichos xenobióticos.

Tabla 5. Resultados de plaguicidas organoclorados en capturas comerciales de *Oreochromis sp* (ngg^{-1} peso seco) del lago de Metztitlán, Hgo. (Julio, 2002).

Compuesto	Promedio por compuesto (ngg^{-1})	Promedio por familia (ngg^{-1})
α -HCH	+	
β -HCH	+	Alicíclicos
γ -HCH	0.48 ± 0.20	9.32 ± 8.53
δ -HCH	6.97 ± 1.07	
p,p'-DDT	+	Aromáticos
p,p'-DDE	0.65 ± 0.40	12.17 ± 10.58
p,p'-DDD	6.65 ± 1.19	
Heptacloro	+	
Epóxido de heptacloro	+	
Aldrín	+	
Dieldrín	+	
Endrín	+	Ciclidiónicos
Endrín aldehído	+	+
Endosulfán I	+	
Endosulfán II	+	
Sulfato de endosulfán	+	
Conc. prom. de la colecta		14.75 ± 2.38

+ N. D. = $<0.01 \text{ ngg}^{-1}$.

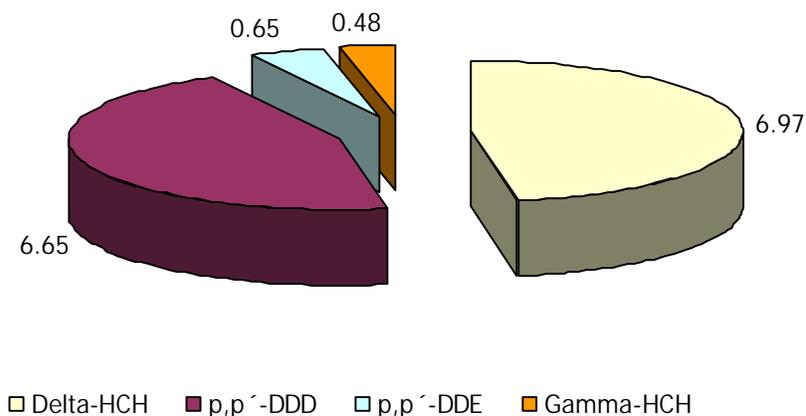


Figura 15. Concentración promedio de plaguicidas organoclorados en peces *Oreochromis sp.* (ngg⁻¹, peso seco) del lago de Metztitlán, Hgo. (Julio, 2002).

Mientras que para la familia de los aromáticos el analito dominante fue el p,p'-DDD (6.65 ± 1.19 ngg⁻¹), seguido del p,p'-DDE (0.65 ± 0.40 ngg⁻¹), y a diferencia de la colecta anterior, no se detectó el p,p'-DDT (<0.01ngg⁻¹) por lo que se infiere que no hubo aplicación de este compuesto recientemente.

Los compuestos cuyo valor fue menor al límite de detección (ngg⁻¹) para esta colecta de peces (julio, 2002) fueron el α-HCH, β-HCH, p,p'-DDT, heptacloro, epóxido de heptacloro, aldrín, dieldrín, endrín, endrín aldehído, endosulfán I y II y el epóxido de heptacloro (Tabla 5).

La concentración promedio más alta por familia química de PO correspondió al grupo de los aromáticos, con un valor de 12.17 ± 10.58 ngg⁻¹ (Tabla 5), y a continuación estuvieron de los alicíclicos (9.32 ± 8.53 ngg⁻¹). Para dicha colecta no se detectó algún compuesto representante de la familia de los ciclodiénicos.

Comparando los valores presentados en la tabla 5 con los criterios de la US-FDA (1998) se observa que las concentraciones en estos peces no sobrepasaron dichos niveles, mientras que a nivel nacional todos los compuestos detectados no cumplen con las Normas Oficiales Mexicanas (NOM-027-SSA1-1993, NOM-028-SSA1-1993).

En la actualidad, se ha registrado de manera continua la capacidad de diversos plaguicidas de originar alteraciones fisiológicas que afectan la salud de las especies acuáticas de diferentes maneras: a nivel endócrino alterando procesos de producción hormonal (Zhan *et al.*, 2000), como consecuencia de perturbaciones del proceso celular en tejido hepático (Oruc y Üner, 2000; Zapata-Perez *et al.*, 2000), y/o en tejido cerebral a través de la inhibición de los procesos de sinapsis por modificación de las estructuras enzimáticas (Chuiko, 2000); y que en casos subclínicos originan procesos de acumulación en tejido vivo debido a la distribución inespecífica en el organismo vía el sistema circulatorio (Zapata-Perez *et al.*, 2000; Zhan *et al.*, 2000) previa a la transformación química total ó parcial de los compuestos ingeridos en metabolitos (Ramaneswari y Rao, 2000). Aunque el proceso de distribución inespecífica origina procesos de bioacumulación diferenciados en algunos tejidos críticos del organismo (Ramaneswari y Rao, 2000) en función de la afinidad original del compuesto y/o la de los metabolitos derivados por un entorno histológico y celular determinado.

Los efectos de la ingesta continua causan respuestas en la modificación metabólica del organismo en dos partes: la primera, se desarrolla mediante el proceso de alteración química del compuesto ingerido en metabolitos como consecuencia del entorno celular inmediato (Oruc y Üner, 2000; Zápatá-Perez *et al.*, 2000) y que origina en primer lugar lesiones a nivel histológico, dañando el tejido (Zápatá-Perez *et al.*, 2000) y posteriormente por modificaciones del funcionamiento completo de un órgano (Chuiko, 2000; Zápatá-Perez *et al.*, 2000, Zhan *et al.*, 2000); en segundo lugar se origina una respuesta de compensación/atenuación de la función anómala

mediante el aumento de función normal de los tejidos no afectados o de la variación de la función celular y de los productos derivados de la misma (Chuiko, 2000; Zápata-Perez *et al.*, 2000, Zhan *et al.*, 2000).

Los estudios desarrollados sobre los efectos de plaguicidas en especies acuáticas se han enfocado mayormente a grupos de especies de interés comercial (Chuiko, 2000) dadas las repercusiones que el consumo de los mismos tiene en la salud humana y a la mayor incidencia de exposición, resultado de su vinculación con los procesos productivos pecuarios.

En ejemplares de *Cyprinus carpio*, *Abramis brama*, *A. ballerus*, *Blicca bjoerkna*, *Rutilus rutilus*, *Alburnus alburnus*, *Leuciscus idus*; *Perca fluaitilis*, *Stizostedion lucioperca*; *Esox lucius* y *Coregonus albula*, se evaluaron los efectos de los PO en la colinesterasa y acetilcolinesterasa y las alteraciones de la función cerebral, observándose respuestas diferenciadas por grupo taxonómico de inhibición de producción y acción enzimática de la estructura de ambos compuestos (Chuiko, 2000).

Se han evaluado los procesos de alteración endocrina por ingestión de hexaclorobenceno (HCB) en *Carassius auratus*, la acción de tal compuesto se estableció a partir de concentraciones del mismo en sedimentos junto con hexaclorociclohexano (HCH); del cual aunque se conocen cuatro formas isoméricas se localizó solo como β -HCH forma final del compuesto localizada en el ambiente. Aunque la determinación de los efectos del HCB no establece diferencia de la proporción del compuesto ingerido directamente del ambiente y del analito del que se origina como metabolito de HCH metabolizado, sí se ha demostrado que existen procesos sinérgicos cuando ambos compuestos se ingieren y sus efectos más notables son alteraciones de la función endócrina en la vía de producción de

hormonas sexuales esteroidales (estradiol y testosterona), lo que altera la disponibilidad de la misma en el sistema circulatorio, provocando una relación inversa entre el HCB bioacumulado en el hígado y la cantidad de hormonas sexuales disponibles en sangre (Zhan, 2000).

Resultados similares se han obtenido mediante experimentos de exposición e ingesta inducida en tilapia (*Oreochromis niloticus*) a plaguicidas HCB, p, p'-DDT, p, p'-DDE p, p'-DDD, y mirex, obtenidos de sedimentos estuarinos y que causaron efectos de alteración a nivel histopatológico, hematológico y bioquímico en los ejemplares a los que se administró vía parenteral los extractos en solución fisiológica, siendo el efecto más notorio alteraciones de la función hepática por modificación de la concentración de citocromo p-450 (Zapata-Pérez *et al.*, 2000).

Para observar los mecanismos de compensación o atenuación a los efectos de la ingesta de plaguicidas *in vitro* se expuso a ejemplares de *O. niloticus* a un tratamiento combinado de plaguicidas mostrándose un efecto sinérgico en la capacidad de alteración de la función hepática la que es contrarrestada por mecanismos antioxidantes que previenen incrementos en el nivel de peroxidación lipídica y por tanto se concluyó que *O. niloticus* puede resistir el estrés oxidativo ocasionado por concentraciones subletales de plaguicidas organoclorados (Oruc y Üner, 2000).

Muchos PO o sus productos de transformación que se encuentran en el aire y el suelo, llegan eventualmente a los ecosistemas acuáticos donde principalmente pueden: permanecer sin cambios en el agua, ser degradados parcial o totalmente, regresar a la atmósfera por volatilización, ser adsorbidos por las partículas suspendidas y sedimentos, absorbidos y/o consumidos de manera directa o indirecta por fitoplancton, zooplancton, vegetación acuática, peces y moluscos, etc. (Rosales,

1979a y 1979b; Restrepo y Franco, 1988; Albert y Alpuche, 1990); de tal manera que estos organismos pueden bioconcentrar o incluso bioacumular estos xenobióticos, pudiéndose presentar también el proceso de biomagnificación, hasta alcanzar concentraciones muy elevadas en los últimos eslabones de la cadena alimenticia, como por ejemplo los peces, que son consumidos a su vez por aves.

Es importante aclarar y precisar tales conceptos específicamente para el medio acuático, ya que existe confusión acerca de la nomenclatura. Las definiciones de bioconcentración, bioacumulación y biomagnificación propuestas por Gobas y Morrison (2000), citado en Mackay y Fraser (2000), están siendo cada vez más aceptadas como un estándar en la literatura y son las siguientes:

1) BIOCONCENTRACIÓN

La bioconcentración en peces implica la captación del contaminante por absorción del agua solamente (usualmente bajo condiciones de laboratorio), puede ocurrir a través de la superficie respiratoria y/o la piel y resulta en la concentración de éste en un organismo acuático, siendo mayor que la del agua.

El factor de bioconcentración (FBC) se define como el cociente de la concentración del contaminante en un organismo (CO), entre la concentración total en el agua (CTA) ó la concentración del contaminante libremente disuelto en agua (CDA), este último término es preferible porque considera solamente la fracción de la sustancia en el agua que está biológicamente disponible para la absorción.

$$FBC = \frac{CO}{CTA} \text{ ó } FBC = \frac{CO}{CDA} \text{ (teóricamente no incluye absorción por alimento)}$$

BIOACUMULACIÓN

La bioacumulación es el proceso que causa un aumento en la concentración del contaminante en un organismo acuático comparado con la del agua, en este caso la captación incluye todas las rutas de exposición, es decir, la absorción oral por los alimentos, el transporte a través de la superficie respiratoria y absorción cutánea. En otras palabras, la bioacumulación puede ser vista como una combinación de bioconcentración y de la captación a través del alimento. El factor de bioacumulación (FBA) en peces es el cociente de la concentración del contaminante en el organismo (CO), entre la del agua (algunos autores alternativamente consideran la concentración de la matriz sólida como los sedimentos), ya sea CTA ó CDA, similarmente al factor de la bioconcentración (FBC).

$$FBA = \frac{CO}{CTA} \text{ ó } FBA = \frac{CO}{CDA} \text{ (incluye absorción por alimento)}$$

De este modo, y siendo el hombre el consumidor final de los recursos acuáticos, en este caso peces, se han realizado muy pocos estudios en los que se evalúan los plaguicidas individualmente. Por ejemplo, en estudios epidemiológicos se han asociado a algunos insecticidas clorados como el DDT con el Hodgkin's, la leucemia. Mientras que el lindano es asociado con los tumores, además de están catalogados como carcinogénicos por la IARC (2002). Finalmente, en dicho trabajo se propuso para reducir el riesgo al exponerse a estos compuestos, que se reglamente el uso y aplicación de estos compuestos.

Por lo expuesto anteriormente la identificación y cuantificación de los compuestos organoclorados disponibles en el ambiente y susceptibles de ser asimilados y bioacumulados es el primer paso para la identificación de peligros potenciales para los distintos niveles tróficos de un ecosistema y su repercusión en la salud humana, la

posterior evaluación de sus efectos y su persistencia como elementos de riesgo es requerido para evaluar la relación costo/beneficio de su uso y establecer los mecanismos más adecuados para un uso apropiado o su restricción parcial ó total.

8.1.2.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO POR COLECTA

Para las tilapias de importancia comercial se realizó un análisis de varianza únicamente para los compuestos detectados en las dos colectas (γ -HCH, δ -HCH, p,p'-DDT, p,p'-DDE, p,p-DDD, dieldrín y endrín); para los cuales en los compuestos γ -HCH ($t = -1.4808$, $p = 0.0911$), δ -HCH ($t = -4.2294$, $p = 0.0019$) y p,p-DDD ($t = -3.7984$, $p = 0.0034$), se encontró que si existieron diferencias significativas entre las concentraciones de las colectas, esto puede ser por la biodisponibilidad de los analitos entre las diferentes épocas.

8.2. CARBONO ORGÁNICO PARTICULADO (COP)

Los porcentajes de carbono orgánico particulado en sedimentos superficiales del lago de Metztitlán para la época de secas noviembre (2001), oscilaron de 0.59 % en la estación 5 a 1.83 % (Tabla 6; Fig. 16), siendo la 1 la que presentó el porcentaje más alto para esa época climática. El promedio para dicha colecta fue de 1.06%. En contraste, para abril (2002), los niveles de COP fluctuaron de 0.53% en la estación 6 a 2.61% (Tabla 6; Fig. 16), siendo la 2 la que presenta el porcentaje más alto de esta temporada. El promedio para esta época fue de 1.03%.

Para la época de lluvias sólo se realizó una colecta en julio (2002) en donde se registraron niveles de 0.64 % a 1.51 % (Tabla 6; Fig. 16), y el valor más alto se localizó en la estación 13 ubicada sobre el río Venados antes del pueblo de San Cristóbal. El promedio para este muestreo fue de 1.02 ± 0.09 %.

Tabla 6. Porcentajes de carbono orgánico particulado en sedimentos superficiales del lago de Metztitlán, Hidalgo para las colectas nov, 2001; abril, 2002 y julio 2002.

Num. de Estación	Noviembre del 2001	Abril del 2002	Julio del 2002
01	1.83	0.74	0.83
02	1.66	2.61	0.71
03	1.40	0.77	0.73
04	1.13	0.77	0.69
05	0.59	0.66	1.14
06	0.95	0.53	0.64
07	+	1.75	1.05
08	+	1.00	1.46
09	+	0.72	1.28
10	0.66	+	1.10
11	+	+	1.10
12	0.66	0.92	+
13	0.71	0.83	1.51
Promedio \pm error estándar	1.06 ± 0.16	1.03 ± 0.19	1.02 ± 0.09

+N. C. = sedimento no colectado

Se detectaron sitios particulares de depositación del COP, que se localizaron en las estaciones 1 para el muestreo de noviembre (2001), en la 2 para abril (2002) y en la 13 para julio (2002).

La posible explicación para noviembre (2001) es que la época de lluvias llega a su fin por lo que los aportes de carbono orgánico particulado no son suficientes y las concentraciones que se encuentran en la columna de agua se desplazan a los lugares más lejanos conforme la corriente del sistema se lo permite, dicha corriente entra por el río con una dirección hacia el noroeste del lago, el cual tiene su punto final en el tubo de demasías, por eso se obtuvieron en la estación 1 y 2 que están cerca del tubo las concentraciones más altas de COP con 1.83 % y 1.66 % respectivamente.

Para la colecta de Abril (2002), la acumulación de COP en la estación 2, se debe a que en esta época no hay lluvias y los aportes de materia orgánica son en general nulos. Cerca de la estación 3 los aportes son mínimos ya que se practica la acuicultura (los peces que hay en las jaulas son alimentados todo el tiempo), lo que genera entrada de COP al sistema en esa parte del lago, además de todo lo que llega al sistema y permanece más tiempo en la columna de agua, sedimentándose en las partes más profundas o cercanas al tubo de demasía el cual es el punto de desfogue del sistema.

En julio (2002) empieza la época de lluvias y con ello los aportes de COP de las zonas aledañas al río y sobre el mismo donde se practica la agricultura dichos aportes son muy importantes, y la estación 13 lo refleja, está se localiza sobre el río y por tal motivo se obtuvo la mayor concentración de carbono orgánico, seguida de la estación 8 en donde desemboca el mismo.

Los sedimentos desempeñan un papel fundamental en la productividad de cualquier ecosistema, ya que es el medio de almacenamiento y transporte de nutrientes. El reconocimiento de la interrelación de los sistemas acuáticos y terrestres ha ocasionado un interés en la detección puntual de las fuentes de emisión de carbono y la forma disponible del mismo, puesto que los balances de nutrientes inorgánicos pueden indicar si un cuerpo de agua funciona como un sistema autótrofo ó heterótrofo total ó cíclicamente. Es decir, si se encuentra en balance como un todo y acepta más materia orgánica de la que produce, debe entonces estar importando carbono orgánico de fuentes externas para mantener tal equilibrio (Stepanauskas *et al.*, 2000).

Los químicos marinos utilizan el término materia orgánica para referirse colectivamente a cualquiera de los compuestos orgánicos, los cuales varían mucho en peso molecular y estructura, sin embargo, están formados primariamente de carbono, nitrógeno, oxígeno, fósforo y azufre (Libes, 1992).

La concentración de carbono orgánico particulado (COP) representada por detritus y ejemplares planctónicos heterotróficos (Libes, 1992; James *et al.*, 2000), comparada con la producción primaria de autótrofos indica la importancia proporcional de los sedimentos como principales aportadores de nutrientes al sistema, por lo que una tasa de asimilación por parte del zooplancton y bacterias heterótrofas más elevada que la producción primaria total del fitoplancton sugeriría que tal producción no es suficiente para mantener el balance de nutrientes establecido y, por lo tanto, los aportes provenientes de otro sistema son indispensables (James *et al.*, 2000).

El balance de cualquier sistema acuático no es constante a lo largo del tiempo y los procesos de producción primaria varían en cuanto a su eficiencia y cantidad total neta producida, lo que implica la magnitud del COP como nutriente no es similar durante

todas las temporadas, aunque existen sistemas lacustres que dependen más que otros de tales aportes. Además, existen otros factores que influyen respecto a la concentración total de COP en un embalse entre otros, la tasa de asimilación del carbono inorgánico disuelto y de su transformación a carbono orgánico particulado (Jansson *et al.*, 2000).

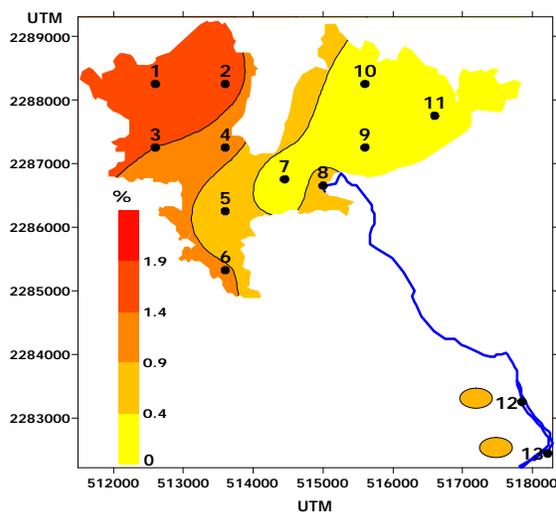
El hundimiento, por sedimentación, de una parte de este carbono orgánico celular permite el desarrollo y mantenimiento de comunidades bentónicas que si se encuentran dentro de una zona eufótica incrementan la productividad primaria de la zona al interactuar integrantes del zoobentos con organismos autótrofos; las tasas de sedimentación de COP son indicadores de la frecuencia y abundancia de aportes exógenos y endógenos y la cantidad de los mismos sugiere la proporción no asimilable dentro del esquema trófico del cuerpo de agua ó disponible entre estaciones (Graneli *et al.*, 1998).

En este estudio en general, para las tres épocas climáticas los niveles promedio de COP fueron similares, al realizar una análisis de varianza para verificar si había diferencias significativas entre las diferentes épocas climáticas, para dicho análisis se convirtieron los datos de porcentajes (%) a logaritmos para su fácil manejo, se obtuvo un valor de F de 0.16 el cuál no fue significativo con una $p = 0.8560$, además se realizó el mismo análisis para verificar si había diferencias significativas entre las estaciones y tampoco fue significativa ($F = 0.75$, $p = 0.6867$).

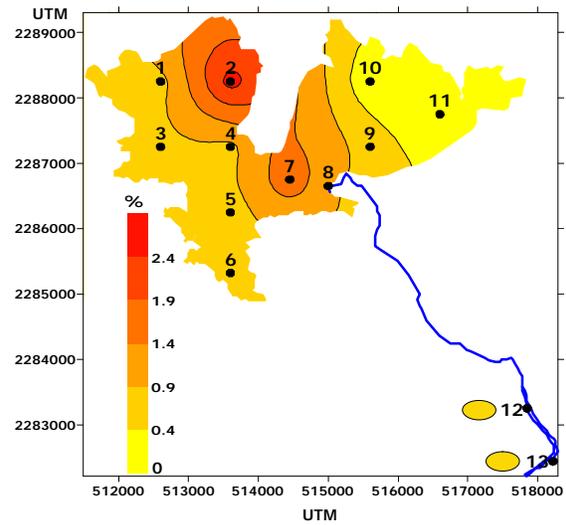
Con base en lo anterior se concluye que no hay diferencias significativas en la matriz de carbono orgánico particulado para las tres colectas (noviembre, 2001; abril y julio, 2002) y por estaciones en el sistema lacustre de Metztitlán , Hgo.

La poca variabilidad que se ve reflejada en los valores de COP puede ser explicada porque efectivamente el aporte de MO al lugar es grande (Pérez-Rojas, 2001), del cuál el porcentaje que corresponde a la fracción del COP es mínimo o se está utilizando rápidamente, además de que puede ser continuo a lo largo del año.

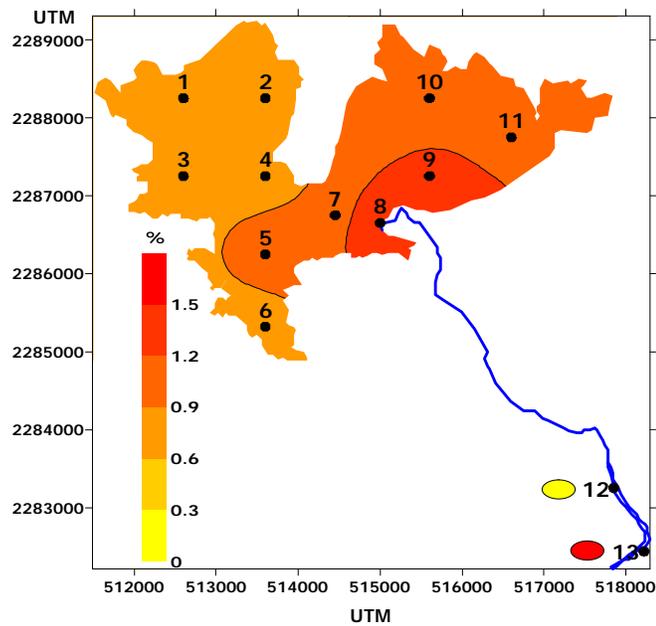
0



Distribución COP Noviembre, 2001



Distribución COP Abril, 2002



Distribución COP Julio, 2002

Figura 16. Distribución del COP (%) en los sedimentos superficiales del lago de Metztitlán, Hgo., para las colectas de noviembre (2001); abril (2002) y julio (2002).

8.3. CORRELACIÓN ENTRE LA CONCENTRACIÓN DE LOS PLAGUICIDAS ORGANOCOLORADOS Y EL CARBONO ORGÁNICO PARTICULADO EN SEDIMENTOS SUPERFICIALES.

8.3.1. NOVIEMBRE 2001

Para noviembre (2001), las concentraciones más altas para plaguicidas no correspondieron con los más altos para el COP, esto se puede deber a que los xenobióticos son más hidrofóbicos, lo que causa su rápida depositación en los sedimentos mientras que el carbono orgánico tiende a permanecer más tiempo en la columna de agua por sus características de mayor solubilidad. Además, en el lago existe un tubo de demasías (cercano a las estaciones 1 y 2), el cual hace un drenado del mismo en dirección oeste-noreste, por lo que se esperaría que el carbono orgánico suspendido se movilizara en este sentido, aunado a los aportes de materia orgánica exógena en la estación 3, zona donde se practica la acuicultura por parte de los lugareños (Fig. 17).

Por otra parte, los aportes de PO se presentaron en la entrada del río Venados y cerca de las estaciones 7, 5 y 8, donde está la mayor concentración de tierras de cultivo y por lo tanto, la mayor utilización de agroquímicos. Del mismo modo, en la estación 4 se genera una circulación particular debido a la descarga del río hasta la desembocadura localizada entre las estaciones 1 y 2 (Fig. 17).

La correlación entre PO y COP para noviembre (2001) registró un coeficiente de $r = 0.4063$ ($p = 0.2818$), la cuál no es significativa, por lo que el patrón de acumulación directa es incipiente, entre los xenobióticos clorados y el componente orgánico sedimentario; solamente se establecieron sitios particulares de almacenamiento de plaguicidas organoclorados dentro del lago como son las estaciones 13, 4, 2, las

cuales están sujetas al aporte de plaguicidas y a las condiciones ambientales como las lluvias vientos que ayudan en el transporte de dichos xenobióticos. Además de la falta de resuspensión de los PO lo que favorece su permanencia en el fondo del sistema (Fig. 17).

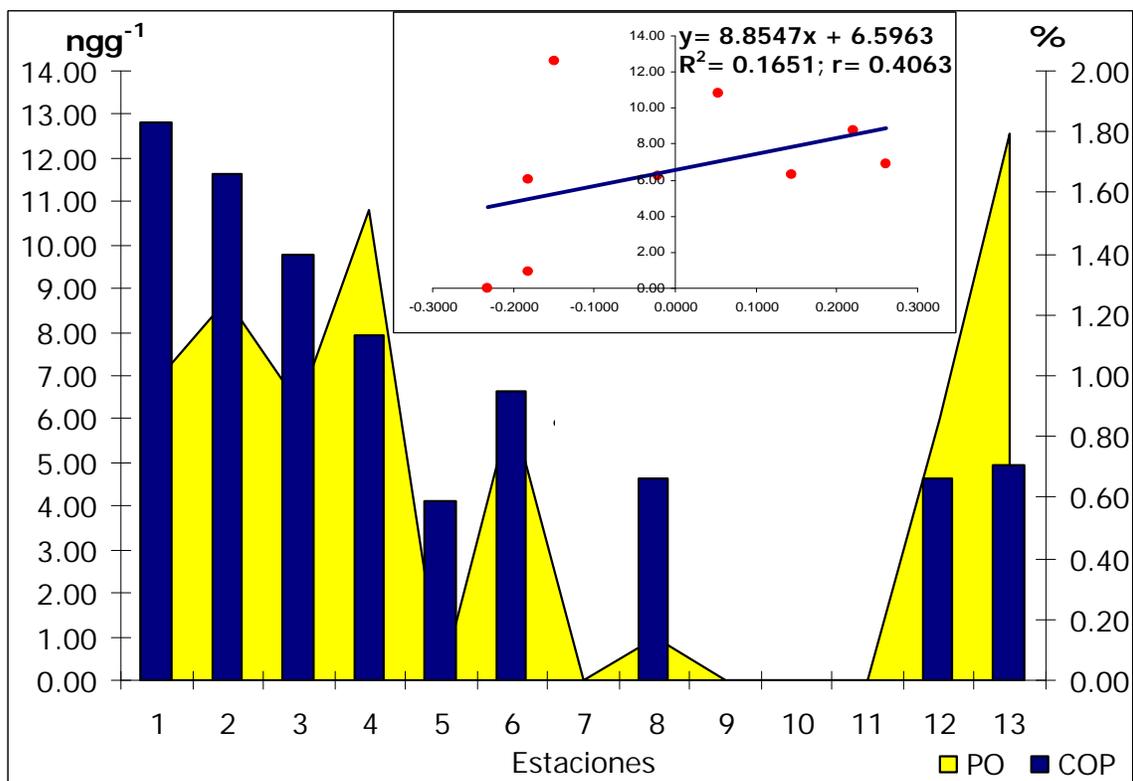


Figura 17. Correlación entre plaguicidas organoclorados (ngg⁻¹) y carbono orgánico particulado (%), en sedimentos recientes (peso seco), por estación de colecta en el lago de Metztlán, Hidalgo (Noviembre del 2001).

8.3.2. ABRIL 2001

Al igual que en la colecta anterior (noviembre, 2001) las concentraciones más altas registradas en abril del 2002, para plaguicidas no correspondieron con los niveles más altos para COP, para esta colecta se localizaron los lugares de depositación de COP en las estaciones 2 , 7 y 12, ésto debido a la corriente generada dentro del lago por la entrada del río y la salida por el tubo de demasías cercano a las estaciones 1 y 2 (Fig. 18).

Por otra parte, los aportes de plaguicidas se distribuyeron a todo lo largo del río, por lo que las estaciones 1, 3, 6, 8 y 13 son las que presentaron las mayores concentraciones de estos xenobióticos (Fig. 18).

La correlación que se registró para abril (2002) tuvo un coeficiente ($r=$) de - 0.5822 ($p = 0.0602$), el cual no es significativo y por lo tanto para esta colecta no hay un patrón de acumulación directa entre los PO y el componente orgánico sedimentario; y donde si existieron sitios particulares de almacenamiento para cada uno de los componentes analizados, definidos por los lugares de aporte de cada matriz (Fig. 18).

Cabe mencionar que, si bien no es significativa la correlación entre estas dos variables, se observó que los lugares en donde se presentó la mayor concentración de PO, los niveles de COP fueron menores como es el caso de la estación 2.

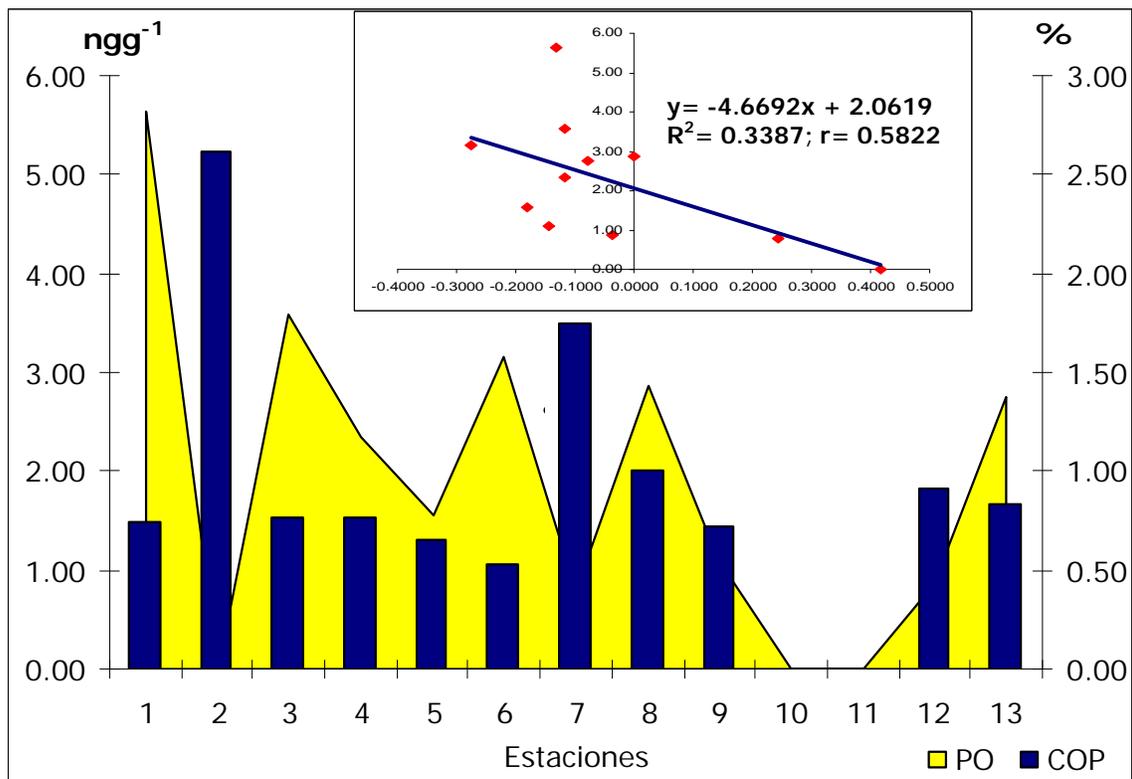


Figura 18. Correlación entre plaguicidas organoclorados (ngg^{-1}) y carbono orgánico particulado (%), en sedimentos recientes (peso seco), por estación de colecta en el lago de Metztitlán, Hidalgo (abril del 2002).

8.3.3. JULIO 2002

En julio (2002) las concentraciones más altas para plaguicidas no correspondieron con los más altos para el COP en todas las estaciones, esto por las características antes mencionadas. Cabe mencionar que en el mes de julio comienza la época de lluvias lo que se ve reflejado en la distribución de las concentraciones encontradas en el lago para los dos vectores analizados (Fig. 19).

Para esta colecta la estación 8 y 13 tuvieron las concentraciones más altas de COP porque el principal aporte de dicha matriz en temporada de lluvias es el río. Por otra parte, la estación 8 y 10 ubicada a lo largo del río y en la parte noreste del lago respectivamente presenta una mayor concentración de xenobióticos por todos los escurrimientos de los cultivos que se encuentran en la parte noreste del lago (Fig. 19).

La correlación que se registró en julio (2002) tuvo un coeficiente (r) de 0.4906 ($p = 0.1041$), el cual no es significativo, lo que no muestra un patrón de acumulación directa, entre los compuestos clorados y el componente orgánico sedimentario; solamente hubo sitios particulares de almacenamiento de PO dentro del lago como son las estaciones 8 y 10 y 13 las que están sujetas al aporte de plaguicidas y a las condiciones de circulación del sistema que favorecen su permanencia en el fondo del sistema (Fig. 19).

Finalmente, el proceso de dispersión y posterior sedimentación de los distintos analitos que ingresan en la columna de agua para depositarse en el sustrato está definido por las características fisicoquímicas del mismo principalmente su peso específico, tasa de solubilidad, afinidad química e interacciones de unión con otros elementos, por lo que la dispersión común a partir de una misma fuente bajo

similares circunstancias de difusión no implica una relación proporcional ó constante de elementos exógenos en la columna de agua y sustrato (Campbell *et al.*, 2000).

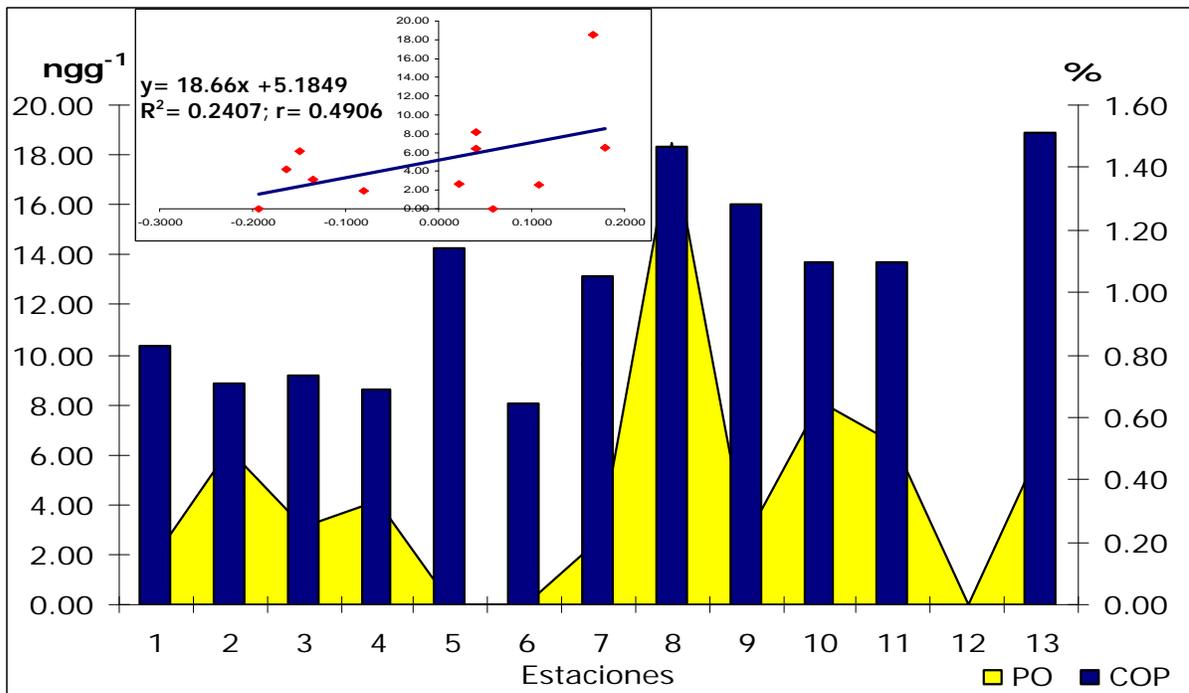


Figura 19. Correlación entre plaguicidas organoclorados (ngg^{-1}) y carbono orgánico particulado (%), en sedimentos recientes (peso seco), por estación de colecta en el lago de Metztitlán, Hidalgo (julio del 2002).

8.4. CORRELACIÓN ENTRE LA CONCENTRACIÓN DE LOS PLAGUICIDAS ORGANOCLORADOS Y EL TIPO DE SEDIMENTO.

Se realizaron las correlaciones entre las concentraciones de plaguicidas y el tipo de sedimentos para cada época climática (noviembre 2001, abril y julio, 2002) para las cuales las correlaciones (r) fueron muy bajas y ninguna fue estadísticamente significativa.

9. DISCUSIÓN GENERAL.

Como se mencionó anteriormente, el análisis de los PO era prioritario en la zona de Metztitlán y más aun para el lago donde se practica la acuicultura, ya que todos los compuestos utilizados en los cultivos, ubicados a todo lo largo del río Venados, están siendo transportados y depositados en dicho sistema lacustre.

El presente estudio es pionero en la detección de plaguicidas para sistemas lacustres en México, ya que se cuenta con el reportado por Calderón-Villagómez *et al.*, (2001) en el lago de Catemaco, Ver. y el de Gold- Bouchot (1995) en el Río Palizada, además de que a nivel internacional hay pocos trabajos realizados en sistemas acuáticos, de ahí la importancia del desarrollo de investigaciones sobre el tema.

La estacionalidad no fue un factor importante en la distribución y almacenamiento de los PO en el área de estudio; de los 16 compuestos detectados en las tres colectas de sedimentos y las dos de peces los PO dominantes en el lago de Metztitlán fueron el α -HCH, β -HCH, γ -HCH δ -HCH, p,p' -DDT y p,p' -DDD, para los cuales hay una estricta restricción de uso, tanto en sedimentos como en organismos, esto ratifica la falta de apego a la normatividad existente; la detección del DDT en su forma original así como, sus productos de transformación (DDD), manifiesta que el empleo y la aplicación de este organoclorado no ha sido reciente pero su alta persistencia posibilitó su registro en la fracción sedimentaria en dicho lago.

Los hábitos alimenticios de los peces evaluados llevarían a establecer teóricamente una relación estrecha con los sedimentos del hábitat, lo cual no fue detectado en este trabajo, por lo que el contenido de PO en estos organismos es resultado de diversos factores, entre ellos, la descarga de xenobióticos en el área donde se encuentren, la temperatura ambiental, el contenido lipídico, entre otros. Cabe mencionar que no se

pudo realizar la relación entre la concentración de PO y el contenido de grasas, ya que ésta última no fue cuantificada para las tilapias colectadas.

Finalmente, se espera que la información obtenida beneficie a los pobladores de los alrededores del lago y gobernantes del Valle de Metztitlán, para poder prevenir y alertar a todas las personas que de una u otra manera, estén en contacto con éstos y otros plaguicidas con el fin de preveer los daños que pudiera provocar por estos compuestos.

10. CONCLUSIONES

1. La concentración de PO en los sedimentos superficiales del lago de Metztitlán, Hgo., no presentó diferencias significativas entre la época de secas y la de lluvias. Lo mismo sucedió al considerar cada familia química.
2. La familia de PO sobresaliente en noviembre (2001) y abril (2002) fue la de los alicíclicos, mientras que para julio (2002) fueron los aromáticos.
3. Los compuestos de PO predominantes en orden decreciente para noviembre (2001) fueron: δ -HCH, γ -HCH, sulfato de endosulfán, p,p'- DDT y α -HCH. Para abril (2002) fueron: β -HCH, γ -HCH, p,p' -DDD, p,p' -DDT y δ -HCH. Para julio (2002) fueron: epóxido de heptacloro, p,p' -DDT, heptacloro, γ -HCH y δ -HCH.
4. En cada época climática evaluada, las concentraciones del lindano a nivel puntual fueron superiores a las concentraciones que podrían causar efectos adversos en las comunidades bentónicas, por lo que se recomienda realizar pruebas de toxicidad.
5. Las concentraciones de PO en peces si presentaron diferencias significativas por compuesto (γ -HCH, δ -HCH y p,p'-DDD). Mientras que no se presentaron diferencias por familia química ni por época climática.
6. En los peces, los compuestos más frecuentes y abundantes para abril (2002) fueron p,p'-DDD, δ -HCH y p,p'-DDE; mientras que para julio (2002) fueron δ -HCH, p,p'-DDD, que se caracterizan por ser altamente persistentes y bioacumulables.

7. La familia de PO dominante en los peces para abril (2002) y julio (2002) fue la de los aromáticos.
8. Los niveles de PO registrados en peces del lago Metztlán, no cumplen con las normas oficiales mexicanas relacionadas con alimentos destinados a consumo humano.
9. Las concentraciones de DDT's, aldrín, dieldrín, heptacloro y epóxido de heptacloro en los peces evaluados fueron menores que los niveles de tolerancia establecidos por la USFDA para peces destinados al consumo humano.
10. Es urgente que se haga una revisión de la legislación existente en relación a los PO, con el fin de restringir o incluso prohibir su uso, ésto con base en las necesidades de nuestro país, sobre todo de aquellos que son prioritarios internacionalmente. Además de que, las Normas Oficiales Mexicanas deben de ser precisas en cuanto a la máxima cantidad que los alimentos para consumo humano pudieran contener este tipo de compuestos.
11. La presencia de los diferentes metabolitos del DDT (p,p' DDT, p,p' DDE y p,p' DDD) y los del HCH (α -HCH, -HCH, γ -HCH y δ -HCH) tanto en los sedimentos como en los peces del lago de Metztlán, Hgo. demuestra la falta de apego a la legislación (CICOPLAFEST, 1998), ya que su uso está prohibido en México.
12. El contenido de carbono orgánico particulado (COP) registró valores promedio similares y estadísticamente no se presentaron diferencias significativas, en noviembre (2001), abril y julio (2002), manifestando que las fuentes de aporte para esta componente sedimentario son continuas a lo largo de todo el año.

13. Aunque no se obtuvo una correlación lineal entre el contenido de COP y la concentración total de PO, en cada temporada; en ambas se observó que en sitios puntuales presentaron la tendencia de una acumulación directa.

14. Tampoco se presentó una correlación lineal entre el tipo de sedimentos y la concentración total de PO por época climática.

15. Con base en la literatura consultada, dichos xenobióticos determinados en sedimentos superficiales y en peces pueden llegar a afectar a los consumidores principales de los alimentos por la dinámica que presentan al bioacumularse y biomagnificarse, siendo mayormente afectadas las aves y el hombre por ser los eslabones finales en la cadena alimentaria.

11. REFERENCIAS

- Albert, L.A. (1990) *Los plaguicidas y sus efectos en el ambiente y la salud*. Centro de Ecodesarrollo México, D.F. 331 p.
- Albert, L.A. (1996) Persistent Pesticides in México. *Rev. Environ. Contam. Toxicol.* 147:1-44.
- Álvarez-Silva, C. y R. González-Ortiz (2000a) *Leptodiptomus novamexicanus* (Copepoda: calanoida) en el Estado de Hidalgo, México. *Rev. Biol. Trop.* 48(2):
- Álvarez-Silva, C. y M.G. Miranda-Arce (2000b) Ampliación del ámbito de *Leptodiptomus novamexicanus* herrick, 1895 (Copepoda: calanoida) para el Estado de Hidalgo, México. p 113. En: Ríos-Jara E., E. Juárez-Calvillo, M. Pérez-Peña, E. López-Uriarte, E.G. Robles-Jarero, D.U. Hernández-Becerril y M. Silva-Briano (eds.) *Estudios Sobre Plancton en México y el Caribe*. Sociedad Mexicana de Planctología y Universidad de Guadalajara. 145 p.
- AMIPFAC Asociación Mexicana de la Industria de Plaguicidas y Fertilizantes A.C. (1985) *Curso de orientación para el buen uso y manejo de plaguicidas*. México. 373 p.
- Basturk, O., M. Dogan, I. Salihoglu y T.I. Balkas (1980) DDT, DDE, and PCB residues in fish, crustaceans and sediments from the Eastern Mediterranean Coast of Turkey. *Mar. Pollut. Bull.* 11:191-195.
- Botello, V.A., GG.Díaz, L. Rueda y F.S. Villanueva (1994) Organochlorine compounds in oysters and sediments from coastal lagoons of the Gulf of Mexico. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 53:238-245.
- Brown, A.W.A. (1978) *Ecology and Pesticides*. John Wiley and Sons, New York. 525 p.
- Buchman, M.F. (1999) *NOAA Screening Quick Reference Tables, NOAA HAZMAT report 99-1, Seattle WA, Costal Protection and Restoration Division, National Oceanic and Atmospheric Administration*. 12 p.
- Calderón-Villagómez, HE, R. González-Enriquez y C. Durán de Bazúa, (2001) Plaguicidas en sedimentos y organismos acuáticos del lago de Catemaco, Veracruz, México. *Rev. Int. Contam. Ambient.* 17:(1) 23-30.
- Calva, B.L.G. y M.R. Torres (1998) *Plaguicidas organoclorados*. UAM-I ContactoS 30:35-46.

- Campbell, L.M., D.W. Schindler, D. Muir, D.B. Donald y K.A. Kidd (2000) Organochlorine transfer in the food web of subalpine Bow Lake, Banff National Park Canadian. *J. Fish. Aquatic Sciences* 57(6): 1258-1269.
- Cantú, S.T. (1953) La Vega de Metztlán en el Estado de Hidalgo. Tesis Maestría en Geografía, UNAM. México D.F. 279 p.
- Chifamba, P.C. (1990) Preference of *Tilapia rendalli* for some species of aquatic plants. *J. Fish. Biol.* 36: 701-705.
- CICOPLAFEST Comisión Intersecretarial para el Control del Proceso y Uso de Plaguicidas, Fertilizantes y Sustancias Tóxicas (1998) *Catálogo oficial de plaguicidas*. Secretaria del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca/ Secretaría de Comercio y Fomento Industrial/ Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural/ Secretaría de Salud.
- Comisión para la Cooperación Ambiental de América del Norte (CCA). (2000). *Situación actual de la malaria y el uso de DDT en México*. Centro Nacional de Vigilancia Epidemiológica, Centro Nacional de Salud Ambiental, SSA. Gallardo-Díaz E. G. (Coordinador). 61 p.
- Comisión para la Cooperación Ambiental de América del Norte (CCA). 2001. *Diagnóstico situacional del uso de DDT y el control de la malaria. Informe regional para México y Centroamérica*, 58 p. [en línea (pdf)]. Instituto de Salud Ambiente y Trabajo de México (ISAT). PAHO/WHO/PNUMA/CCA, Global Environment Facility. Fecha de publicación: 21 de diciembre de 2001, [fecha de consulta: 4 de octubre de 2002]. En: < http://www.cec.org/files/PDF/POLLUTANTS/InfRegDDTb_ES_EN.pdf >.
- Cortinas de Nava C., M. O.L. Loredó y F. A. Cristián (1996) *Lo que usted debe saber sobre el DDT y su uso en el combate al paludismo en México*. Serie DDT No. 1. INE/SEMARNAP. México, D. F. 9 p.
- Cremllyn, R. (1992) *Plaguicidas modernos y su acción bioquímica*. Limusa Grupo Noriega Editores, México 355 p.
- Chuiko, G.M. (2000) Comparative study of acetylcholinesterase and butyrylcholinesterase in brain and serum of several freshwater fish: specific activities and in vitro inhibition by DDVP, an organophosphorus pesticide. *Comparative Biochemistry and Physiology* 127(3): 233-242.
- Dachs, J., J.M. Bayona, S.W. Fowler, J.C. Miquel y J. Albaiges (1996) Vertical fluxes of polycyclic aromatic hydrocarbons and organochlorine compounds in the western Alboran Sea (southwestern Mediterranean). *Mar. Chem.* 52(1): 75-86.
-

- Del Valle, T.M.A. (2001) Hábitos alimenticios de las tilapias del lago de Metztlán. Informe de servicio social. UAMI. México. 25 p.
- Diario Oficial de la Federación (1991) *Catálogo oficial de plaguicidas*. Tomo CDLV Tomo 13, 1ª y 2ª sección. México D.F. 128 p.
- Díaz-González, G. (1992) Determinación de hidrocarburos organoclorados en sedimento y organismos de la plataforma continental y zonas costeras del Golfo de México. Tesis Doctoral Instituto de Ciencias del Mar y Limnología UNAM, México. 169 p.
- Dich, J, S.H. Zahm, A. Hanberg y H.O. Adami (1997) Pesticides and cancer. *Cancer Causes and Control* (8): 420-443.
- Espina, S y C. Vanegas (1996) Ecotoxicología y contaminación. En: Botello, A.V., J.L. Rojas-Galavis, J. Benítez y D. Zárate-Lomelí (eds.) (1996) *Golfo de México contaminación e impacto ambiental: Diagnóstico y tendencias*. Universidad Autónoma de Campeche, EPOMEX. Serie Científica 5 93-94 p.
- Gaudette, H.E., W.R. Fligat, L. Torner y D.W. Folger (1974) An inexpensive titration method for the determination of organic carbon in recent sediments. *J. Redimen. Petrology*. 44: 249-253.
- G. Gold-Bouchot, T. Silva-Herrera and O. Zapata-Perez. 1993. Chlorinated Pesticides in the Rio Palizada, Campeche, México. *Mar. Poll. Bull.* 26(11): 648-650.
- G. Gold-Bouchot, T. Silva-Herrera and O. Zapata-Pérez. 1995. Organochlorine Pesticide Concentrations in Biota and Sediments from Rio Palizada, Mexico. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 53(4): 554-561.
- Granados, S.D. y R.G.F. López (1996) *Agroecología*. Universidad Autónoma de Chapingo, México. 420p.
- Graneli W, M. Lindell, B.M. De Faria y F. De Assis-Esteves (1998) Photoproduction of dissolved inorganic carbon in temperate and tropical lakes - dependence on wavelength band and dissolved organic carbon concentration. *Biogeochem.* 43(2): 175-195.
- Gray, J.S. (2002) Biomagnification in marine systems: the perspective of an ecologist. *Mar. Pollut. Bull.* 45:46-52.
- Gutiérrez, G.E., L.M. Ríos, G.F. Muñoz y J.C. Villaescusa (1998) Chlorinated hydrocarbons in marine sediments of Baja California (México)- California (USA) border zone. *Mar. Pollut. Bull.* 36(1): 27-31.
-

- Hassal, K.A. (1990) *The biochemistry and uses of pesticides metabolism, mode of action and uses in crop protection*. Edition 2^a MacMillan Press Ltd. 240 p.
- Henderson-Seller, B. (1984) *Engineering Limnology*. Pitman Advanced Publishing Program 356 p.
- Hernández-Avilés, J.S., J.G. Navarro-Castro y B. Badillo-Huerta (2000) Comparación del crecimiento de la mojarra *Oreochromis niloticus* bajo un régimen de cultivo en jaulas flotantes de la Laguna de Metztlán, Edo. de Hidalgo. VII Congreso Nacional de Ictiología del 21-24 de noviembre, Ciudad de México.
- Hodges, L. (1973) *Environmental Pollution*. Second Edition (ed.) Holt, Rinehart and Winston, New York. 100 p.
- Hylsop, E.J. (1980) Stomach contents analysis-a review of methods and their application. *J. Fish. Biol.* 17:411-429.
- IARC International Agency for Research on Cancer (2002) Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans and their supplements: a complete list. [on line], last update: December, 4th, 2002, [Consultado el: 10 de diciembre de, 2002]
Disponible en: [<http://monographs.iarc.f1/monoeval/allmonos.html>]
- Ibáñez, A.A.L. (en prensa) Impact of the fining of stocking on growth and allometric index in aquaculture based fisheries. *Fisheries Management and Ecology*.
- Ibáñez, A.A.L. y C.J.L. García (1999) Metztlán: limnología y análisis de una pesquería derivada de la acuicultura. Memorias de la IV Reunión Nacional de Redes de Investigación en Acuicultura Cuernavaca, Morelos 19-21 octubre.
- Ibáñez, A.A.L., C.J.L. García, A. Pérez-Rojas, S. Alvarez-Hernández, C. Alvarez-Silva y E. Nuñez-Portugal (2002) *El lago de Metztlán, Hidalgo*. En: De la Lanza, G. y J.L. García-Calderón (2002) *Lagos y Presas de México*. 2^a Edición AGT editores, México, DF. 240 p.
- Jackson, M.L. (1970) *Análisis químico de suelos*. Ediciones Omega S.A. Barcelona, España. 662 p.
- James, M.R., I. Hawes, M. Weatherhead, C. Stanger y M. Gibbs (2000) Carbon flow in the littoral food web of an oligotrophic lake. *Hydrobiol.* 441(1-3): 93-106.
- Jand, Z., S. Hoar, A. Hanberg y A. Hans-Olov (1997) Pesticides and cancer. *Cancer causes and control*. 8:420-443.
-

- Jansson, M., A.K. Bergstroem, P. Blomqvist y S. Drakare (2000) Allochthonous organic carbon and phytoplankton/bacterioplankton production relationships in lakes. *Ecol.* 81(11): 3250-3255.
- Jonson, C.M. y M.T. Toledo (1993) Bioaccumulation and elimination of endosulfan in the fish Yellow tetra (*Hyphessobrycon bifasciatus*). *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 50:572-577.
- Juárez, F.J. y A.A.L. Ibáñez (2003) Abundancia y primer registro de los macroinvertebrados bentónicos del lago de Metztlán, Hidalgo. *Hidrobiológica.* 13 (2):137-144.
- Jímenez, B.L. (1999) Análisis de la pesquería de Tilapia en la presa Adolfo López Mateos, Michoacán Guerrero. Tesis Doctoral en Ciencias del Mar. UNAM México D.F. 178 p.
- Kilikidis, S.D., A.P. Kamarianos y X.N. Karamanlis (1992) Seasonal fluctuations of organochlorine compounds in the water of the Strimon River (N. Greece). *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 49:375-380.
- Li, X.D., B.X. Mai, G. Zhang, G.Y. Sheng, J.M. Fu, S.M. Pan, O.W.H. Wai y Y.S. Li (2001) Distribution of organochlorine pesticides in a sediment profile of the Pearl River Estuary. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 67:871-880.
- Libes, S. (1992) *An introduction to marine biogeochemistry*. Wiley & Sons, Inc. USA 734 p.
- Long, E.R., D.D. Macdonald, S.L. Smith y F.D. Calder (1995) Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments. *Environ. Manag.* 19(1):81-97.
- Maldonado, C. y J.M. Bayona (2002) Organochlorine Compounds in the North-western Black Sea Water: Distribution and Water Column Process. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 54(3): 527-540.
- Manirakiza, P., A. Covaci, L. Nizigiymana, N.G. Takimazi y P. Schepens (2002) Persistent chlorinated pesticides and polychlorinated biphenyls in selected fish species from Lake Tanganyika, Burundi, Africa. *Environ. Pollut.* 117:447-455.
- Mugachia, J., L. Kanja y T. Maitho (1992) Organochlorine pesticide residues in estuarine fish from the Athi river, Kenia. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 49: 199-206.
-

- Nasir, K., Y.Y. Bilito y Y. Al-Shuraiki (1998) Residues of chlorinated hydrocarbon insecticides in human milk of Jordanian women. *Environ. Pollut.* 99(2):141-148.
- Navqui, S. y C.H. Vaishnavi (1993) Bioaccumulative potential and toxicity of endosulfan an insecticide to non-target animals. Mini-review Comparative Biochemistry and physiology. 105C:347-361. En: Calva, L.G. y M.R. Torres (1998) *Plaguicidas organoclorados*. UAM-Iztapalapa ContactoS 30:35-46.
- Nhan, D.D., F.P. Carvalho, N.Q. Tuan, N.T.Y. Yen, J.P. Villeneuve, C. Cattini (2001) Chlorinated pesticides and PCBs in sediments and mollusks from freshwater canals in the Hanoi region. *Environ. Pollut.* 112:311-320.
- NOAA National Oceanic and Atmospheric Administration (1999) Sediment Quality Guidelines developed for the National Status and Trends Program, 10 p. [on line (pdf)]. Last updated: December 6th, 1999, [Consultado el 24 de octubre de 2002]. Disponible en:
<<http://response.restoration.noaa.gov/cpr/sediment/SPO.pdf>>.
- NOM-027-SSA1-1993. Bienes y servicios. Productos de la pesca. Pescados frescos-refrigerados y congelados. Especificaciones sanitarias. (29/11/94).
- NOM-028-SSA1-1993. Bienes y servicios. Productos de la pesca. Pescados en conserva. Especificaciones sanitarias. (29/11/94).
- OMS Organización Mundial de la Salud. (1992) *Consecuencias sanitarias del empleo de plaguicidas en la agricultura*. Ginebra, Suiza 128 p.
- ONU Organización de las Naciones Unidas (1984) Consolidated list of products whose consumption and/or sale have been banned, withdrawn, severely restricted or not approved by governments.
- Oruc, E.O. y N. Üner (2000) Combined effects of 2,4-D and azinphosmethyl on antioxidant enzymes and lipid peroxidation in liver of *Oreochromis niloticus*. Comparative. *Biochem. Physiol.* 127(3): 291-296.
- Osuna-Flores, I. y M.C. Riva (2002) Organochlorine pesticide residue concentrations in shrimps, sediments, and surface water from bay of Ohuira, Topolobampo, Sinaloa, Mexico. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 68:532-539.
- PAN Pesticide Action Network (1991) Demise of dirty dozen global pesticide campaigner. Regional Center 1:1-20.

-
- Pérez-Rojas, A., C.J.L. García y R.C. Salas (2002) Morfometría y sedimentos recientes de un lago del altiplano central mexicano. Resúmenes del II Congreso Nacional de la Asociación Mexicana de Limnología.
- Ramaneswari, K. y L.M. Rao (2000) Bioconcentration of Endosulfan and Monocrotophos by *Labeo rohita* and *Channa punctata*. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 65(5): 618-622.
- Rand, G.M. y S.R. Petrocelli (1995) Fundamentals of aquatic toxicology, methods and applications. Hemisphere publishing corporation. New York. 150 p.
- Rawson, D.S. (1952) Mean depth and fish production of large lakes. *Ecology.* 33:513-521.
- Rodríguez, G.M.P., R. Alatorre, R.P. Guzmán, H.S. Navarro, R. Peña-Martínez, D. Flores y M.A. Pérez-Olvera (2002) Diagnostico preliminar agropecuario y fitosanitario de los principales sistemas de cultivos en Metztitlán, Hgo. (Proyecto en desarrollo) C.P., Fundación Produce Hidalgo. (Inédito).
- Rodríguez, R.E. (1996) Prospección batimétrica de la laguna El Vigia-Playa del Pozo. Informe Técnico para el Centro de Interpretación de la Naturaleza (YUMKA) 17 p.
- Rosales, M.T.L., A.V. Botello, H. Bravo y E.F. Mandelli (1979a) PCBs and organochlorine insecticides in oysters from coastal lagoons of the Gulf of Mexico, Mexico. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 21:652-656.
- Rosales, M.T.L., A.V. Botello, M. Bravo y E.F. Mandelli (1979b) PCB's and organochlorine insecticidas in oysters from coastal lagoons of the Gulf of México, México. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 21:652-656. En: Albert, L.A. (1996) Persistent Pesticides in México. *Rev. Envirom. Contam. Toxicol.* 47:1-44.
- Rosales, M.T.L., R.L. Escalona, R.M. Alarcón y V. Zamora (1985) Oraganochlorine hydrocarbon residues in sediments of two different lagoons of Northwestern Mexico. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 35:322-330. En: Albert, L.A. (1996) Persistent Pesticides in México. *Rev. Envirom. Contam. Toxicol.* 47:1-44.
- Rovirosa, W.L. (1973) *La Comisión para el desarrollo de la cuenca del río Meztitlán.* Secretaría de Recursos Hidráulicos. México, D.F. 58 p.
- Rueda, L.Q., A.V. Botello y G.G. Díaz (1997) Persistencia de Plaguicidas Organoclorados en dos sistemas Lagunares del Estado de Chiapas, México. *Rev. Int. Contam. Ambient.* 13(2):55-61.
-

- Sánchez-Mejorada, H. y C. Chávez-Arias. (1953). Las cactáceas de la carretera Pachuca-Metzitlán. *Memorias del Congreso Científico Mexicano*. 6:280-284. En: Ibáñez, A.A.L., C.J.L. García, A. Pérez-Rojas, S. Alvarez-Hernández, C. Alvarez-Silva y E. Nuñez-Portugal (2001) *El lago de Metzitlán, Hidalgo*. En: De la Lanza, G. y J.L. García-Calderón (2002) *Lagos y Presas de México*. 2ª Edición AGT editores, México, DF. 240 p.
- Sanpera, C., X. Ruiz, G.A. Llorente, L. Jover y R. Jabeen (2002) Persistent organochlorine compounds in sediment and biota from the Haleji Lake: a wildlife sanctuary in south Pakistan. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 68:237-244.
- SEMARNAP Secretaría del Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca (1999) Documento técnico justificativo para la creación de la Reserva de la Biosfera Barranca de Metzitlán, Hidalgo. 298 p.
- Spataru, P. (1976) Some aspects of natural feed and feeding of Tilapia Galilea y T. Aurea. in lake Kineret. *Bull. Fish. Cult. in Israel Bamidgeh*. 28(12): 12-17.
- StataCorp (2001a) *Stata Statistical Software: Release 7.0 References Manual*. College Station 1(A-G): 164-174.
- StataCorp (2001b) *Stata Statistical Software: Release 7.0*. College Station Stata Corporation.
- Stepanauskas, R.N., V.F. Farjalla, L.J. Tranvik, J.M. Svensson, F.A. Esteves y W. Graneli (2000) Bioavailability and sources of DOC and DON in macrophyte stands of a tropical coastal lake. *Hydrobiol.* 436(1-3): 241-248.
- Stine, R. (1990) *An introduction to Bootstrap methods. Examples and ideas*. 325-373 p. En: Fox, J. y J.S. Long (eds.)(1990) *Modern methods of data analysis*. SAGE Publications, Inc. USA 500 p.
- Tardiff R.G. (ed.) (1992) *Methods to assess Adverse effects of pesticide on Non-target organism. SECOPE 49 IPCS Joint Symposia 16 SGOMSEC 7*. John Wiley and Sons, Inc. England 125 p.
- Tricklebank, K.A., M.J. Kingsford y H.A. Rose (2002) Organochlorine pesticides and hexachlorobenzene along the central coast of New South Wales: multi-scale distributions using the territorial damselfish *Parma microlepis* as a indicator. *Environ. Pollut.* 116:319-335.

UNEP/FAO/IOC/IAEA United Nations Environment Programme/ Food and Agriculture Organization/ Intergovernmental Oceanographic Commission of Unesco (United Nations Educational Scientific and Cultural Organization)/ International Agency of Energy Atomic (1986) *Determination of DDT's, PCB's in selected marine organisms by packed column gas-chromatography*. Reference Methods for Marine Pollution Studies. No. 14.

UNEP/IAEA United Nations Environment Programme/ International Agency of Energy Atomic (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.

Urdaneta, H., B. Medina y Z. Acosta (1995) Organochlorine compounds in fish from a farming station in the municipality of Paéz, state of Zulia, Venezuela. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 54:703-710.

US-EPA United States Environmental Protection Agency (1993) En: Greenpeace *El tráfico Tóxico*. Toxic Trade Camping, Washinton, DC Boletín 6. 39 p.

US-FDA United States Food and Drug Administration (1984) *Action level from Chemicals and poisonous substances*. US Department of Health, Education and Welfare, Public Health Service. New York.

Yamashita, N., K. Kannan, T. Imagawa, D.L. Villeneuve, S. Hashimoto, A. Miyazaki y J.P. Giesy (2000) Vertical Profile of Polychlorinated dibenzo-p-dioxins, dibenzofurans, naphthalenes, biphenyls, polycyclic aromatic hydrocarbons, and alkylphenols in a sediment core from Tokyo Bay, Japan. *Environ. Scien. Technol.* 34(17):3560-3567.

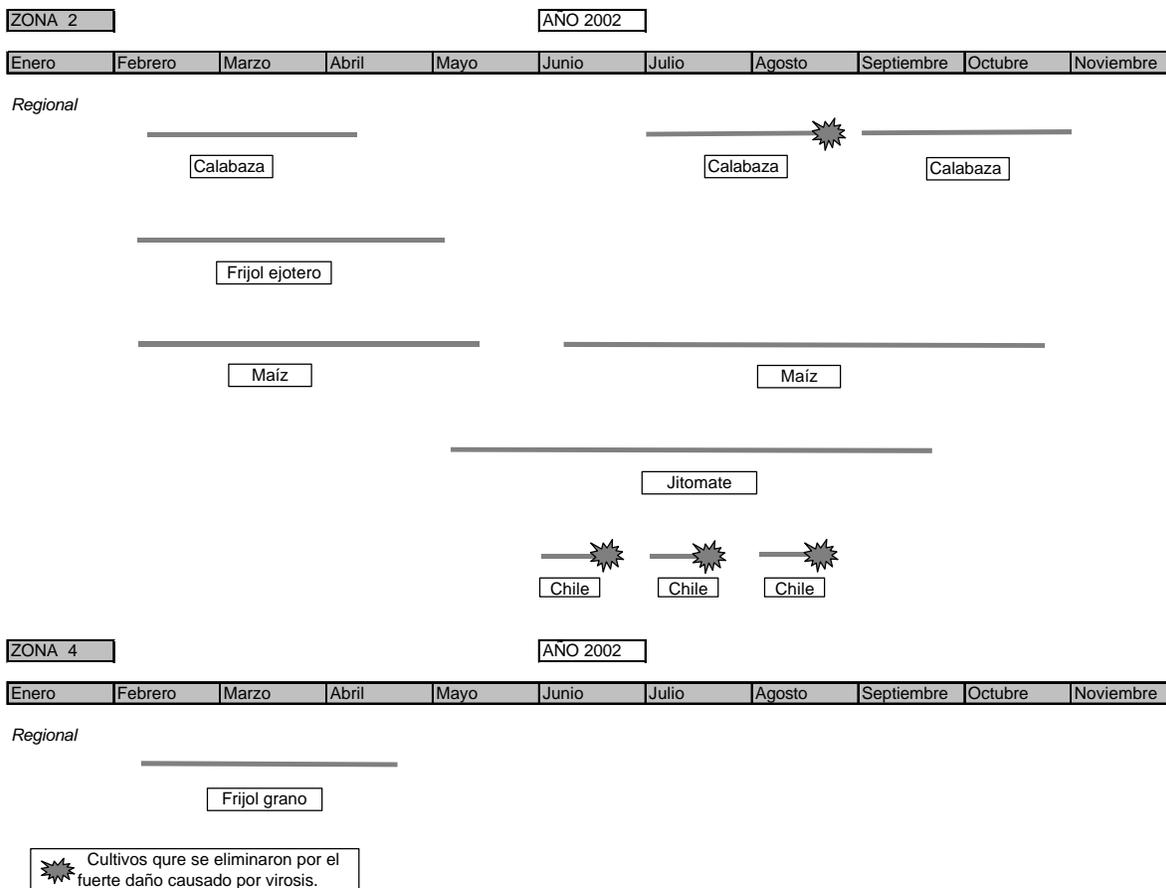
Zapata-Perez, O., R. Sima-Alvarez, E. Norena-Barroso, J. Guemes, G. Gold-Bouchot, A. Ortega y A. Albores-Medina (2000) Toxicity of sediments from Bahia de Chetumal, Mexico, as assessed by hepatic EROD induction and histology in Nile tilapia *Oreochromis niloticus*. *Mar. Environ. Res.* 50 (1-5): 385-391.

Zhan, W., Y. Xu, A.H. Li, J. Zhang, K.W. Schramm y A. Kettrup (2000) Endocrine disruption by hexachlorobenzene in crucian carp (*Carassius auratus gibelio*). *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 65(5): 560-566.

12. ANEXOS

ANEXO 1. CULTIVOS REALIZADOS DE ENERO A DICIEMBRE DEL 2002 EN EL VALLE DE METZTITLÁN, HGO. (Rodríguez, 2002).

CALENDARIO AGRICOLA DE ALGUNOS DE LOS CULTIVOS SEMBRADOS EN LA REGION DE LA VEGA DE METZTITLAN, HIDALGO; DURANTE EL AÑO 2002



Compuesto	Uso	DL50 (rata) mg/kg	IDA (mg/kg)	Tipo Plaguicida	Persistencia	Ef. Adv. Ambiente	Ef. Adv. Salud	Presentación	Categoría Toxicológica	Aplicación permitida (Follaje)	Int. de seguridad (días)
Benomilo	Agrícola	oral > 10 000 dermal > 10 000	0.1	Fungicida sistémico del grupo de los benzimidazoles	Poco	Tóxico para peces	Penetra al organismo por ingestión, inhalación y a través de la piel. Produce efectos en la reproducción. Reduce el peso de los testículos. Conteo bajo de esperma. En ratas aumento la incidencia de malformaciones. Teratogénico y Carcinogénico en animales.	Polvo humectable	IV	Aguacatero, almendro, apio, arroz, bulbos de ornamentales, cacahuete, calabaza, ciruelo, durazno, fresa, frijol, jitomate, limonero, mango, manzano, melón, naranjo, pepino, peral, pina, plátano, soya, toronjo, vid.	30, sin limite 7, sin limite sin limite 14, sin limite sin limite sin limite sin limite 14, 1, 1, 14, sin limite sin limite 1, sin limite sin limite sin limite 7, 14, 1, 7.

Compuesto	Uso	DL50 (rata) mg/kg	IDA (mg/kg)	Tipo Plaguicida	Persistencia	Ef. Adv. Ambiente	Ef. Adv. Salud	Presentación	Categoría Toxicológica	Aplicación permitida (Follaje)	Int. de seguridad (días)
Clorpirifos etil	Agrícola Pecuario Doméstico Jardinería Urbano Industrial.	oral 96 dermal (conejo) 2 000	0.01	Insecticida organofosforado de contacto	Poco	Tóxico para peces, crustáceos, aves y abejas.	Moderadamente peligroso e irritante dérmico	Concentrado emulsionable	III	Alfalfa, algodónero, arroz, caña de azúcar, chile, cítricos, frijol ejotero, jitomate, maíz, manzano, pepino, potrerros, sorgo, soya, trigo.	21,
								Polvo	IV		21,
								Polvo humectable	III		60,
											7,
											34,
											20,
											1,
											21,
											30,
											7,
		21,									
		21,									
		21,									
		28.									
								Granulado	IV	Aplicación en los suelos de: Maiz, sorgo.	-, -
								Pellet	III	Impregnación de bolsas de polietileno para plátano. Cubrimiento en racimos de plátano.	
								Bolsas	III		
								Granulado	IV	Aplicación al cogollo de: Maiz, sorgo.	-, -
								Cebo envenenado	IV	Horngueros de huertos citricolas.	
								Solución concentrada	III	Carne de Bovinos, leche.	-,
								Aerosol	IV		-,
								Concentrado emulsionable	III	Urbano, urbano, urbano, urbano, urbano, urbano.	-,
								Líquido	III		-,
								Solución acuosa	III		-,
								Concentrado emulsionable	III		-,
								Microemulsión concentrada	III		-,
								Pintura Vinil acrílica	IV		-,
								Trampas	IV	doméstico	-,
								Líquido soluble	IV	doméstico	-,
								Polvo	IV	doméstico	-,
								Cebo con insecticida sólido	IV	doméstico	-,
Clorpirifos metil	Agrícola	oral 1 000 - 3 7000 dermal (conejo) > 2 000	0.01	Insecticida organofosforado de contacto	Moderadamente	Tóxico para animales acuáticos.	Irritante dermal.	Concentrado emulsionable	IV	Tratamiento previo de instalaciones de almacenamiento y transporte de granos.	
								Polvo	IV		
										Tratamiento de granos y semillas almacenados, medios de transporte, espacios vacíos. Arroz, avena, cebada, maiz, sorgo, trigo.	-, -, -, -, -, -

Compuesto	Uso	DL50 (rata) mg/kg	IDA (mg/kg)	Tipo Plaguicida	Persistencia	Ef. Adv. Ambiente	Ef. Adv. Salud	Presentación	Categoría Toxicológica	Aplicación permitida (Follaje)	Int. de seguridad (días)
Clorotalonil	Agrícola Industrial	>10 000 mg/kg	0.03 mg/kg	Funguicida de contacto derivado del isofatonitrilo	poco	Tóxico para peces	Irritante ocular. "El dano ocular puede ser irreversible". Causa reacciones alérgicas. Carcinogénico en ratas.	Granulos dispersales Polvo humectable Sólido soluble Solución acuosa Suspensión acuosa Suspensión acuosa fluable	IV	ajo, apio, apio semillero, brócoli, cacahuate, cacao, caféto, calabacita, calabaza, cebolla, cebolla verde, cempasuchil, césped chabacano, ciruelo, col, col de bruselas, coliflor, crisantemo, durazno, frijol, frijol ejotero, geranio, haba, jitomate, maiz, melon, nectarino, ornamentales, papa, papayo, pepino, plátano, trigo, zanahoria.	14 7 7 sin limite 14 sin limite 30 sin limite sin limite 14 14 sin limite sin limite 30 14 sin limite sin limite sin limite 14 sin limite 7 sin limite 7 sin limite 14 sin limite 30 sin limite sin limite 14 sin limite 7 sin limite sin limite
								Polvo	IV	Semilla de trigo	-
								Suspensión acuosa	IV	Semilla de trigo	-
								Solución acuosa	IV	Control de moho en pinturas.	-
								Sólido técnico	IV		-
Cymoxanil	Agrícola	oral 1100 dermal (conejos) > 3 000	No determinada	Funguicida del grupo de las acetamidas.	—	—	—	Polvo técnico	IV	Plantas formuladoras exclusivamente	-

Compuesto	Uso	DL50 (rata) mg/kg	IDA (mg/kg)	Tipo Plaguicida	Persistencia	Ef. Adv. Ambiente	Ef. Adv. Salud	Presentación	Categoría Toxicológica	Aplicación permitida (Follaje)	Int. de seguridad (días)
Dimetoato	Agrícola, Jardinería Industrial	oral 235	0.002	Insecticida organofosforado sistémico y de contacto	Poco	Tóxico en peces y abejas. No aplicar en cultivos de floración.	Irritante dérmico y de moluscos "Este producto es asociado con la aparición de tumores cancerígenos y efectos teratogénicos en animales de laboratorio"	Concentrado emulsionable.	III	Alfalfa, algodonero, apio, brocoli, cártamo, chicharo, chile, cítricos, col, coliflor, espinaca, frijol, frijol ejotero, jitomate, lechuga, limonero, maiz, manzano, melon, naranja, nogal, nogal pecanero, ornamentales, papa, peral, sandia, sorgo, soya, tabaco, tangerino, tomate de cáscara, toronjo, trigo, vid.	10,
		dermal 400						Solución concentrada	III		14, 7, 7, 14, 21, -, 15, 3, 1, 14, 21, 21, 7, 14, 15, 14, 21, 3, 15, 21, 2, 28, -, 28, 3, 28, 21, -, 15, 15, 60, 28

Compuesto	Uso	DL50 (rata) mg/kg	IDA (mg/kg)	Tipo Plaguicida	Persistencia	Ef. Adv. Ambiente	Ef. Adv. Salud	Presentación	Categoría Toxicológica	Aplicación permitida (Follaje)	Int. de seguridad (días)
Endosulfán	Agrícola Industrial	oral (hembra) 22.7 dérmica (conejo) 359	0.006	Insecticida-acaricida del grupo de los hidrocarburos halogenados	Medianamente	Toxico para pees, aves y abejas.	Irritante dérmico y de mucosas. Estimulante del sistema nervioso central. Teratogénico y carcinogénico en humano y animales.	Concentrado emulsionable Polvo Polvo humectable	II IV III	Alfalfa, algodónero, apio, berenjena, brócoli, caféto *, calabacita, calabaza, cártamo, caña de azúcar, cebada, chabacano, chicharo, chile, ciruelo, col, col de bruselas, coliflor, durazno, fresa, frijol, jitomate, lechuga, maíz, manzano, melón, nogal, nogal pecanero, ornamentales, papa, pastos, pepino, peral, piña, sandía, tabaco, tomate de cáscara, trigo, vid.	21, sin limite 14, 1, 7, 70, sin limite sin limite 14, 21, 21, 21, 14, 4, 15, 14, 7, 7, 21, 4, 4, 1, 14, 10, 21, 2, 10, 7, sin limite sin limite 21, 2, 7, 7, sin limite 5, 1, 21, 7.
								Líquido técnico sólido técnico	II II	* Uso restringido en campañas oficiales. Industrial. Industrial.	-, -,
Estreptomicina	Agrícola	oral 9 000	No determinada	Bactericida (antibiótico) de origen biológico	Poco	—	Irritante dérmico, puede causar reacción alérgicas. Teratogénico	Polvo soluble	IV	Apio, chile, jitomate, manzano, ornamentales, papa, peral (follaje)	5, -, -, 5, -, 5, 30

Compuesto	Uso	DL50 (rata) mg/kg	IDA (mg/kg)	Tipo Plaguicida	Persistencia	Ef. Adv. Ambiente	Ef. Adv. Salud	Presentación	Categoría Toxicológica	Aplicación permitida (Follaje)	Int. de seguridad (días)
Mancozeb	Agrícola	oral > 5 000 dérmica (conejo) > 5 000	0.03	Funguicida ditiocarbámico de contacto.	Ligeramente	Tóxico a peces	Ligeramente peligroso.	Gránulos dispersables Polvo humectable Solución acuosa suspensión acuosa	IV IV IV IV	Ajo, algodonero, apio, avena, cacahuete, calabacita, cebada, cebolla, cempasuchil, centeno, césped, espárrago, jitomate, maiz, manzano, melón, membrillo, ornamentales, papa, papa para semilla, papayo, pepino, peral, plátano, sandía, tabaco, tomáte de cáscara, trigo, vid, zanahoria.	7, 14, 7, 26, 14, 5, 26, 7, sin limite 26, sin limite 26, 5, 40, 30, 5, 30, sin limite 7, sin limite 14, 5, 15, 30, 5, 10, 5, 26, 66, 7.

Compuesto	Uso	DL50 (rata) mg/kg	IDA (mg/kg)	Tipo Plaguicida	Persistencia	Ef. Adv. Ambiente	Ef. Adv. Salud	Presentación	Categoría Toxicológica	Aplicación permitida (Follaje)	Int. de seguridad (días)
Permetrina	Agrícola Pecuario Doméstico Jardinería Urbano Industrial.	oral 430 - 4 000 dérmica (conejos) > 4 000	0.05	Insecticida-piretroide de contancto	Ligeramente. Vida media de 4 sem	Tóxico para peces y abejas.	Irritante démico y ocular Embriotoxicidad.	Concentrado emulsionable	IV y III	Aguacatero, algodonero, apio, berenjena, brócoli, calabaza, chile (chile bell), col, col de bruselas, coliflor, durazno, espárrago, espinaca, jitomate, lechuga, maiz, manzano, melón, papa, pastos, pepino, peral, sandía, sorgo, soya, tabaco.	14, 3, 3, 1, 7, 3, 1, 1, 1, 14, 1, 7, 7, 1, 1, 7, 3, 7, 1, 1, 3, 7, 1, 1, 7, 3, 15, 1.
								Gran. soln. en bolsa soln. en agua	IV		
								Granulado	IV		
								Solución	IV		
								Solución aerosol	IV		
								Polvo	IV		
								Tira plástica	III		
								Shampoo	IV		
								Granulado	IV		
								Líquido	IV		
								Líquido viscoso técnico	III		
								Líquido técnico	III		
Sólido generador de humo	IV										
Líquido concentrado	III										
Concentrado emulsionable	IV										
Polvo	IV										
Spinosad	Agrícola	oral 3738 dérmica (conejo) > 5 000	0.025	Insecticida	Poco	Altamente tóxico a abejas	Ligeramente irritante a la piel y ojos	Suspensión concentrada	IV	Algodonero	28

Compuesto	Uso	DL50 (rata) mg/kg	IDA (mg/kg)	Tipo Plaguicida	Persistencia	Ef. Adv. Ambiente	Ef. Adv. Salud	Presentación	Categoría Toxicológica	Aplicación permitida (Follaje)	Int. de seguridad (días)
Lindano	Agrícola Pecuario Industrial	oral 88 dérmica (conejo) 1 000	0.008	Insecticida-acaricida organoclorado de contacto	Altamente	Tóxico para peces, abejas y vida silvestre en general.	Irritante dérmico, ocular y de mucosas. Puede absorberse a través de la piel. Potencialmente Teratogénico. Carcinogénico en humanos y animales.	Polvo	IV	Tratamiento de semillas en cultivos de: Avena, cebada, frijol, maíz, sorgo, trigo.	
								Granulado	IV	Aplicación al suelo en los cultivos de: Maíz, sorgo.	
								Concentrado emulsionable Suspensión	III IV	Carne de bovinos, carne de porcinos, leche, instalaciones.	
								Polvo técnico	II	Industrial.	

Intraindicaciones: No contaminar el agua de ríos, lagos o estanques por aplicación directa o lavado de equipo. No se use en animales menores de 3 meses. No se utilice en granjas avícolas. No se debe usar en ganado lechero, establos ni salas de ordeña. No se debe usar en ganado lechero, establos ni salas de ordeña. No se debe usar en ganado lechero, establos ni salas de ordeña. No se debe usar en ganado lechero, establos ni salas de ordeña.

b) ENCUESTA REALIZADA SOBRE AGROQUÍMICOS EN EL VALLE DE METZTITLÁN, HGO.

ZONA DEL LAGO A SAN CRISTÓBAL.

Dueño		Cultivos	PO	Frecuencia	Mezclas	Aspersión		Animales	Vive	Lavado de Contenedores	Envases pequeños	Enfermedades
Sí	No					Mochila	Tractor					
X		Frijol, Maíz	Foliar, Azufre, Abonos Tamarones, Fungicidas	C/8 días	Sí	X		Sí, puerco, gallina, chivo	Pedregal	Río	Basura de Casa	Intoxicación
X		Frijol, Maíz	Vydate, Arribo, Foliar Abonos, Lannate	C/8 días	Sí	X		Sí, puerco, gallina, chivo	Amazatlán	Río	Basura de Casa	Intoxicación
X		Tomate, Calabaza, Ejote	Furadan, Nuvacron, Thiodan	C/8 días o 15	Sí		X	Sí, puerco, gallina, chivo perros	Pedregal	No	Queman	Intoxicación
X		Ejote, Maíz, Chile	Foliar y Nuvacron	C/10 días	Sí	X		Sí, perros, Chivos, burros	Vive en el sembradío	No	Quema	Intoxicación
X		Frijol, Maíz	Foliar, Azufre, Abonos Tamarones, Fungicidas	C/8 días	Sí	X		Sí, puerco, gallina, chivo	Pedregal	Río	Basura de Casa	Intoxicación
X		Frijol, Maíz	Vydate, Arribo, Foliar Lannate	C/8 días	Sí	X		Sí, puerco, gallina, chivo	Amazatlán	Río	Basura de Casa	Intoxicación
X		Tomate, Calabaza, Ejote	Furadan, Nuvacron, Thiodan	C/8 días o 15	Sí		X	Sí, puerco, gallina, chivo perros	Pedregal	No	Queman	Intoxicación
X		Ejote, Maíz, Chile	Foliar y Nuvacron	C/10 días	Sí	X		Sí, perros, Chivos, burros	Vive en el sembradío	No	Quema	Intoxicación
X		Frijol, Maíz	Foliar, Azufre, Abonos Tamarones, Fungicidas	C/8 días	Sí	X		Sí, puerco, caballos, chivo	Pedregal	Río	Basura de Casa	Intoxicación
X		Frijol, Maíz	Vydate, Arribo, Foliar Lannate, Abonos	C/8 días	Sí	X		Sí, puerco, gallina, chivo	Amazatlán	Río	Basura de Casa	Intoxicación
X		Tomate, Calabaza, Ejote	Furadan, Nuvacron, Thiodan Abonos	C/8 días o 15	Sí		X	Sí, caballos, gallina, chivo perros	Pedregal	No	Queman	Intoxicación
X		Ejote, Maíz, Chile	Foliar y Nuvacron Abonos	C/10 días	Sí	X		Sí, perros, Chivos	Vive en el sembradío	No	Quema	Intoxicación
X		Tomate, Frijol, Maíz, Chile	Arribo, Foliare, Vydate	C/8 días	Sí	X		No	Cerrito	No	Quema	Intoxicación
X		Ejote, Frijol, Maíz	Foliare y venenos	C/15 días	Sí	X		Caballos	Pie de la Cuesta	No	Quema	Intoxicación
X		Frijol Ejotero, Maíz, Chile	Furadan, Tamaron, Vydate, Foliare polimate	C/15 días	Sí	X		Sí, Chivos perros, caballos	Amazatlán	No	Quema	Intoxicación
X		Maíz, Ejote, frijol	Foliare y venenos	C/8 días	Sí		X	Sí, Chivos	Amazatlán	No	Entierra	Intoxicación
X		Maíz, Ejote, Frijol, Chile	Foliare y venenos Abonos	C/15 días	Sí	X		Sí, puerco, gallina, chivo, perros	San Cristóbal	No	Queman	Intoxicación
X		Tomate, Frijol, Maíz, Chile	Arribo, Foliare, Vydate	C/8 días	Sí	X		No	Cerrito	No	Quema	Intoxicación
X		Ejote, Frijol, Maíz	Foliare y venenos	C/15 días	Sí	X		Sí, Caballos	Pie de la Cuesta	No	Quema	Intoxicación
X		Frijol Ejotero, Maíz, Chile	Furadan, Tamaron, Vydate, Foliare polimate	C/15 días	Sí	X		No	Amazatlán	No	Quema	Intoxicación
X		Maíz, Ejote, frijol	Foliare y venenos	C/8 días	Sí		X	Sí, Chivos	Amazatlán	No	Entierra	Intoxicación
X		Maíz, Ejote, Frijol, Chile	Foliare y venenos	C/15 días	Sí	X		Sí, puerco, gallina, chivo, perros	San Cristóbal	No	Queman	Intoxicación

ZONA DE SAN CRISTÓBAL A METZTITLÁN.

Dueño		Cultivos	PO	Frecuencia	Mezclas	Aspersión		Animales	Vive	Lavado de Contenedores	Envases pequeños	
Sí	No					Mochila	Tractor					
X		Calabaza, Tomate, Jitomate Ejote, Papa, Frijol, Maíz	Tracer, Diper, Cipermetina Vydate, Nuvacron, Fidor	C/8días	Sí	X		No	Metztitlán	Río	Basura de Casa	Intoxicación
X		Calabaza, Tomate, Jitomate Ejote, Papa, Frijol, Maíz	Tracer, Diper, Cipermetina Vydate, Nuvacron, Fidor	C/8días	Sí	X		No	Metztitlán	Río	Basura de Casa	Intoxicación
X		Calabaza, Tomate, Jitomate Ejote, Frijol, Maíz	Tracer, Diper, Cipermetina Vydate, Nuvacron, Fidor	C/8días	Sí	X		No	Metztitlán	Río	Basura de Casa	Intoxicación
X		Calabaza, Tomate, Jitomate Ejote, Papa, Frijol, Maíz	Tracer, Cipermetina Vydate, Nuvacron, Fidor	C/8días	Sí	X		No	Metztitlán	Río	Basura de Casa	Intoxicación
X		Calabaza, Tomate, Jitomate Ejote, Papa, Frijol, Maíz	Abonos, Tracer, Diper, Vydate, Nuvacron, Fidor	C/8días	Sí	X		No	Metztitlán	Río	Basura de Casa	Intoxicación
X		Calabaza, Tomate, Jitomate Ejote, Papa, Frijol, Maíz	Tracer, Diper, Cipermetina Vydate, Nuvacron, Fidor	C/8días	Sí	X		Sí, Borregos	Metztitlán	Río	Basura de Casa	Intoxicación
X		Calabaza, Tomate, Jitomate Ejote, Papa, Frijol, Maíz	Tracer, Diper, Cipermetina Vydate, Nuvacron, Fidor	C/8días	Sí	X		No	Metztitlán	Río	Basura de Casa	Intoxicación
X		Calabaza, Tomate, Jitomate Ejote, Papa, Frijol, Maíz	Abonos, Diper, Cipermetina Vydate, Nuvacron, Fidor	C/8días	Sí	X		No	Metztitlán	Río	Basura de Casa	Intoxicación
	X	Frijol, Maíz, Calabaza, Papa, Ejote, Pepino, Chile serrano, Chile Jalapeño, Jitomate, Tomate, Sorgo	Foliares, Insecticidas, Fungicidas, Fertilizantes Abonos	de 8 - 15 días	Sí	X		Sí, Borregos	Metztitlán	Río	Basura de casa	Intoxicación
	X	Frijol, Maíz, Calabaza, Papa, Ejote, Pepino, Chile serrano, Chile Jalapeño, Jitomate, Tomate, Sorgo	Foliares, Insecticidas, Fungicidas, Fertilizantes Bactericidas y Abonos	de 8 - 15 días	Sí	X		No	Metztitlán	Río	Basura de casa	Intoxicación
	X	Frijol, Maíz, Calabaza, Papa, Ejote, Pepino, Chile serrano, Chile Jalapeño, Jitomate, Tomate	Foliares, Insecticidas, Fungicidas, Fertilizantes Bactericidas y Abonos	de 8 - 15 días	Sí	X		No	Metztitlán	Río	Basura de casa	Intoxicación
	X	Frijol, Maíz, Calabaza, Papa, Ejote, Pepino, Chile serrano, Chile Jalapeño, Jitomate, Tomate, Sorgo	Foliares, Insecticidas, Fungicidas, Fertilizantes Abonos	de 8 - 15 días	Sí	X		Sí, Borregos	Metztitlán	Río	Basura de casa	Intoxicación

2c). ENCUESTA REALIZADA SOBRE LA VENTA DE AGROQUÍMICOS EN EL VALLE DE METZTITLÁN, HGO.

LUGAR DE VENTA “EL CERRITO”

Trabajador		Productos		Precios		Destino del	Control de
Sí	No	Tipo	Nombre	Caros	Baratos	Empaque	SAGARPA/SS
X		Insecticida	Pirat, Thiodan, Vidate, Nuvacron, Abamectina, Tracer, Disparo, Furadan	Algunos		Basura	c/ 6 meses
		Fungicida	Mazate, Clorotalonil, Azufre, Cobre, Ridomiles, Cruzate.	Algunos		Basura	
		Fertilizantes	Urea, Triple 17, 046-0, 1846-0	Algunos		Basura	
		Bactericidas	Agri-gent, Mastercolo	Sí		Basura	

LUGAR DE VENTA: “EL PEDREGAL”

Trabajador		Productos		Precios		Destino del	Control de
Sí	No	Tipo	Nombre	Caros	Baratos	Empaque	SAGARPA/SS
X		Insecticida	Pirat, Thiodan, Vidate, Nuvacron, Abamectina, Tracer, Disparo, Furadan	Algunos		Basura	c/ 6 meses
		Fungicida	Mazate, Clorotalonil, Azufre, Cobre, Ridomiles, Cruzate.	Algunos		Basura	
		Fertilizantes	Urea, Triple 17, 046-0, 1846-0	Algunos		Basura	
		Bactericidas	Agri-gent, Mastercolo	Sí		Basura	

LUGAR DE VENTA “SAN CRISTÓBAL”

Trabajador		Productos		Precios		Destino del	Control de
Sí	No	Tipo	Nombre	Caros	Baratos	Empaque	SAGARPA/SS
X		Insecticida	Pirat, Teodan, Vidate, Nuvacron, Abamectina, Tracer, Disparo, Furadan	Algunos		Basura	c/ 6 meses
		Fungicida	Mazate, Clorotalonil, Azufre, Cobre, Rodomiles, Cruzate.	Algunos		Basura	
		Fertilizantes	Urea, Triple 17, 046-0, 1846-0	Algunos		Basura	

LUGAR DE VENTA METZTITLÁN

Trabajador		Productos		Precios		Destino del	Control de
Sí	No	Tipo	Nombre	Caros	Baratos	Empaque	SAGARPA/SS
X		Insecticida	Pirat, Thiodan, Vidate, Nuvacron, Abamectina, Tracer, Disparo, Furadan	Algunos		Basura	c/ 6 meses
		Fungicida	Mazate, Clorotalonil, Azufre, Cobre, Rodomiles, Cruzate.	Algunos		Basura	
		Fertilizantes	Urea, Triple 17, 046-0, 1846-0	Algunos		Basura	
		Bactericidas	Agri-gent, Mastercolo	Sí		Basura	
X		Insecticida	Lanate, Vidate, Dimetoato Arribos	Algunos		Basura	c/6 meses
		Fungicidas	Benlates, Procial, Mazate, Cuprimicidas.	Algunos		Basura	
X		Insecticida	Nuvacron, Lorsan, Vidate, Thiodan, Arribo, Ambus, Karate	Algunos		Basura	c/ 6 meses
		Fungicidas	Mazates, Benlates, Captanes, Ridomiles, Laconiles, Azufres.	Algunos		Basura	
		Bactericidas	Fumboc, Bactrol, Agri-mycin 500 y 100.	Sí		Basura	
X		Fertilizantes	Urea, Amonio, Triple 16 y 17 Nitratos, Fosfonitratos.	Algunos		Basura	c/ 6 meses
		Insecticidas	Pirate, Thiodan, Vidate	Algunos		Basura	
		Fungicidas	Mazates, Benlates, Azufres.	Algunos		Basura	

d) SINONIMIA DE PLAGUICIDAS ORGANOCOLORADOS.

Nombre comercial	Nombre de la sustancia activa o mezcla
Abamectina	Abamectina (Avermectina)
Agri-mycin 100	Estreptomicina + Oxitetraciclina
Agri-mycin 500	Estreptomicina + Oxitetraciclina + Cobre
Agry-gent	Gentamicina + Oxitetraciclina
Arribo	Cipermetrina
Bactrol	Gentamicina + Oxitetraciclina
Benlates	Benimilo
Captan	Captan
Cruzate	Cymoxanil + Mancozeb
Cupravit (Cobre)	Oxicloruro de Cobre
Cuprimicina	Oxitetraciclina
Cuprimicinas (Cobre)	Cloruro de Calcio tribásico de Cobre
Dimetuato	Dimetuato
Disparo	Clorpirifos etil + permetrina
Furadan	Carbofuran
Karate	Lambda Cyalotrina
Lannate	Metomilo
Mazate	Mancozeb
Nuvacron	Monocrotofos
Ridomil	Metalaxil
Ridomil Bravo 60	Metalaxil + Clorotalonil
Ridomil Cobre	Metalaxil + Hidróxido de cobre
Ridomil MZ 72	Metalaxil + Mancozeb
Tamaron 600	Metalmidofos
Thiodan	Endosulfán
Tracer	Spinosad
Vydate	Oxamil

ANEXO 3. ANÁLISIS DE BOOTSTRAP PARA LOS COMPUESTOS REPRESENTATIVOS POR MES EN EL SISTEMA DE METZTITLÁN, HGO.

LINDANO (g-HCH)

Noviembre, 2001.

Bootstrap statistics

Variable	Reps	Observed	Bias	Std. Err.	[95% Conf. Interval]	
bs1	999	2.85	.0612964	1.538081	-.1682439	5.868244 (N)
					0	4.77 (P)
					0	4.77 (BC)

N = normal, P = percentile, BC = bias-corrected

Abril, 2002.

Bootstrap statistics

Variable	Reps	Observed	Bias	Std. Err.	[95% Conf. Interval]	
bs1	1000	.78	-.123915	.6896436	-.5733162	2.133316 (N)
					0	2.24 (P)
					0	2.24 (BC)

N = normal, P = percentile, BC = bias-corrected

Julio, 2002.

Bootstrap statistics

Variable	Reps	Observed	Bias	Std. Err.	[95% Conf. Interval]	
bs1	1000	.14	.435085	.8979548	-1.622094	1.902094 (N)
					0	2.43 (P)
					0	2.43 (BC)

N = normal, P = percentile, BC = bias-corrected

d-HCH

Noviembre, 2001.

Bootstrap statistics

Variable	Reps	Observed	Bias	Std. Err.	[95% Conf. Interval]	
bs1	1000	5.57	-1.600645	2.393061	.8739973	10.266 (N)
					0	6.02 (P)
					0	6.02 (BC)

N = normal, P = percentile, BC = bias-corrected

Abril, 2002.

Bootstrap statistics

Variable	Reps	Observed	Bias	Std. Err.	[95% Conf. Interval]	
bs1	1000	0	.10422	.414524	-.8134375	.8134375 (N)
					0	1.93 (P)
					0	1.93 (BC)

N = normal, P = percentile, BC = bias-corrected

Julio, 2002.

Bootstrap statistics

Variable	Reps	Observed	Bias	Std. Err.	[95% Conf. Interval]	
bs1	1000	.475	.128495	.4251104	-.3592117	1.309212 (N)
					0	1.51 (P)
					.1	1.51 (BC)

N = normal, P = percentile, BC = bias-corrected

p, p -DDT

Noviembre, 2001.

Bootstrap statistics

Variable	Reps	Observed	Bias	Std. Err.	[95% Conf. Interval]	
bs1	1000	.66	.29328	.9357116	-1.176186	2.496186 (N)
					0	3.48 (P)
					0	3.48 (BC)

N = normal, P = percentile, BC = bias-corrected

Abril, 2002.

Bootstrap statistics

Variable	Reps	Observed	Bias	Std. Err.	[95% Conf. Interval]	
bs1	1000	.26	.03999	.3932383	-.5116679	1.031668 (N)
					0	1.57 (P)
					0	1.57 (BC)

N = normal, P = percentile, BC = bias-corrected

Julio, 2002.

Bootstrap statistics

Variable	Reps	Observed	Bias	Std. Err.	[95% Conf. Interval]	
bs1	1000	.67	.18832	1.130113	-1.547667	2.887667 (N)
					0	6.19 (P)
					0	6.19 (BC)

N = normal, P = percentile, BC = bias-corrected

SULFATO DE ENDOSULFÁN

Noviembre, 2001.

Bootstrap statistics

Variable	Reps	Observed	Bias	Std. Err.	[95% Conf. Interval]	
bs1	1000	2.75	-.58349	1.462334	-0.1195989	5.619599 (N)
					0	3.77 (P)
					0	3.77 (BC)

N = normal, P = percentile, BC = bias-corrected

Abril, 2002.

Bootstrap statistics

Variable	Reps	Observed	Bias	Std. Err.	[95% Conf. Interval]	
bs1	1000	0	.28602	.5722418	-1.122934	1.122934 (N)
					0	2.34 (P)
					0	2.34 (BC)

N = normal, P = percentile, BC = bias-corrected

Julio, 2002.

Bootstrap statistics

Variable	Reps	Observed	Bias	Std. Err.	[95% Conf. Interval]	
bs1	1000	.145	.050785	.2044577	-0.2562159	.5462158 (N)
					0	.89 (P)
					0	.89 (BC)

N = normal, P = percentile, BC = bias-corrected