



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA

CENTRO DE INVESTIGACIONES QUÍMICAS

**Determinación de pesticidas organoclorados
en *Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758 del lago de
Tecocomulco, Hidalgo.**

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

LICENCIADO EN QUÍMICA EN ALIMENTOS

PRESENTA:

JESSICA AGUILAR MARTÍNEZ

ASESORES:

**Dr. Francisco Prieto García
Dra. Alma Delia Román Gutiérrez
Dr. William Scott Monks Sheets**

DEDICATORIAS

“Detrás de cada logro, hay otro desafío. Sigue aunque todos esperen que abandones. No dejes que se oxide el hierro que hay en ti. Haz que en vez de lastima te tengan respeto.

Madre Teresa de Calcuta

A Dios por darme el gran tesoro de la vida; por permitirme vivir en éste momento y espacio; por permitirme conocer a gente tan extraordinaria que me ha acompañado durante ésta difícil travesía; por darme y manter viva mi fe y esperanza para alcanzar mi meta; por nunca dejarme sola y atender mis suplicas frecuentes.

A mis padres, por ser un gran ejemplo de vida y unas grandiosas personas, por darme las fuerzas y esperanzas necesarias, por sus consejos y también por sus regaños, por sus oraciones y sus desvelos. Gracias por el apoyo brindado y por estar siempre conmigo en los momentos en los que más los necesite. LOS AMO MAMÁ y PAPÁ!!!!!!!

A mis hermanas Jani y Yesse, y a mi hermano Alvarín, por ser gran parte de mi vida, por ser mis pequeños hermosos con los que siempre cuento y me divierto, gracias por darme todo su apoyo y comprensión. Jani eres una gran persona, hermana y amiga, gracias por tu apoyo y por nunca dejarme sola en los tiempos difíciles, Yesse eres una niña hermosa mi vida, gracias por ser comprensiva y cariñosa conmigo, pon todas tus fuerzas para que alcances las metas que te has propuesto, yo estoy segura de que las vas ha alcanzar. Alvarín eres toda la inocencia y las travesuras de un niño, gracias por todas las sonrisas que me has regalado. Gracias por el impulso que le dan a mi vida, LOS AMO MIS NIÑOS!!!!!! que Dios los bendiga siempre.

A Uri, por ser una maravillosa persona. Gracias por brindarme tu comprensión y apoyo incondicional, por brindarme tus brazos para abrazarme, tus oídos para escucharme y tu corazón para amarme. Gracias por caminar junto a mi éste largo y algo difícil trayecto. TE AMO CORAZÓN.

AGRADECIMIENTOS

A la Dra. Alma Delia Román Gutiérrez, gracias por ser mi directora de tesis, por brindarme su apoyo y confianza, por impulsarme para realizar un buen trabajo, por los conocimientos que me dio, y por brindarme todas las facilidades para la realización de éste trabajo.

Al Dr. Francisco Prieto García, por apoyarme en las revisiones y ayudarme a mejorar la redacción de éste trabajo, por su paciencia y por el tiempo dedicado a mi trabajo.

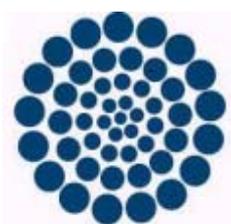
Al Dr. William Scott Monks Sheets, gracias por la confianza que me brindó, por apoyarme en las revisiones, por ayudarme a tener un trabajo de buena calidad y por ayudarme a formar una buena reputación como investigadora.

A todo mi jurado revisor; Dr. Alberto J. Gordillo Martínez, Dr. César A. González Ramírez, Dra. Griselda Pulido Flores y Q.A. Israel O. Ocampo Salinas, por la visualización y apreciación de éste trabajo, todos sus puntos de vista ayudaron a perfeccionarlo y gracias a sus amplios conocimientos dieron la pauta para concluirlo de la mejor forma.

A la Q. Claudia Romo Gómez, por las facilidades y conocimientos que me brindó para realizar la detección de pesticidas por Cromatografía de gases.

A FOMIX-HIDALGO y CONACYT por la beca otorgada para la realización de este proyecto de investigación, así como también por el financiamiento del proyecto intitulado "Helmintos parásitos de los vertebrados y calidad ambiental del Lago Tecocomulco, Hidalgo" (clave: FOMIX-HGO-2005- C01-1).

A Perla, Zaira, Fanny, Magda, Susana, Luis, Joaquín y Martín por siempre darme ánimos cuando me faltaban, por su tan valiosa amistad, por las tardes de "café", gracias por esos momentos inolvidables y porque a su paso, han dejado una huella y siempre vivirán en mi corazón. A todos ellos y a toda la demás gente que me acompañó en este momento de mi vida, MUCHAS GRACIAS!!!!!! Y que Dios los bendiga siempre...



CONACYT



ESTADO DE HIDALGO



El presente trabajo de investigación ha participado en los siguientes foros científicos.

- II Foro de Química en Alimentos, Instituto de Ciencias Básicas e Ingenierías, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. 2006.
- IX Congreso de Ciencia de Alimentos y V Foro de Ciencia y Tecnología de Alimentos, Universidad Autónoma de Nuevo León y la Universidad de Guanajuato. 2007.
- Primer simposio de investigaciones y estudios de caso de Lago de Tecocomulco, Hidalgo, Instituto de Ciencias Básicas e Ingenierías, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. 2007.
- III Foro de Química en Alimentos, Instituto de Ciencias Básicas e Ingenierías, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. 2007.



QA

QUÍMICA EN ALIMENTOS

El presente trabajo de investigación se realizó en el Laboratorio de Alimentos I del Centro de Investigaciones Químicas (CIQ) y en el Centro de Investigaciones Biológicas (CIB) de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Este proyecto de investigación fue financiado por FOMIX-HGO y el Consejo Nacional de Ciencia y tecnología (CONACYT) con clave FOMIX-HGO-2005- C01-1.

ÍNDICE GENERAL

	Página
ÍNDICE GENERAL	i
ÍNDICE DE TABLAS	iii
ÍNDICE DE FIGURAS	iv
I. INTRODUCCIÓN	1
II. ANTECEDENTES	3
2.1 Características de <i>Cyprinus carpio</i> (Linnaeus, 1758)	3
2.1.1 Orígenes	3
2.1.2 Clasificación taxonómica	3
2.1.3 Características generales	4
2.1.3.1 Reproducción	4
2.1.3.2 Importancia económica	4
2.1.4 Composición química	5
2.2 El lago de Tecocomulco, Hgo.	7
2.2.1 Características e importancia del lago de Tecocomulco.	8
2.2.1.1 Principales fuentes de contaminación	10
2.3 Pesticidas organoclorados	11
2.3.1 Concepto de plaguicida	11
2.3.2 Evolución histórica de los plaguicidas organoclorados	12
2.3.3 Restricciones al uso de pesticidas organoclorados	15
2.3.4 Identidad, propiedades y usos de los pesticidas organoclorados	15
2.3.5 Distribución de los pesticidas organoclorados en el medio ambiente	19
2.3.5.1 Fuentes de pesticidas organoclorados en el medio ambiente	19
2.3.5.2 Distribución y niveles de plaguicidas organoclorados en peces	20
2.3.5.3 Legislación mexicana de pesticidas organoclorados en peces	22
2.3.6 Factores que influyen en los niveles de residuos de pesticidas organoclorados	23
2.3.6.1 Tipo de compuesto	23
2.3.6.2 Tamaño y edad del pez	23
2.3.6.3 Contenido lipídico	24
2.3.6.4 Estación o época del Año	25
2.3.6.5 Nivel trófico	25
2.3.6.6 Estado reproductivo	26
2.3.7 Métodos de determinación de pesticidas organoclorados	27
2.3.7.1 Cromatografía de gases	28
2.3.7.2 Electroforesis capilar	28
III. OBJETIVOS	30
3.1 Objetivo general	30
3.2 Objetivos específicos	30
IV. MATERIALES Y MÉTODOS	31
4.1 Obtención y preparación de muestras	31
4.1.1 Cinética de secado	31

4.2	Análisis y determinaciones	32
4.2.1	Análisis químico proximal	32
4.2.1.1	Humedad	32
4.2.1.2	Cenizas	33
4.2.1.3	Grasas	33
4.2.1.4	Proteínas	34
4.2.1.5	Hidratos de carbono	35
4.2.2	Determinación de pesticidas organoclorados en peces	35
4.2.2.1	Cromatografía de gases	35
4.2.2.1.1	Identificación	35
4.2.2.1.2	Cuantificación	37
V.	RESULTADOS	38
5.1	Cinética de secado	38
5.2	Análisis proximal	39
5.2.1	Análisis proximal de octubre, noviembre, marzo y abril	39
5.2.1.1	Lípidos	40
5.2.1.2	Proteínas	41
5.2.1.3	Cenizas	42
5.2.1.4	Hidratos de carbono	43
5.3	Determinación de pesticidas organoclorados	43
5.3.1	Identificación y cuantificación	43
5.3.2	Curva de calibración	45
5.3.3	Compuestos organoclorados	46
5.3.3.1	Pesticidas detectados	46
5.3.3.2	Pesticidas no detectados	54
VI.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	55
6.1	Cinética de secado	55
6.2	Análisis proximal	56
6.2.1	Análisis proximal de octubre, noviembre, marzo y abril	57
6.2.1.1	Lípidos	59
6.2.1.2	Proteínas	60
6.2.1.3	Cenizas	61
6.2.1.4	Hidratos de carbono	62
6.3	Determinación de pesticidas organoclorados	62
6.3.1	Pesticidas detectados	62
6.3.2	Pesticidas no detectados	79
VII.	CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS	80
VIII.	BIBLIOGRAFÍA	83

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
1 Principales constituyentes (en porcentaje) del músculo de pescado (Soler, 2002).	5
2 Características de algunos pesticidas organoclorados	17
3 Límites máximos permitidos expresados en mg/Kg (ppm) de residuos de plaguicidas organoclorados en grasa de aves, bovino, caprino, cérvido, equino, ovino y porcino (Diario Oficial de la Federación, 2001).	22
4 Principales constituyentes de <i>Cyprinus carpio</i> .	38
5 Composición promedio de los principales macroconstituyentes de <i>Cyprinus carpio</i> , expresados en base seca. (Desviación estándar).	39
6 Tiempo y orden de aparición de los organoclorados utilizados como patrón de pesticidas en la columna capilar.	44
7 Pesticidas Organoclorados encontrados en <i>Cyprinus carpio</i> del lago de Tecocomulco, Hidalgo. Entre paréntesis se indica el orden de aparición en el cromatograma.	46
8 Niveles promedio de DDT (ppm) detectados en <i>Cyprinus carpio</i> del lago de Tecocomulco, Hidalgo. (Desviación estándar).	46
9 Niveles promedio de DDE (ppm) detectados en <i>Cyprinus carpio</i> del lago de Tecocomulco, Hidalgo. (Desviación estándar).	47
10 Niveles promedio de Aldrín (ppm) detectados en <i>Cyprinus carpio</i> del lago de Tecocomulco, Hidalgo. (Desviación estándar).	48
11 Niveles promedio de Dieldrín (ppm) detectados en <i>Cyprinus carpio</i> del lago Tecocomulco, Hidalgo. (Desviación estándar).	49
12 Niveles promedio de Endrín (ppm) detectados en <i>Cyprinus carpio</i> del lago Tecocomulco, Hidalgo. (Desviación estándar).	51
13 Niveles promedio de Endrín aldehído (ppm) detectados en <i>Cyprinus carpio</i> del lago Tecocomulco, Hidalgo. (Desviación estándar).	52
14 Niveles promedio de Endosulfán 2(ppm) detectados en <i>Cyprinus carpio</i> del lago de Tecocomulco, Hidalgo. (Desviación estándar).	53
15 Pesticidas Organoclorados no detectados en <i>Cyprinus carpio</i> del lago Tecocomulco, Hidalgo.	54
16 Comparación de componentes nutricionales en <i>Cyprinus carpio</i>	56

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
1 <i>Cyprinus carpio</i>	3
2 Ubicación de el Lago de Tecocomulco, Hidalgo	8
3 Ejemplares de <i>Cyprinus carpio</i>	31
4 Órganos y tejidos de <i>Cyprinus carpio</i>	31
5 Muestras de <i>C. carpio</i> durante el proceso de secado	31
6 Cinética de secado de <i>Cyprinus carpio</i> .	39
7 Análisis proximal de <i>Cyprinus carpio</i> en base seca de octubre 2006	40
8 Análisis proximal de <i>Cyprinus carpio</i> en base seca de noviembre 2006	40
9 Análisis proximal de <i>Cyprinus carpio</i> en base seca de marzo 2007	40
10 Análisis proximal de <i>Cyprinus carpio</i> en base seca de abril 2007	40
11 Variación estacional del % de grasa de <i>Cyprinus carpio</i> .	41
12 Variación estacional del % de proteína de <i>Cyprinus carpio</i> .	42
13 Variación estacional del % de cenizas de <i>Cyprinus carpio</i> .	42
14 Variación estacional del % de hidratos de carbono o carbohidratos de <i>Cyprinus carpio</i> .	43
15 Cromatograma de mezcla de 16 pesticidas utilizados, medidos en la columna capilar HP-5.	44
16 Curva de calibrado de pesticidas organoclorados.	45
17 Niveles promedio de DDT en las diferentes partes de <i>Cyprinus carpio</i> en diferentes meses.	47
18 Niveles promedio de DDE en las diferentes partes de <i>Cyprinus carpio</i> en diferentes meses	48
19 Niveles promedio de Aldrín en las diferentes partes de <i>Cyprinus carpio</i> en diferentes meses	49
20 Niveles promedio de Dieldrín en las diferentes partes de <i>Cyprinus carpio</i> en diferentes meses.	50
21 Niveles promedio de Endrín en las diferentes partes de <i>Cyprinus carpio</i> en diferentes meses	51
22 Niveles promedio de Endrín aldehído en las diferentes partes de <i>Cyprinus carpio</i> en diferentes meses	52
23 Niveles promedio de Endosulfán 2 en las diferentes partes de <i>Cyprinus carpio</i> en diferentes meses.	54

I. INTRODUCCIÓN

Cyprinus carpio (Linnaeus, 1758), también conocida como carpa común es un pez típico de aguas calmadas, cálidas y con fondos fangosos. Es originaria de China y del Extremo Oriente de Asia (<http://filaman.ifm-geomar.de/search.php>, octubre 2007). Se alimenta de invertebrados y restos de otros animales y vegetales. La composición química del pez varía por la alimentación, nado migratorio y cambios sexuales relacionados con el desove (Huss, 1998).

El medio donde se desarrolla *C. carpio* son: lagunas, lagos, ríos, arroyos, arroyuelos, nacimientos de agua, etc.

Los sistemas acuáticos constantemente se ven amenazados por las contaminaciones del medio, debido a: la descarga de aguas residuales a las lagunas o ríos, por el arrastre de contaminantes con el agua de lluvia o por encontrarse cerca de campos de cultivos en los cuales se hace uso de diferentes productos químicos como son los pesticidas organoclorados, organofosforados, etc.

Por otro lado, los pesticidas son productos químicos que se utilizan para proteger los cultivos de los insectos (insecticidas), de las malas hierbas y los hongos (herbicidas y fungicidas) y de los roedores (rodenticidas) (SEMARNAP, 1997).

La mayoría de los productos químicos que se utilizan como plaguicidas son tóxicos y el principal argumento contra su uso es el riesgo que suponen para la salud y el peligro de que se contamine el medio ambiente. Estas preocupaciones, entre ellas los posibles efectos crónicos, constituyen la base de todas las regulaciones que controlan el uso de plaguicidas, establecen las normas de seguridad y vigilan los residuos en los alimentos.

En México, se usa el 60% de los 22 plaguicidas perjudiciales para la salud y el medio ambiente. De ellos el 42% se fabrican en el país. De 90 plaguicidas que han sido cancelados o restringido en los Estados Unidos, 30 se usan en México (INEGI, 1992).

La exposición a los pesticidas trae como consecuencia efectos negativos para la salud. Los síntomas de intoxicación por pesticidas incluyen complicaciones para la reproducción y su imposibilidad, niños nacidos con defectos, discapacidad mental, órganos dañados y varios tipos de cáncer, entre ellos leucemia, cáncer de pecho y tumores cerebrales (Murty, 2000).

En este proyecto se evaluó la composición nutrimental de *Cyprinus carpio* en diferentes meses y la bioacumulación de pesticidas organoclorados. Dicho proyecto forma parte de un macroproyecto titulado “Helminthos parásitos de los vertebrados y calidad ambiental del Lago Tecocomulco, Hidalgo” (clave: FOMIX-HGO-2005- C01-1), financiado por CONACYT y el Estado de Hidalgo.

II. ANTECEDENTES

2.1 Características de *Cyprinus carpio* (Linnaeus, 1758)

Cyprinus carpio, es un pez de agua dulce, la cual se muestra en la figura 1. Ha sido introducida en todos los continentes a excepción de la Antártida.



Figura 1. *Cyprinus carpio*

El pescado ha sido ampliamente reconocido como una valiosa fuente de proteína de alta calidad en la dieta humana, siendo además bajo en grasas saturadas. (Risso *et al.*, 2000).

El consumo de pescado también está relacionado con la reducción del riesgo de enfermedades coronarias y la artritis reumatoide (Shahidi *et Hong*, 1991). Los aceites de pescado bajan los niveles de colesterol VLDL (lipoproteína de muy baja densidad) y triglicéridos, así como también pueden reducir la presión arterial (Fennema, 2000).

2.1.1 Orígenes

C. carpio es un pez originario de China en la parte Oriente de Asia. *C. carpio* no proviene del Japón, aunque tal vez sí sea este lugar el que la ha popularizado internacionalmente. Ésta fue introducida en Japón en 1820. (<http://filaman.ifm-geomar.de/search.php>, octubre 2007).

2.1.2 Clasificación taxonómica

Familia: Cyprinidae

Orden: Cypriniformes

Clase: Actinopteri (peces con aletas radiadas).

Género y especie: *Cyprinus carpio* (Linnaeus, 1758).

Nombre común: Carpa común

2.1.3 Características generales

Puede alcanzar una longitud hasta de 120 cm, un peso máximo publicado de 37.3 Kg y tener una edad máxima comunicada de 20 años (<http://filaman.ifm-geomar.de/search.php>, octubre 2007).

El cuerpo es robusto, poco comprimido y ligeramente curvado en el vientre. Cubierto por escamas gruesas, aleta dorsal y anal con espina aserrada en la parte anterior (característica de ésta especie), generalmente barbas presentes, dientes faríngeos.

C. carpio prospera en ríos turbios grandes. Es resistente y tolerante a una amplia variedad de condiciones. Es un pez omnívoro, con predominancia bentófago. Por su forma de alimentación, basada en la remoción de sedimentos, incrementa la turbidez en el medio, pudiendo causar serios problemas en el sistema (Love, 1970 en Soler 2002). Principalmente se alimenta de insectos acuáticos, crustáceos, anélidos, moluscos, semillas de mala hierba y árbol, del arroz salvaje, de plantas acuáticas y algas; principalmente por la cavadura en sedimentos. En estado salvaje, es de color pardo grisáceo. Tiene una aleta caudal con 3 espinas dorsales y 4 barbillas (<http://filaman.ifm-geomar.de/search.php>, octubre 2007).

2.1.3.1 Reproducción

La época de desove o freza empieza en marzo y acaba a principios de julio, poniendo huevos pegajosos en la vegetación baja. Una hembra de 47cm de longitud produce alrededor de 300.000 huevos (<http://filaman.ifm-geomar.de/search.php>, octubre 2007).

2.1.3.2 Importancia económica

Especie de interés comercial elevado. La carpicultura, es muy importante, se halla en la actualidad muy difundida.

Es una especie altamente comercializada en los mercados asiáticos e Israel. Regionalmente si bien es objeto de cultivo, su venta se restringe en los mercados locales a ciertas colectividades (Huss, 1988).

2.1.4 Composición química

La composición química de los peces varía considerablemente entre las diferentes especies y también entre individuos de una misma especie, dependiendo de la edad, sexo, medio ambiente y estación del año (Stansby, 1962; Love, 1970 en Soler 2002). Los principales constituyentes de los peces y los mamíferos pueden ser divididos en las mismas categorías. En la tabla 1 se ilustran ejemplos de las variaciones entre ellos.

Tabla 1. Principales constituyentes (en porcentaje) del músculo de pescado

Constituyente	Pescado (filete)		
	Mínimo	Variación normal	Máximo
Proteínas	6	16-21	28
Lípidos	0.1	0.2 – 25	67
Carbohidratos	NR	< 0.5	NR
Cenizas	0.4	1.2-1.5	1.5
Agua	28	66-81	96

NR: No Reportado.

FUENTES: Stansby, 1962; Love, 1970 en Soler 2002.

Como se evidencia en la tabla 1, una variación normal substancial se observa en los constituyentes del músculo de pescado. Los valores máximos y mínimos son casos extremos y se encuentran raramente.

Las variaciones en la composición química del pez están estrechamente relacionadas con la alimentación, nado migratorio y cambios sexuales relacionados con el desove. *C. carpio* tiene períodos de inanición por razones naturales o fisiológicas (como desove o migración) o bien por factores externos como la escasez

de alimento. Usualmente el desove (de marzo a junio/julio), independientemente de que ocurra luego de largas migraciones o no, requiere mayores niveles de energía. Los peces que tienen energía almacenada en la forma de lípidos recurrirán a ella. Los peces que llevan a cabo largas migraciones antes de alcanzar las zonas específicas de desove o ríos, degradarán además de los lípidos las proteínas almacenadas para obtener energía, agotando las reservas tanto de lípidos como de proteínas, originando una reducción de la condición biológica del pez (<http://www.fao.org/DOCREP/V7180S/v7180s05.htm>, septiembre, 2006).

Durante los períodos de intensa alimentación (de agosto a diciembre), el contenido de proteínas del músculo se restablece hasta la cantidad de proteína agotada. Posteriormente, el contenido de lípidos muestra un marcado y rápido aumento. Después del desove el pez recobra su comportamiento de alimentación y generalmente migra hasta encontrar fuentes adecuadas de alimento. (<http://www.fao.org/DOCREP/V7180S/v7180s05.htm>, septiembre, 2006).

La fracción lipídica es el componente que presenta la mayor variación. A menudo, dentro de ciertas especies la variación refleja una curva estacional característica con un mínimo cuando se acerca la época de desove (Borresen, 1992).

A pesar de que la fracción proteica es bastante constante en la mayoría de las especies, se han observado variaciones, como la reducción de proteínas en salmón durante largas migraciones por desove (Ando *et al.*, 1985; Ando *et Hatano*, 1986) y en el bacalao del Báltico durante la estación de desove, que para estas especies se extiende desde enero hasta junio/julio (Borresen, 1992).

Generalmente, muchas especies de peces usan algo de la proteína para propósitos energéticos independientemente del contenido de lípidos. Cuando el contenido de lípidos excede el nivel máximo que puede ser metabolizado para propósitos energéticos, el remanente es depositado en los tejidos, dando como resultado un pescado con muy alto contenido de grasa. Apartando el hecho del impacto negativo en la calidad general del pescado, el exceso de grasa también puede ocasionar

disminución del rendimiento, debido a que la grasa se deposita en la cavidad ventral, la cual es desechada en la evisceración y fileteado.

La vía normal para reducir el contenido de grasa en el pescado de acuicultura, antes de la cosecha, es privar al pez de alimento por un tiempo. Se ha demostrado tanto para especies magras como grasas, que esto afecta el contenido de lípidos (Reinitz, 1983; Johansson *et* Kiessling, 1991; Lie *et* Huse, 1992).

La cantidad de vitaminas y minerales puede variar con la estación del año. En general, la carne de pescado es una buena fuente de vitamina B y en el caso de las especies grasas, también de vitaminas A y D. Respecto a los minerales, la carne de pescado se considera una fuente particularmente valiosa de calcio y fósforo, así como también de hierro y cobre. Debido a la variación natural de estos componentes no es posible dar cifras exactas (Sato *et al.*, 1991).

2.2 El lago de Tecocomulco, Hgo.

El estado de Hidalgo cuenta entre sus recursos naturales, con un considerable potencial acuícola de manantiales, aguas termales, ríos, lagos y presas. De acuerdo con la Carta Nacional Pesquera (Diario Oficial de la Federación, 2000), en la entidad federativa se encuentran 23 cuerpos de agua, dos de ellos son embalses naturales.

El estado se encuentra en la parte central del país, entre los 19°35'52" y 21°25'00" de latitud Norte 97°57'27" a 99°51'51" de longitud Oeste, con una superficie territorial de 20,905.12 Km². Esta integrado en siete regiones económicas de Pachuca y Tulancingo comprenden la Cuenca de Tecocomulco, en donde se localiza la región de Tepeapulco, a la que pertenece el lago en estudio.

La región de Tepeapulco es un poblado muy antiguo que perteneció a la cultura Tolteca y hasta 1886 fue declarado municipio del estado de Hidalgo. Antaño fue una región rica en recursos naturales, sobre todo forestales, pesqueros y de avifauna. Actualmente queda poco de la vegetación original y la extensión del lago de

Tecocomulco ha sido disminuida en superficie debido a diversos factores, dentro de los que destacan la expansión de tierras para actividades agropecuarias, asentamientos humanos e industrias establecidas en la cuenca (Diario Oficial de la Federación, 2000).

2.2.1 Características e importancia del lago de Tecocomulco.

El lago Tecocomulco, se localiza en el sur del estado de Hidalgo, al sureste de Pachuca y noreste de ciudad Sahagún y Tepeapulco, entre los municipios de Apan, Cuautepec y Tepeapulco. El lago está aproximadamente a 75 km desde Pachuca por carretera. Se ubica en la región central de una cuenca cerrada, en las coordenadas geográficas 19°52'00" norte y 98°24'00", con una altitud de 2,450 m, y comprende una superficie aproximada de 1,700 m³ ha que previenen de las precipitaciones pluviales de la cuenca. En la figura 2 se muestra una foto de dicho lago.

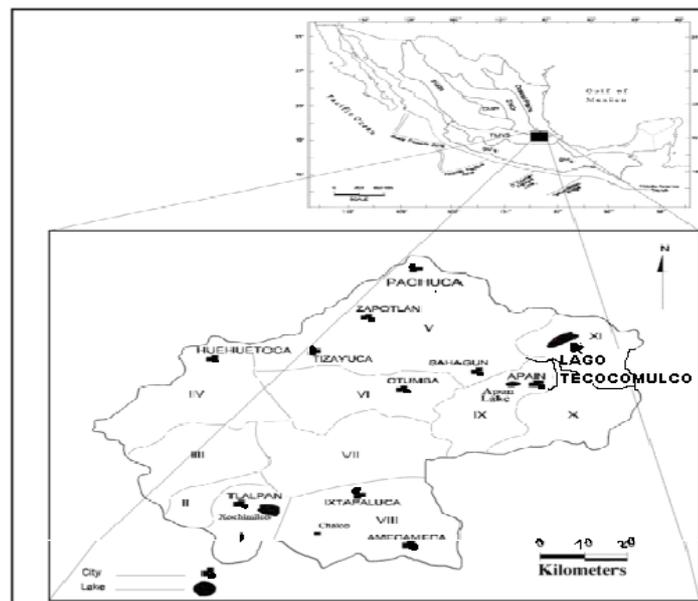


Figura 2. Ubicación del lago de Tecocomulco, Hidalgo.

De acuerdo a la clasificación realizada por la Comisión Nacional de Agua (CNA), la cuenca de Tecocomulco es una subdivisión regional hidrológica de la Cuenca del Valle de México. Ésta se ubica en el borde sur de la mesa central, queda comprendida en el centro de una gran zona volcánica que atraviesa la República

Mexicana de oeste a este, se le considera dentro del grupo de las cuencas cerradas que se ubica en la Región Hidrológica No. 26. El lago es un relicto del antiguo ecosistema lacustre que predominó en toda la cuenca de México hasta finales de los 40's, en el cual empezó a sufrir un secado drástico. Se le considera como el último humedal relicto en el que se refugian y habitan peces, anfibios y aves acuáticas.

Actualmente, el agua es utilizada para riego, abrevadero, uso turístico y piscicultura en pequeña escala, beneficiándose a las comunidades de Tecocomulco, Francisco Sarabia, Tultengo y San Miguel Allende. El lago relativamente no es profundo y presenta una comunidad acuática compuesta por una gran cantidad de tule, entre otras plantas, y es visitado por varias especies de aves migratorias como patos, garzas, etc., las cuales son un atractivo turístico para la región.

El lago de Tecocomulco desde el 2004 está considerado como Área Natural Protegida. En la actualidad, no existe ningún estudio formal de la biodiversidad de la región, las plantas y animales que se conocen fueron identificadas únicamente por conocimiento de la gente local. Desde el punto de vista del conocimiento florístico, únicamente se cuenta con el estudio de Lot-Helgueras *et* Novelo-Retana (1978), el listado florístico incluye maguey, nopal, pasto, lirio acuático, tule, lentejilla, begonia, azucena, romero y varios pinos y cedros. La fauna incluye patos, garzas, carpas, ajolotes y varios anfibios y reptiles. Una característica interesante del lago es que se observa un avicinamiento o arraigo de diversas especies de aves migratorias, las cuales están realizando todo su ciclo de vida en este ecosistema. Su importancia estriba en ser un lugar de nidificación, reproducción y paso de gran cantidad de especies de aves acuáticas y terrestres, encontrando más de una decena de aves migratorias provenientes del norte de México, Estados Unidos y Canadá.

El lago alberga una rica biodiversidad y una gran cantidad de hábitats; algunas especies están sujetas a protección especial como: el ajolote, *ambystoma* sp., y la rana, en peligro de extinción se encuentra el pato real, *cairina moschata* y bajo la categoría de amenazada está el pato mexicano (*anas diaza*). Por otra parte,

Cyprinus carpio, es una especie de peces que se explota para consumo local, sin embargo los parámetros de las poblaciones, así como su salud no se conocen.

Algunas instituciones como la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM), Sociedad Mexicana de Ornitología, el Fideicomiso de Riesgo Compartido (FIRCO) y The Wild Life Society de México, A. C., han realizado diversos trabajos. Algunos se han enfocado a estudios de aves acuáticas (Arellano *et* Rojas, 1956); a la calidad del agua del embalse (García-Calderón, 1976) y aspectos de su productividad primaria; (Lot-Helgueras *et* Novelo-Retana, 1978) enfocaron sus estudios a la vegetación lagunar.

También se implementó el “Programa Integral de Protección, Conservación, Restauración y Aprovechamiento de la Cuenca de Tecocomulco, Hidalgo”, efectuado en 2001 por la Delegación Federal SEMARNAP en el estado de Hidalgo.

Los resultados de estos trabajos de investigación, indican que la calidad del agua es regular, ya que presenta contaminación por hidrocarburos policíclicos aromáticos, que dicho lago cuenta con una rica variedad de especies de aves, peces y vegetación, y que durante el periodo de lluvias se registran las mejores capturas, con organismos de mayor talla de la carpa (*Cyprinus carpio*) (SEMARNAP, 2001).

2.2.1.1 Principales fuentes de contaminación

Las principales actividades de los municipios que forman parte del polígono del área del lago de Tecocomulco son la agricultura, ganadería y comercio local con algunas de tipo agropecuario sobre todo en Tecocomulco donde hay acuacultura y pesca (http://www.cna.gob.mx/eCNA/espaniol/Programas/Subdirecciones/HTMLGASdisp_gas/pdf_docs/Tecocomulco.pdf, diciembre 2006) en pequeña escala.

Alrededor del lago de Tecocomulco existen tierras para actividades agropecuarias, asentamientos humanos e industrias de diversas ramas. Las cuales en su momento

son una fuente de descarga y generadores de residuos peligrosos para el lago y sus alrededores (SEMARNAP, 1997).

La mayor fuente de contaminación por pesticidas de dicha laguna es por depósitos que resultan de la aplicación de estos productos químicos para controlar plagas agrícolas en cultivos, masas forestales, suelos y aguas estancadas.

Los pesticidas llegan al suelo por aplicación directa, por tratamiento de la vegetación, a través del agua de lluvia que arrastra el plaguicida suspendido o disuelto en la atmósfera, o por el agua de riego contaminada (Raldúa, 1995).

Los pesticidas son absorbidos por varios constituyentes del medio ambiente y transportados a el lago por medio del arrastre de éstos por el agua de lluvia y aire, los cuales entran a formar parte de los sistemas biológicos de los organismos contaminados (Albajes, 1992).

2.3 Pesticidas organoclorados

La tendencia internacional en el estudio de la distribución de los plaguicidas persistentes en el ambiente apunta hacia la valoración cuantitativa de tales residuos y hacia el establecimiento de programas de vigilancia continua que permitan un “monitoreo” de este fenómeno en el hábitad usual de las especies de vida silvestre.

2.3.1 Concepto de plaguicida

Los plaguicidas son cualquier sustancia o mezcla de sustancias, destinada a prevenir, atrasar, repeler o combatir cualquier plaga, incluidas las especies no deseadas de plantas o animales, durante la producción, almacenamiento transporte, distribución y elaboración de alimentos, productos agrícolas o alimentos para animales (FAO, 1983).

La mayoría de los productos químicos que se utilizan como plaguicidas son tóxicos y el principal argumento contra su uso es el riesgo que suponen para la salud y el peligro de que se contamine el medio ambiente. Estas preocupaciones, entre ellas

los posibles efectos crónicos, constituyen la base de todas las regulaciones que controlan el uso de plaguicidas, establecen las normas de seguridad y vigilan los residuos en los alimentos (Raldúa, 1995).

2.3.2 Evolución histórica de los plaguicidas organoclorados.

La década de los treinta marca el verdadero comienzo de la era moderna, con la introducción de los pesticidas orgánicos de síntesis. Entre los más importantes de estos tenemos los insecticidas derivados del tiocianato de alquilo (1930), la salicilanilida (1931), primer fungicida orgánico, y los fungicidas ditiocarbámicos (1934).

La historia de los pesticidas organoclorados comienza con el descubrimiento del DDT. El primero en sintetizar un organoclorado (el DDT) fue Zeidler en 1874, pero las propiedades insecticidas del DDT fueron realmente descubiertas por Müller en 1939. Más tarde, el compuesto se patentó en Suiza en 1942, convirtiéndose pronto en el insecticida más utilizado en el mundo.

La primera muestra enviada a los E.E.U.U llegó en septiembre de 1942, se realizaron pruebas de efectividad y seguridad con dicha muestra. Los resultados fueron tan alentadores que se dio alta prioridad a su fabricación.

Al principio, toda la producción se utilizó para la protección de las tropas contra la malaria, tifus y otras enfermedades transmitidas por vectores, y contra las moscas y otros insectos que constituyen plagas. Como resultado de este esfuerzo, el mosquito responsable de la transmisión de la malaria fue erradicado de los E.E.U.U en 1953, a pesar de que el personal militar y otras personas infectadas de los trópicos continuaron reintroduciendo la enfermedad hasta 1972 y, en menor frecuencia (Raldúa, 1995).

Cantidades mucho más altas se utilizaron en el control de plagas agrícolas y forestales, cuando a partir del 31 de agosto de 1945 se comercializó el compuesto. En particular, el uso de DDT en Norteamérica fue indiscriminado. Su uso civil en otros países se hizo un poco más tarde, al principio fundamentalmente por importación y

gradualmente en base a la fabricación local (Raldúa, 1995). De esta forma, las 2 décadas que siguieron a la Segunda Guerra Mundial fueron testigo del amplio uso de los organoclorados, especialmente el DDT y ciclodienos, como aldrín y dieldrín en Norteamérica y el hexaclorociclohexano (HCH) en Gran Bretaña y Japón.

Aunque en los últimos años el DDT ha caído en desuso, la OMS ha estimado que hasta 1971, más de un billón de personas se han salvado del riesgo de contraer malaria por el uso del DDT (Gold *et al.*, 1981).

La aparición de insectos resistentes a este compuesto dio paso a nuevos compuestos como el Metoxicloro (análogo del DDT) y el HCH. El primero en sintetizar el HCH fue Michael Faraday en 1825. Más tarde, en 1942, Vander Linden demostró la existencia de cuatro esteroisómeros de HCH.

Las propiedades insecticidas fueron descubiertas independientemente por Dupire quien descubrió que el isómero gamma era el más efectivo como insecticida (Raldúa, 1995). En 1945 se introdujeron los ciclodienos, cuyo uso se popularizó a mediados de los cincuenta. Entre estos compuestos cabe destacar al aldrín, dieldrín, endrín y heptacloro.

Sin embargo, el uso extensivo de organoclorados en el control de plagas ha tenido efectos colaterales desastrosos para el medio ambiente, lo que ha llevado a su declive paulatino en los países desarrollados a partir de los años 70.

Estos pesticidas son muy persistentes y resistentes a la degradación biológica. Muy poco solubles en agua, se adhieren a los tejidos de las plantas, se acumulan en los suelos y en la atmósfera. Una vez volatilizados, las pesticidas se distribuyen por todo el mundo, contaminando áreas silvestres a gran distancia de las regiones agrícolas, e incluso en las zonas ártica y antártica.

Aunque estos productos químicos sintéticos no existen en la naturaleza, penetran en la cadena alimentaria. Son ingeridos por los herbívoros o penetran directamente a

través de la piel de organismos acuáticos como los peces y diversos invertebrados. El pesticida se concentra aun más al pasar de los herbívoros a los carnívoros. Alcanza elevadas concentraciones en los tejidos de los animales que ocupan los eslabones más altos de la cadena alimentaria, como el halcón peregrino, el águila calva y el quebrantahuesos (Wayland *et al.*, 1991).

Los organoclorados interfieren en el metabolismo del calcio de las aves, produciendo un adelgazamiento de la cáscara de los huevos y el consiguiente fracaso reproductivo. Como resultado de ello, algunas grandes aves depredadoras y piscívoras se encuentran al borde de la extinción (Cecil *et al.*, 1972; Haegele *et Hudson*, 1974; Wiemeyer *et al.*, 1984 en Soler 2002).

Debido al peligro que los pesticidas organoclorados representan para la fauna silvestre y para el hombre, y debido también a que los insectos han desarrollado resistencia a ellos, el uso de los organoclorados como el DDT está disminuyendo con rapidez en todo el mundo occidental, aunque siguen usándose en grandes cantidades en los países en vías de desarrollo.

Desde 1950 en adelante, otro grupo de pesticidas, los organofosforados ganaron importancia. Fueron desarrollados durante la Segunda Guerra Mundial, en el curso de unas investigaciones realizadas por el doctor Schrader sobre gases neurotóxicos. Entre los primeros compuestos obtenidos cabe destacar el schradan y el paratión, muy tóxicos ambos para mamíferos (Buck *et Osweiler*, 1981).

Durante los años 50 y 60, compuestos como el paratión y malatión reemplazaron parcialmente al DDT y a los ciclodienos. El fenitrotión fue el más usado en Canadá y también en E.E.U.U para controlar el gusano de las piceas.

A finales de los 50 otro grupo de pesticidas, los carbamatos, comienzan su andadura. Su investigación experimental se inició alrededor de 1947, siendo comercializado el carbaril o sevín en 1957.

2.3.3 Restricciones al uso de organoclorados

En México, la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) el 6 de septiembre de 1968, dio a conocer la base legal de las restricciones al uso, registro y autorización de productos fitosanitarios, el cual prohibió el uso de insecticidas organoclorados en campos naturales y praderas implantadas y/o cultivadas, excepto para hormigueros localizados.

El 19 de mayo de 1988, se revocó el registro y dio autorización de venta de Endrín para todo uso agronómico. Restringe su uso únicamente para el combate de cotorras, con venta solo bajo autorización oficial en envases de 20 L mínimo. El 22 de septiembre de 1989, se permitió el uso de insecticidas organoclorados con restricción de uso sólo como hormiguicidas, con limitación de concentración al 2.5% máximo, formulación coloreada de rojo y envases mayores a 1 Kg/L. En la resolución del 22 de noviembre de 1989, el Endosulfán y Endrín, se exceptúan de los alcances de la resolución del 22 de septiembre de 1989.

PROHIBICIONES TOTALES

En la resolución del 12 de enero de 1977, se prohíbe la importación, fabricación y formulación del Hexaclorociclohexano para ser utilizado en sanidad animal y vegetal.

El 23 de noviembre de 1997, se revocó el registro y autorización de venta de los productos insecticidas a base de organoclorados para todo agronómico (http://www.chasque.net/dgsa//profit/restriccion_fitosanitarios_normas.htm, febrero 2007).

2.3.4 Identidad, propiedades y usos de los pesticidas organoclorados

Este tipo de pesticidas comprenden un grupo de compuestos orgánicos de síntesis derivados de hidrocarburos complejos, en los que un hidrogeno es sustituido por cloro. Tienen diferente estructura química, con uno o varios átomos de cloro, por ello también se les llama hidrocliclorados, halogenados o halobencenos (Garrido-Lestache, 1988).

Son compuestos arilados, carbocíclicos o heterocíclicos, con pesos moleculares entre 291 y 545. Su estructura cíclica y su gran peso molecular los diferencian químicamente de los hidrocarburos clorados usados como solventes y fumigantes, los cuales tienen un peso molecular menor a 236 (Smith, 1991).

Los organoclorados pueden ser divididos en cinco grupos (Smith, 1991).

1. DDT y análogos
2. HCH
3. Ciclodienos y compuestos similares
4. Toxafeno y compuestos relacionados
5. Estructuras tipo mirex y clordecone

Las principales propiedades físico-químicas de los organoclorados son las siguientes (Álvarez *et Cruz*, 1989).

- Gran estabilidad química, por una baja reactividad química.
- Solubles en disolventes orgánicos y lípidos, (insolubles en agua).
- Estabilidad frente al aire, la luz y el calor (algunos de ellos son sensibles a la luz U.V., como es el caso del DDT).
- Tienen estructura cíclica, una notable resistencia al ataque de los microorganismos y tienden a acumularse en el tejido graso de los organismos vivos, también se acumulan en el suelo.
- Resistencia a la biodegradación (son los compuestos que más persisten en el ambiente).
- Baja presión de vapor
- Compatibles con la mayoría de los plaguicidas, sólo están contraindicados en soluciones salinas.

Al ser compuestos orgánicos, tienden a reducir su reactividad. Esta estabilidad se manifiesta como una persistencia en el medio ambiente, que se incrementa a mayor

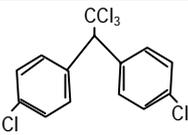
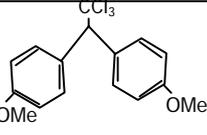
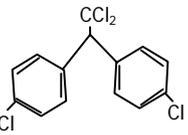
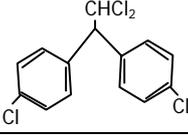
cloración del compuesto, por ejemplo; el diclorobenceno no es demasiado persistente, pero sí lo es mucho más el hexaclorobenceno.

El gran tamaño y masa del átomo de cloro resulta en una gran molécula que tiene una presión de vapor muy reducida, incrementa el punto de ebullición y reduce la solubilidad en agua (Garrido-Lestache, 1988 en Soler, 2002).

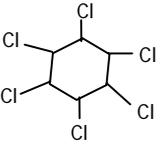
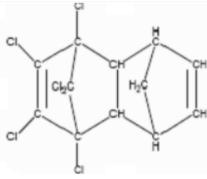
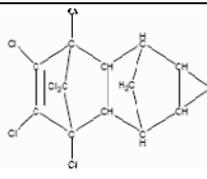
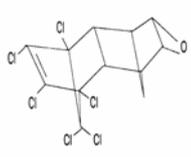
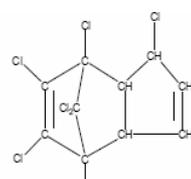
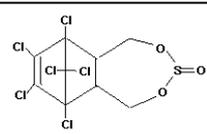
La adición de átomos de cloro incrementa así la partición de los lípidos y por consiguiente, la bioconcentración. La liposolubilidad y la estabilidad de estos compuestos facilitan su acumulación en los tejidos grasos.

Las características arriba mencionadas son las responsables de problemas de contaminación de alimentos, tanto de origen animal como vegetal, y de la posterior acumulación en los tejidos grasos de las personas (Raldúa, 1995).

Tabla 2. Características de algunos pesticidas organoclorados

Grupo de organoclorados al que pertenece	Nombre del pesticida	Estructura química	Propiedades	Usos
DDT	DDT (Dicloro Difenil Tricloroetano)		Insoluble en agua, se descompone lentamente con rayos uv, se descompone a 100°C (Matsumura, 1985), capaz de persistir durante años en los sistemas acuáticos (Dimond <i>et al.</i> , 1971 en Soler 2002).	Plaguicida, obtención de mayores rendimientos y mejora de la calidad en las cosechas.
Análogos del DDT	Metoxicloro		Es el análogo más conocido y empleado, no se acumula en los tejidos grasos ni pasa a la leche, se metaboliza rápidamente (Barberá, 1989), y menos tóxico que el DDT (Matsumura, 1985).	Tratamientos ganaderos y sobre vacas lecheras.
	DDE (Dicloro Difenil Etano)		Es menos tóxico que el DDT (Matsumura, 1985), es el primer metabolito del DDT y es capaz de persistir durante años en los sistemas acuáticos (Dimond <i>et al.</i> , 1971 en Soler 2002).	Metabolito derivado del uso del DDT.
	DDD (Dicloro Difenil Dicloroetano)		Es de 0.1 a 0.2 veces menos tóxico que el DDT (Matsumura, 1985), es el segundo metabolito del DDT y es capaz de persistir durante años en los sistemas acuáticos (Dimond <i>et al.</i> , 1971 en Soler 2002).	Metabolito derivado del uso del DDT.

Continuación tabla 2.

HCH Ó BHC	HCH (Hexaclorociclohexano) ó BHC (Hexacloruro de benceno)		Tiene 4 isómeros, el isómero gamma (lindano) es muy estable al calor, posee alta presión de vapor, lo que permite que pueda ser vaporizado mediante calor externo sin descomposición apreciable (Raldúa, 1995).	Plaguicida, obtención de mayores rendimientos y mejora de la calidad en las cosechas.
Derivados Ciclodiénicos	Aldrín		Es uno de los pesticidas más persistentes que se conocen, cuando entra en el medio ambiente, la luz solar, las bacterias, las plantas y los animales lo transforman a dieldrín (Raldúa, 1995).	Fue utilizado como pesticida para maíz y algodón pero en 1987 la Agencia de Protección Ambiental (EPA) lo prohibió por su alta toxicidad.
	Diieldrín		Es un pesticida muy persistente, solo con tratamientos con ácidos fuertes a largas exposiciones a luz uv se descompone (Barberá, 1989), se degrada lentamente en el medio ambiente o se almacena en grasa eliminándose muy lentamente.	Fue utilizado como pesticida para maíz y algodón pero en 1987 la Agencia de Protección Ambiental (EPA) lo prohibió por su alta toxicidad.
	Endrín		Se degrada fácilmente por el calor y la luz, pero en determinadas condiciones perdura hasta 10 años. Es elevadamente tóxico, no se disuelve bien en agua, por lo que su descomposición es en los sedimentos. Con altas temperaturas y luz se puede transformar en aldehído (Barberá, 1989).	Se ha utilizado para controlar insectos, roedores y pájaros (Matsumura, 1985).
	Heptacloro		Es un producto químico sintético. En el ambiente no se disuelve bien en agua, se une fácilmente a moléculas sólidas en suspensión y se evapora lentamente. Lo más común es que se convierta en epóxido, el cual es más tóxico que el heptacloro. Este epóxido permanece en suelo y agua durante muchos años (Barberá, 1989).	Se uso en el pasado contra insectos y plagas en el maíz, pero en 1988 su uso fue prohibido por la Agencia de Protección Ambiental (EPA).
	Endosulfán	 Endosulfán	Cuando se aplica, las moléculas en aerosol pueden viajar a largas distancias por el aire. No se disuelve bien en agua, por lo que en un medio acuático se une a los sedimentos, con lo que tarda años en destruirse del todo (Raldúa, 1995). En mamíferos se transforma en endosulfán-diol (endosulfán 2), de baja toxicidad y en parte, también se forma sulfato de toxicidad similar a la del endosulfán (Barberá, 1989).	Es muy usado en el control de insectos en alimentos, cultivos no alimentarios y como protector de la madera (Matsumura, 1985).

Como se puede observar en tabla 2, una propiedad común de los derivados Ciclodiénicos, es su gran persistencia en el medio ambiente y de modo especial su identidad de comportamiento biológico al ser transformados en sus epóxidos; así el aldrín pasa a diieldrín y el heptacloro a heptacloro epóxido tanto en el suelo como en animales o en sistemas biológicos.

Todos los plaguicidas ya antes mencionados presentan el inconveniente de acumularse en el suelo, especialmente cuando los tratamientos se repiten año tras año; persisten largo tiempo y su presencia en residuos ha sido comprobada después de algunos años del tratamiento, señalándole la circunstancia de que los suelos orgánicos retienen mayor cantidad de residuos que los arenosos. También ha sido comprobada una cierta movilización del insecticida, que puede ser absorbido por raíces aprovechables de ciertos cultivos, como la zanahoria, y ha sido demostrada igualmente su acumulación en grasa y leche de los animales alimentados con pastos tratados o creciendo en zonas tratadas con dichos plaguicidas (Barberá, 1989).

2.3.5 Distribución de los pesticidas organoclorados en el medio ambiente

Los pesticidas organoclorados se distribuyen en el medio ambiente en diversos lugares, como lo son; litosfera, hidrosfera y atmósfera.

2.3.5.1 Fuentes de pesticidas organoclorados en el medio ambiente

La mayor fuente de contaminación del medio ambiente por pesticidas es por depósitos que resultan de la aplicación de estos productos químicos para controlar plagas agrícolas en cultivos, masas forestales, suelos y aguas estancadas. Otras fuentes de contaminación pueden ser los pesticidas utilizados en áreas urbanas y vertidos industriales (Soler, 2002).

Los pesticidas son absorbidos por varios constituyentes del medio ambiente y transportados a otros lugares principalmente por medio del agua y aire, los cuales entran a formar parte de los sistemas biológicos de los organismos contaminados (Eaton *et Lydy* 2000).

➤ Plaguicidas en la litosfera

Los pesticidas llegan al suelo bien por aplicación directa o por otras vías. Pueden llegar por tratamiento de la vegetación, por escurrimiento o lavado a partir de esta última, a través del agua de lluvia que arrastra el plaguicida suspendido o disuelto en la atmósfera, por el agua de riego contaminada o cuando se entierran los restos de cultivos tratados. (Raldúa, 1995).

➤ **Plaguicidas en la hidrosfera**

La presencia de fitosanitarios en el agua suele tener más amplias repercusiones que en el caso del suelo por varios motivos: se difunden más rápidamente a un mayor volumen del medio, circulan o pueden circular con desplazamientos más lejanos, sus residuos alcanzan las cadenas tróficas cercanas al hombre de manera más directa (peces, algas, crustáceos y moluscos son componentes habituales de la dieta humana) (Albajes, 1992).

Los pesticidas que están presentes en los ambientes acuáticos provienen principalmente de la agricultura; también pueden provenir de fluidos procedentes de plantas industriales y químicas que vierten sus productos, aunque también se ha demostrado que el aire puede transportar estos tóxicos al agua.

➤ **Plaguicidas en la atmósfera**

Las fuentes por la que un plaguicida puede llegar a la atmósfera, además de la pérdida directa por tratamientos aéreos, son las siguientes: deriva, volatilización durante la aplicación o a partir de superficies tratadas, escapes o efluentes industriales e incluso las tormentas de polvo (Albajes, 1992).

2.3.5.2 Distribución y niveles de plaguicidas organoclorados en peces

Los organismos del medio acuático captan los compuestos organoclorados, por dos rutas, el agua y la cadena trófica, variando la importancia de cada una en función de su situación dentro de la red trófica dulceacuícola. Para los productores primarios, la única vía de entrada es la incorporación directa desde el agua, bien por mecanismos pasivos de absorción o bien por mecanismos de transporte activo. A los crustáceos y peces a la absorción branquial, directamente desde el agua se le añade la incorporación a través de la cadena alimenticia (Lledos *et al.*, 1992).

Los niveles de organoclorados en peces han sido muy estudiados en varios continentes. En el continente Americano llevan varias décadas estudiando los niveles de estos pesticidas, como parte de programas de monitoreo y protección ambiental

desde que surgió la alerta de la persistencia y los daños que éstos han ocasionado a medio ambiente.

Saiki y Schmitt en 1986, encontraron concentraciones de DDT (p,p'-DDD + p,p'-DDE + p,p'-DDT) en *Cyprinus carpio* capturados en el río San Joaquín (USA) entre 1.43 y 2.21 mg/Kg expresadas en peso fresco.

Eaton y Lydy en 2000, detectaron entre 0-22.3 µg/Kg tejido fresco de p,p'-DDE y entre 0-1.59 de p,p'-DDT en músculo de *Cyprinus carpio* capturadas en el río de Arkansas, en el estado de Kansas (E.E.U.U).

Fernández *et al.*, (1984) determinaron los niveles de organoclorados en diversas especies de peces capturados en el Parque Nacional de Doñana, en España. El estudio llevado a cabo en el año 1980, mostraron niveles de DDT; en anguila de 0.128 y 0.391 mg/Kg. En dos localizaciones distintas y en *C. carpio* fueron de 0.666 y 0.130 mg/Kg.

López *et al.*, (1995) analizaron muestras de pez (*Cyprinus carpio*, *ictalorus melas*, *Micropterus salmoides*, *Salmo trutta*, *Anguila anguila*, *Gobio gobio*) en diversos ríos de Cataluña, España. Estos autores encontraron niveles de 0.21 (0-0.1710) mg/Kg del HCHs, de 0.081 (0.003-1) mg/Kg de DDT y de 0.046 (0-.1.11) mg/Kg de epóxido de heptacloro. En el 100% de las muestras se detectó p,p'-DDE, y el lindano fue el más abundante de los derivados del HCH, con una concentración media de 0.017 (0-0.168) mg/Kg.

Un estudio realizado en la India por Dua *et al.*, (1996), se reportaron niveles de DDT de 2.26 ppm en suelo y 0.18 ppm en el agua, en una zona aledaña a un centro poblado donde se controlaba malaria. Los estudios citados hasta ahora, revelan un grave daño en el área ambiental; pero quizás lo más grave del asunto, es que estos niveles de contaminación han ocasionado graves daños a la salud en zonas expuestas al impacto de estos productos. En 1995, un estudio de mujeres

embarazadas en Tailandia reveló que el 75% de ellas estaban contaminadas con pesticidas organoclorados. Estas presentaban valores en sangre de 0.80 a 10.15 ppm. Además reveló que los neonatos tenían niveles de 0.62 a 5.05 ppb, siendo los pesticidas detectados el p'p DDE, DDT, Lindano, HCH y Heptacloro (Atisook *et al.*, 1995). De la misma manera, un estudio realizado en Veracruz México por Waliszewski *et al.*, (1996), demostró que en jóvenes menores de 20 años de edad los niveles de contaminación con DDT eran altísimos, encontrándose entre 9 y 20 ppm.

2.3.5.3 Legislación mexicana de pesticidas organoclorados en peces

Respecto a la protección de los consumidores, existe la **Norma Oficial Mexicana NOM-004-ZOO-2001**, Control de residuos tóxicos en grasa, hígado, músculo y riñón en aves, bovino, caprino, cérvido, equino, ovino y porcino. Residuos tóxicos. Límites máximos permisibles y procedimientos de muestreo. La cual establece que los límites máximos permitidos de residuos de plaguicidas organoclorados en grasa de aves, bovino, caprino, cérvido, equino, ovino y porcino, son los que se presentan en la tabla 3.

Tabla 3. Límites máximos permitidos expresados en mg/Kg (ppm) de residuos de plaguicidas organoclorados en grasa de aves, bovino, caprino, cérvido, equino, ovino y porcino.

COMPUESTO	TEJIDO	ESPECIE						
		BOVINO	EQUINO	PORCINO	OVINO	AVE	CAPRINO	CERVIDO
BHC	Grasa	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300
Lindano	Grasa	7.000	7.000	4.000	7.000	4.000	7.000	7.000
Heptacloro	Grasa	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200
Heptacloro epóxido	Grasa	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200
Aldrín	Grasa	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300
Endosulfán y metabolito	Grasa	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200
Dieldrín	Grasa	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300
Endrín	Grasa	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300
Mirex	Grasa	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100
DDT y metabolito	Grasa	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000
Metoxicloro	Grasa	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000

FUENTE: Diario Oficial de la Federación, 2001.

Las sanciones del incumplimiento a las disposiciones contenidas en dicha Norma, será penalizado conforme a lo establecido en la Ley Federal de Sanidad Animal y la Ley Federal sobre Metrología y Normalización.

2.3.6 Factores que influyen en los niveles de residuos de pesticidas organoclorados

Los niveles de residuos de pesticidas organoclorados están influenciados por diversos factores, como lo son; tipo de compuesto, tamaño y edad del pez, contenido lípidico, época del año, nivel trófico y estado reproductivo.

2.3.6.1 Tipo de compuesto

El tipo de compuesto influye en los niveles de residuos de pesticidas encontrados en la naturaleza. Por ejemplo; el Metoxicloro, el cual es de una estructura similar al DDT, es mucho menos persistente, así lo demuestra un estudio realizado por Fredden *et al.*, (1975), en el que prueba que 17 semanas después de haber aplicado el metoxicloro para control de larva de mosca negra en el río Saskatchewan, no se hallaron residuos de éste en los peces.

En base a la literatura, generalmente en muestras medio ambientales el DDE es el componente predominante del DDT. En un modelo de ecosistema, el DDT se degrada la mayoría a DDE y poco a DDD. Un elevado porcentaje de p,p'-DDT, indica que el pez ha estado expuesto al compuesto recientemente.

Rara vez, la concentración de DDD es mayor que la del DDT. En general parece que bajo condiciones normales, el p,p'-DDD es un componente minoritario del total de DDT, excepto cuando el pez lo ingiere directamente de los sedimentos (French *et Jefferies*, 1971 en Soler 2002).

2.3.6.2 Tamaño y edad del pez

El efecto del tamaño del pez en la ingestión de residuos organoclorados ha sido estudiado por numerosos autores.

Reinert en 1970, encontró que la concentración de DDT y el dieldrín se incremento con la edad en la trucha y en el pez ojizarco en los Grandes Lagos. A medida que el pez creció, el porcentaje de grasa incrementó, por lo que los peces fueron capaces de almacenar más pesticida.

Youngs *et al.*, (1972) realizaron un estudio en donde los niveles del DDT fueron de 1 mg/Kg en truchas de 1 año y de 14 mg/Kg en truchas de 12 años de edad. En el grupo de edad estudiado, el cual fue de 5 a 8 años, la trucha hembra tenía mayores residuos que los machos.

Contrario a los estudios presentados anteriormente, sobre la correlación positiva entre edad y concentración de residuos en peces. Kellogg y Bulkley en 1976 encontraron que las concentraciones de dieldrín no siempre eran mayores en peces gato más grandes que las que presentaban los peces más pequeños.

Giam *et al.*, (1974) no hallaron concentración entre el tamaño y el nivel de residuos en regiones con bajos niveles de contaminación por compuestos organoclorados, pero sí establecieron correlaciones positivas en áreas donde los niveles de estos contaminantes eran elevados.

Una posible razón a esta controversia, puede ser el modo en que los niveles de residuos se expresan, ya que algunos los expresan en base al peso de tejido fresco y otro en base al peso total del pez y otros por la cantidad de grasa extraíble.

2.3.6.3 Contenido lipídico

Los compuestos organoclorados poseen una afinidad por las sustancias de carácter lipofílico. Los organoclorados al ingresar en el organismo del pez, se distribuyen por los diferentes tejidos, pero la mayor acumulación es en los tejidos con alto contenido en grasa, como es el tejido adiposo, piel, gónadas, hígado y músculo.

Aunque algunos investigadores han encontrado correlación directa entre el contenido lipídico y la concentración de residuos, otros no encuentran tales correlaciones.

Generalmente, se encuentran mayores concentraciones del total de DDT en animales con mayor contenido de grasa, pero los residuos en todo el organismo o en músculo no se correlacionaron con el contenido lipídico (Hargrave *et* Phillips, 1976 en Soler 2002).

Bulkley en 1978, concluyó que peces con elevado contenido en grasa (11%) contenían menos DDT en el músculo que aquellos que tenían menos del 1% de grasa en músculo (Soler, 2002).

2.3.6.4 Estación o época del año

La variación estacional está relacionada en la concentración de compuestos organoclorados, con la estación de aplicación en la tierra y el transporte a ambientes acuáticos, así como la condición del pez, grado de alimentación y estado de reproducción.

Reinert y Bergman en 1974 encontraron que el salmón en el Lago Michigan acumuló la máxima concentración de DDT entre junio y agosto precediendo la época de desove (Soler, 2002).

Diversos estudios demuestran que los niveles máximos de residuos plaguicidas en peces se encuentran en primavera y verano, contrariamente sucede en otoño e invierno, meses en los cuales las concentraciones de dichos compuestos son menores.

2.3.6.5 Nivel trófico

Algunos autores han observado que los hábitos tróficos de las especies condicionan los niveles de compuestos organoclorados presentes en ellas.

Fernández *et al.*, (1984) determinaron los niveles de organoclorados en diversas especies de peces capturados en el Parque Nacional de Doñana (España). Dichos autores constataron que especies ictiófagas, como las anguilas (*Anguilla angilla*) presentan niveles superiores de DDT que las fitófagas (omnívoros) con un importante componente vegetal en la dieta, caso de *Cyprinus carpio*. Así, en el estudio llevado a cabo durante 1980, los niveles del total DDT encontrados en anguilas en dos localizaciones distintas fueron de 0.128 y 0.391 mg/Kg, frente a los 0.066 y 0.130 mg/Kg presentados en *C. carpio*.

Otro estudio realizado por Sackmaverova *et al.* (1977), determinaron los isómeros del HCH, DDE y DDT en dos grupos de peces que viven en el Danubio (Checoslovaquia), durante el periodo 1971-1974. Los grupos muestreados fueron: fitófagos (*Cyprinus carpio*, *Abramis ballerus* y *Chondrostoma nasus*) e ictiófagos (*Esox lucius*, *Lepomis gibbosus*, *Aspius aspius* y *Perca fluviatilis*). Los contenidos medios de gamma-HCH, beta-HCH, DDE y DDT en los peces fitófagos fueron menores que en los peces ictiófagos. Los niveles de DDE en los ictiófagos eran unas 10 veces superiores a los presentados por los fitófagos. Estos niveles presentes en los peces eran de 1 a 10 veces superiores a los detectados en las aguas donde fueron capturados (Soler, 2002).

Otros autores opinan que el nivel trófico influye poco. Por lo tanto, la carga parece estar más influida por otros factores como contenido lipídico, tamaño y condición corporal o estado reproductivo del pez.

2.3.6.6 Estado reproductivo

Cuando el acúmulo de lípidos se agota, la proteína es utilizada como fuente secundaria de energía. El agotamiento de los lípidos de la masa proteica generalmente provoca el aumento correspondiente del contenido de agua en los tejidos del pez. Sin embargo, durante requerimientos energéticos extremos, como cuando el salmón en desove moviliza la mayor parte de sus lípidos almacenados para la producción de gametos y cesa de alimentarse, la masa muscular perdida no

puede ser compensada por la hidratación de tejidos y pueden aparecer pérdidas significativas en el peso corporal (Weatherly *et Gill*, 1987 en Soler 2002). Es posible, por lo tanto, que se pierda la suficiente masa corporal como para que se produzca una concentración de los residuos organoclorados en el salmón durante la época de reproducción.

En los peces hembra suele ocurrir lo contrario, debido al aumento del tamaño de las gónadas, al que se añade su carácter lipofílico, los organoclorados que en este estado fisiológico se introducen en el organismo, suelen acumularse en una mayor proporción. Sin embargo, el desove, como procedimiento natural ayuda a la eliminación de estos residuos (Weatherly *et Gill*, 1987 en Soler 2002).

2.3.7 Métodos de determinación de pesticidas organoclorados

Debido a la gran problemática que ha surgido con la utilización de pesticidas y a la importancia de determinar la presencia de estos en muestras ambientales y biológicas, algunas instituciones como la Agencia de Protección del Ambiente (EPA), han diseñado una serie de métodos analíticos para la determinación de plaguicidas en muestras ambientales, este análisis involucra la identificación y cuantificación de cientos de diversos compuestos o combinación de los mismos en diversas matrices.

El análisis químico juega un papel importante, y técnicas como la cromatografía y la electroforesis capilar han sido empleadas para la detección y cuantificación de pesticidas en diversos ecosistemas. Dichos métodos, han sido empleados en muchos análisis. Por ejemplo, Carvalho *et al.*, (1998) realizaron un rastreo de plaguicidas en 18 países tropicales mediante trazadores radiactivos. En España evaluaron la sangre de trabajadores agrícolas mediante cromatografía, detectando la presencia de plaguicidas. En Yaracuy (Venezuela) en 1996 Bruguera y Brunetto mediante cromatografía analizaron muestras de sangre materna, detectando la presencia de DDT. Todos estos análisis han usado la cromatografía como método de cuantificación.

2.3.7.1 Cromatografía de gases

La cromatografía ha definido como un método físico de separación en el cual los componentes a separar se distribuyen entre dos fases, una de las cuales constituye la fase estacionaria, de gran área superficial, y la otra es un fluido (fase móvil) que pasa a través o a lo largo de la fase estacionaria.

La fase estacionaria puede ser un sólido o un líquido dispuesto sobre un sólido que actúa como soporte, de gran área superficial. La fase móvil es un fluido (puede ser gas, líquido o fluido supercrítico) que se usa como portador de la mezcla.

En la cromatografía ocurren dos fenómenos muy importantes y que son prácticamente los rectores del proceso de separación: la adsorción y la absorción (Scott, 1995).

La adsorción es la retención de una especie química en los sitios activos de la superficie de un sólido, quedando delimitado el fenómeno a la superficie que separa las fases o superficie interfacial. Esta retención superficial puede ser física o química.

La adsorción depende de la naturaleza de la sustancia adsorbida, de la temperatura, de la naturaleza y estado de subdivisión del adsorbente, y de la concentración. La absorción es la retención de una especie química por parte de una masa (<http://www.relaq.mx/RLQ/tutoriales/cromatografia/Gas.htm>, agosto 2007) y depende de la tendencia que tiene ésta a formar mezcla o reaccionar químicamente con la misma.

2.3.7.2 Electroforesis capilar

La electroforesis es un método de laboratorio en el que se utiliza una corriente eléctrica controlada con la finalidad de separar biomoléculas según su tamaño y carga eléctrica a través de una matriz gelatinosa.

Cuando una mezcla de moléculas ionizadas y con carga neta son colocadas en un campo eléctrico, estas experimentan una fuerza de atracción hacia el polo que posee

carga opuesta, dejando transcurrir cierto tiempo las moléculas cargadas positivamente se desplazarán hacia el cátodo (el polo negativo) y aquellas cargadas positivamente se desplazarán hacia el ánodo (el polo positivo).

El movimiento de las moléculas esta gobernado también por dos fuerzas adicionales; inicialmente la fricción con el solvente dificultará este movimiento originando una fuerza que se opone, por otro lado las moléculas tienen que moverse en forma aleatoria o movimiento browniano debido a que poseen difusión. La energía cinética de las moléculas aumenta con la temperatura, por ello a mayor temperatura mayor difusión.

La suma de todas estas fuerzas provoca que las moléculas no migren de una manera homogénea, de tal manera que, si las moléculas son colocadas en un cierto lugar de solución, los iones comenzaran a moverse formando un frente cuya anchura aumentara con el tiempo.

Para reducir la anchura de este frente podemos reducir el movimiento de las moléculas empleando un medio que oponga mas resistencia a dicho movimiento.

Una forma común de hacer esto es formar un gel. El gel consiste de un polímero soluble de muy alto peso molecular que atrapa moléculas de agua y forma un tamiz que dificulta el movimiento de los solutos, consecuentemente, la migración electroforética de las moléculas será mas lenta, pero el ensanchamiento del frente se vera reducido también (Castagnino, 2000).

La electroforesis capilar se basa en los mismos principios de las técnicas electroforeticas convencionales, pero utiliza condiciones y tecnología distinta que nos permiten obtener una serie de ventajas al respecto (<http://www.javeriana.edu.co/Facultades/Ciencias/neurobioquimica/libros/celular/electroforesis.html>, febrero 2007), con esta técnica es posible separar cationes, aniones, proteínas, macromoléculas y sustancias no cargadas en forma simultánea .

III. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL:

Evaluar la composición nutrimental y la bioacumulación de pesticidas organoclorados en *Cyprinus carpio* que habita en el lago de Tecocomulco en el Estado de Hidalgo.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

1. Evaluación de *Cyprinus carpio* del lago de Tecocomulco, en octubre-noviembre 2006, y marzo-abril 2007.
2. Determinar la composición de los principales macroconstituyentes de *Cyprinus carpio* por análisis proximal.
3. Evaluar la bioacumulación de pesticidas organoclorados mediante el uso de la cromatografía de gases acoplado a masas en *Cyprinus carpio*.
4. Analizar los resultados obtenidos de *Cyprinus carpio* para poder evaluar su potencial uso en la alimentación humana.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Obtención y preparación de muestras

Para la realización del presente trabajo de investigación se utilizó como muestra de estudio a *Cyprinus carpio*. Se realizaron 4 muestreos. El primer muestreo se realizó en octubre, el segundo en noviembre 2006, después se realizó el tercer muestreo en marzo y finalmente el cuarto en abril 2007.

En cada muestreo se tomaron tres ejemplares frescos del lago de Tecocomulco, algunos de los cuales se presentan en la figura 3, posteriormente cada una se procedió a limpiarse (se eliminaron escamas y se lavó), después se realizó una disección y se separaron los órganos y tejidos en 5 grupos; piel, vísceras, branquias, músculo y hueso, como se muestra en la figura 4.



Figura 3. Ejemplares de *Cyprinus carpio*.



Figura 4. Órganos y tejidos de *Cyprinus carpio*.

4.1.1 Cinética de secado

Cada una de las muestras, previamente pesadas, se sometieron a temperatura de 45°C por 5 días para su secado. Éstas se pesaron cada 24 h durante los 5 días para obtener posteriormente una cinética de secado. Algunas de las muestras se presentan en la figura 6.



Figura 5. Muestras de *C. carpio* durante el proceso de secado.

Las condiciones óptimas de secado de *Cyprinus carpio* (a 45°C por 5 días) se obtuvieron después de algunos ensayos, variando las temperaturas y tiempos de secado con otras ejemplares.

4.2 Análisis y determinaciones

4.2.1 Análisis químico proximal

A cada una de las cinco partes en que fueron separadas lo ejemplares de *C. carpio* se le realizó por triplicado las siguientes determinaciones fisicoquímicas:

- Contenidos de humedad: gravimétrico (AOAC, 1995, Part 925.09 y 923.03)
- Contenidos de ceniza: sequedad, incineración, y gravimetría (AOAC, 1995, Part 925.09 y 923.04).
- Contenidos de grasas totales: método de extracción en equipo soxhlet (AOAC,1995, Part 922.06).
- Contenido de proteínas: método Kjeldahl para determinación de nitrógeno (AOAC, 1995, Part 991.20)
- Contenido de carbohidratos: por diferencia de porcentajes de todos los constituyentes en materia seca respecto al cien por ciento.

4.2.1.1 Humedad

Esta prueba se basa en la pérdida de agua que sufrió la muestra al ser calentada hasta peso constante. El método utilizado fue el 925.10 de la AOAC (1990). Para la medición, se utilizaron charolas de aluminio previamente puestas a peso constante. Se pesaron 3 g de la muestra molida, la cual fue calentada en una estufa Fisher Scientific con recirculación de aire a 130°C ± 3°C por 1 hora. Transcurrido este tiempo las charolas se enfriaron a temperatura ambiente en un desecador hasta peso constante y fueron pesadas. El porcentaje de humedad se calculó bajo la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{P_1 - P_2}{m} \times 100$$

Donde:

P_1 = peso de la charola con muestra antes de ser secada (g).

P_2 = peso de la charola con muestra después de secada (g).

m = peso de la muestra (g).

4.2.1.2 Cenizas

El material mineral se cuantificó incinerando la muestra hasta la obtención de un residuo inorgánico correspondiente a la fracción de las cenizas de la muestra. Se determinó de acuerdo al método 923.03 de la AOAC (1990) a partir de 3 g de muestra incinerada en una mufla Fisher Scientific a una temperatura de 550°C hasta que se obtuvieron cenizas color grisáceo o blanco uniforme sin que se presentaran manchas negras. Los crisoles se dejaron enfriar en un desecador hasta alcanzar la temperatura ambiente. Con la siguiente fórmula se determinó el contenido de cenizas:

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{P_1 - P_2}{m} \times 100$$

Donde:

P_1 = peso del crisol con muestra después de la incineración (g).

P_2 = peso del crisol a peso constante (g).

m = peso de la muestra (g).

4.2.1.3 Grasas

La extracción de sustancias grasas de la muestra se llevo a cabo por calentamiento continuo a reflujo con éter etílico, así por medio de la volatilización y condensación del éter sobre la muestra se produce un lavado continuo logrando extraer todo el material soluble en él. Para esta determinación se utilizaron 5 g de muestra seca y éter etílico anhidro como solvente, basándose en el procedimiento soxhlet 920.39 AOAC (1990). El periodo de extracción fue de 6 horas. Se determinó el porcentaje de grasas con la fórmula siguiente:

$$\% \text{ Grasa} = \frac{P_1 - P_2}{m} \times 100$$

Donde:

P_1 = peso del matraz después de la extracción (g).

P_2 = peso del matraz antes de la extracción (g).

m = peso de la muestra (g).

4.2.1.4 Proteínas

El método empleado fue el 46.10 de la AACC (2001) por medio del método Kjeldahl. La muestra de 0.2 g con 5.2 g de sulfato de potasio y 0.1 g de sulfato de cobre se sometió a una digestión con 20 mL de ácido sulfúrico concentrado en un digestor Kjeldahl 80 ESEVE, esta reacción convirtió el nitrógeno orgánico e inorgánico en nitrógeno amoniacal. Después de 4 horas de digestión, cuando las muestras tenían un color verde turquesa se sacaron. Fue necesario adicionar 60 mL de agua destilada aproximadamente a cada muestra para diluir el ácido remanente y evitar que el sulfato de cobre precipitara. La destilación se llevó a cabo en un destilador marca Gerhardt utilizando NaOH al 30% para que el amoniaco se liberara. Se destiló la muestra utilizando 20 mL de solución de ácido bórico y tres gotas del indicador Shiro-Toshiro para recibir el destilado. El programa de destilación utilizado fue el siguiente: tiempo de entrada de sosa 8 s (10 mL/s), 5 s de mezclado y 360 s de destilación a 60°C. Posteriormente se tituló con H_2SO_4 0.1 M que en forma indirecta es proporcional al contenido de nitrógeno. El factor de conversión utilizado fue 6.25 que es el empleado para el pescado. Se obtuvo el contenido de proteína empleando la fórmula que a continuación se muestra:

$$\% \text{ Proteína} = \frac{V \times M \times PM \times 100 \times f}{1000 \times P_o}$$

Donde:

V = volumen gastado de ácido

M = molaridad del ácido

PM = peso molecular del nitrógeno 14.007 g/mol

f = factor de conversión

Po = peso de la muestra

4.2.1.5 Hidratos de carbono

Se obtuvo el contenido de estos constituyentes por diferencia de porcentajes de todos los constituyentes con respecto al cien por ciento.

$$\% \text{ HC} = 100 - \sum A$$

Donde:

A = Suma de los porcentajes obtenidos de cenizas, grasa, proteína y fibra dietética total.

4.2.2 Determinación de pesticidas organoclorados en peces

Para realizar la determinación de residuos de pesticidas organoclorados en *C. carpio* se utilizó la técnica analítica de cromatografía de gases capilar con detector de espectrometría de masas (MS).

Todo el material de vidrio se lava con detergente y agua, se enjuaga con agua destilada y se lava con acetona y posteriormente con éter etílico o hexano.

Esta determinación se realizó a partir de las extracciones de grasa obtenidas en el análisis proximal, las cuales fueron almacenadas con 2 mL de éter etílico en viales con tapón de rosca de 5 mL de capacidad, previamente etiquetados y pesados en vacío. Dichos viales fueron almacenados a condiciones de refrigeración (4°C), protegidos de la luz y aire para evitar la oxidación de éstas.

4.2.2.1 Cromatografía de gases

4.2.2.1.1 Identificación

Para la identificación de los pesticidas organoclorados, se buscaron las condiciones óptimas de operación, así como también se realizó una curva de calibrado, utilizando

un estándar analítico de una mezcla de 16 pesticidas organoclorados (Organochlorine Pesticides Mixture), de la marca ULTRA Scientific.

Se utilizó un cromatógrafo de gases marca HP 5890, equipado con detector de masas y un inyector Split.

Las condiciones de operación del cromatógrafo fueron las siguientes:

Tipo de columna: Columna capilar HP-5 (30 m largo X .25 mm y 0.25 μm de espesor, (5% fenil)-metil polisiloxano. Suministrada por HP.

Gas portador: Helio

Flujo total: 1 mL/min

Temperatura del detector: 300°C

Temperatura de la columna: 60°C (1 min), rampa 25°C/min hasta llegar a 100°C (1min), rampa 5°C/min hasta llegar a 300°C (6 min).

Temperatura del inyector: 300°C

Volumen de muestra inyectado: 1 μL

Se tomó 1 μL del estándar directamente de la ampollita con una microjeringa de inyección manual con capacidad de 10 μL , se inyectó al cromatógrafo de gases y se dejó correr esta muestra en el cromatógrafo por 45 min, ya que este tiempo fue suficiente para obtener el cromatograma con los 16 picos, los cuales pertenecen a los 16 pesticidas incluidos en la muestra. Posteriormente se analizó el cromatograma, el cual nos indicó los tiempos de retención y el peso molecular aproximado para cada pesticida, esto fue comparado con la literatura y se obtuvo así la identificación y orden de aparición de éstos.

Curva de Calibrado

La curva de calibrado se realizó a partir del estándar analítico con una concentración de 20 $\mu\text{g/mL}$ (20 ppm), a partir de éste se prepararon diluciones a concentraciones de 0 a 10 $\mu\text{g/mL}$ o ppm.

Los matraces que contenían estas diluciones fueron protegidos de la luz y del aire, tapándolos correctamente y forrándolos con papel aluminio para evitar la descomposición o transformación de alguno de los pesticidas.

Posteriormente se procedió a pinchar 1 μL de cada solución a las diferentes concentraciones, con los cromatogramas obtenidos de estos análisis se creó un método de trabajo en el programa de cromatografía MS Data Análisis #1, el cual introduciendo los datos obtenidos, automáticamente nos dio la curva de calibrado y su regresión lineal, para poder así cuantificar los pesticidas organoclorados en la grasa del pescado.

4.2.2.1.2 Cuantificación

Para llevar a cabo la cuantificación de pesticidas organoclorados, se mezclaron homogéneamente las 3 muestras de grasas de cada grupo (piel, vísceras, branquias, músculo y hueso) obtenidas de las 3 *C. carpio* que se recolectaron por muestreo.

Posteriormente se procedió a pinchar con una microjeringa 1 μL de cada mezcla de grasas en el cromatógrafo y se obtuvieron los correspondientes cromatogramas. Los cromatogramas obtenidos se analizaron con MS Data Analysis #1, el cual contiene el método en que se encuentra la curva de calibrado y nos da automáticamente la identificación y cuantificación de pesticidas en las grasas.

5.1 Cinética de Secado

En cada muestreo se tomaron 3 hembras *Cyprinus carpio* con un peso aproximado de 190-220 g. Las *C. carpio* que poseen este peso están en estado reproductivo, esto puede verse en el grado de desarrollo de la gónada. Después se procedió a limpiar, disectar y dividir las *C. carpio* en 5 grupos (piel, vísceras, branquias, músculo y hueso). De cada uno de los grupos se obtuvieron los pesos y se expresaron en porcentaje como se muestra en la tabla 4.

Tabla 4. Principales constituyentes de *Cyprinus carpio*.

Grupo	Porcentaje expresado en materia húmeda.
Piel	8.58 (0.14)
Vísceras	33.24 (0.19)
Músculo	46.37 (0.09)
Branquias	5.35 (0.05)
Hueso	6.47 (0.03)

Entre paréntesis se muestran los datos de desviación estándar.

La cinética de secado de cada uno de los grupos de *Cyprinus carpio*, se realizó a una temperatura de 45°C, dicha cinética fue monitoreada cada 24 horas por un periodo de 5 días, los principales resultados se muestran en la figura 6, en la cual se puede observar que el músculo es el tejido que presenta la mayor cantidad de humedad y el hueso la menor. Así mismo se observa que existe una pérdida gradual de humedad en todos los órganos y tejidos de *C. carpio* conforme transcurren los días hasta alcanzar una masa constante a partir del 4° día.

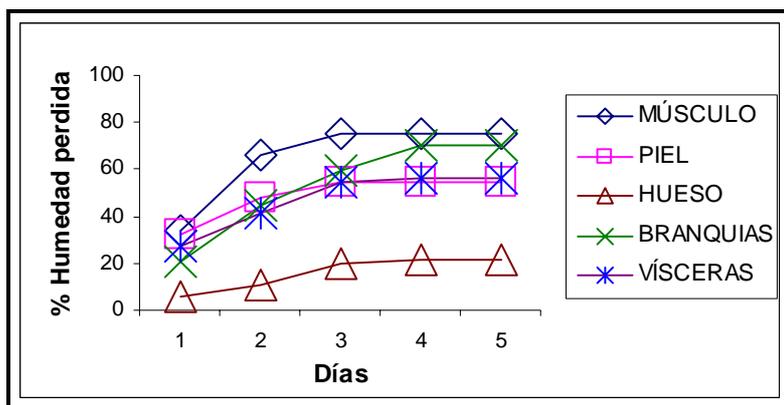


Figura 6. Cinética de secado de *Cyprinus carpio*

5.2 Análisis proximal

El análisis proximal fue realizado a partir de las muestras secas. En la tabla 5, se presenta la composición promedio de los principales macroconstituyentes de *C. carpio*, en la que se puede observar que la proteína es el macronutriente mayoritario de *C. carpio* en base seca, ya que está presente en un 75% del pescado. Seguido de las grasas, las cuales ocupan el 19% de ésta. Dichos resultados fueron obtenidos después de haber realizado por triplicado el análisis proximal (cenizas, grasas, proteínas y carbohidratos) a cada una de los cinco grupos en que fue separada cada *C. carpio*.

Tabla 5. Composición promedio de los principales macroconstituyentes de *Cyprinus carpio*, expresados en base seca. (Desviación estándar).

Macroconstituyente	En el pescado
Cenizas	5% (0.15)
Grasas	19% (0.19)
Proteínas	75% (0.11)
Carbohidratos	1% (0.09)

5.2.1 Análisis proximal de octubre y noviembre (2006), marzo y abril (2007)

Los principales resultados del análisis proximal de *C. carpio*, reportados en base seca en los meses de octubre y noviembre (2006), marzo y abril (2007), son

presentados en las figuras 7, 8, 9 y 10. En estas figuras se indican en el eje de las abscisas con las letras respectivas Mp (músculo), Pp (piel), Vp (vísceras), Bp (branquias) y Hp (hueso).

En las tablas 7 y 8 se observa que existe una gran cantidad de grasa en la piel, vísceras y branquias. Igualmente se puede observar una mínima cantidad de carbohidratos en todas las partes de *C. carpio* excepto en las vísceras que aproximadamente tienen el 10% de carbohidratos. La mayor parte de proteína se encuentra en el músculo y la menor cantidad en la piel.

En las tablas 8 y 9 se observa que los contenidos de grasa y proteína son menores que las presentes en todas las partes de *C. carpio* en los meses de octubre y noviembre. También se observa que la mayor cantidad de cenizas se encuentra en el hueso.

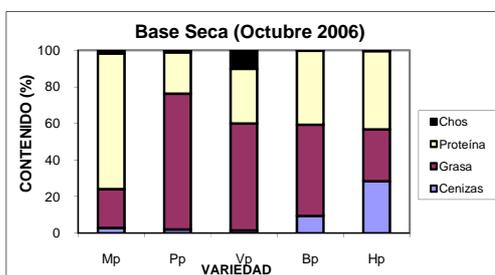


Figura 7. Análisis proximal de *Cyprinus carpio* en base seca de octubre 2006

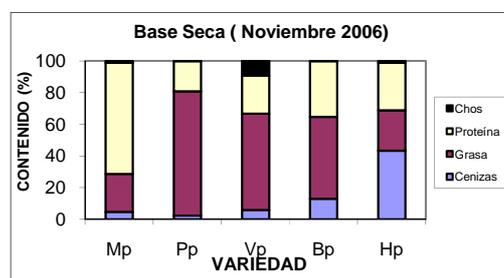


Figura 8. Análisis proximal de *Cyprinus carpio* en base seca de noviembre 2006

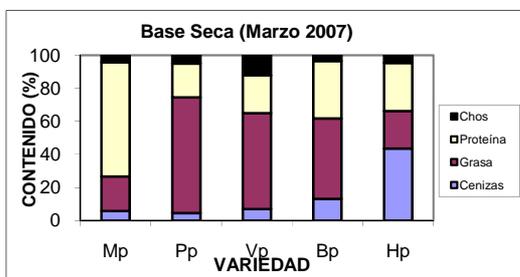


Figura 9. Análisis proximal de *Cyprinus carpio* en base seca de marzo 2007

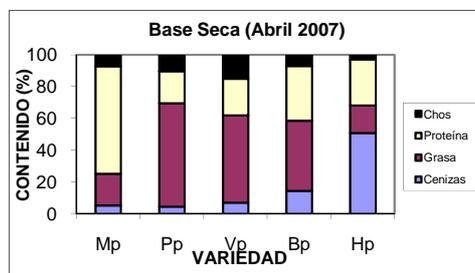


Figura 10. Análisis proximal de *Cyprinus carpio* en base seca de abril 2007

5.2.1.1 Lípidos

En la figura 11 se presenta la variación estacional del % de grasa de *Cyprinus carpio*. Se observa que la parte con la mayor cantidad de grasa es la piel, seguida de las vísceras y de las branquias. El componente que tiene menos grasa es el hueso. También es posible observar que la mayoría de los componentes de *C. carpio* excepto el hueso, tienen un incremento de grasa de octubre a noviembre y un descenso de ésta de marzo a abril.

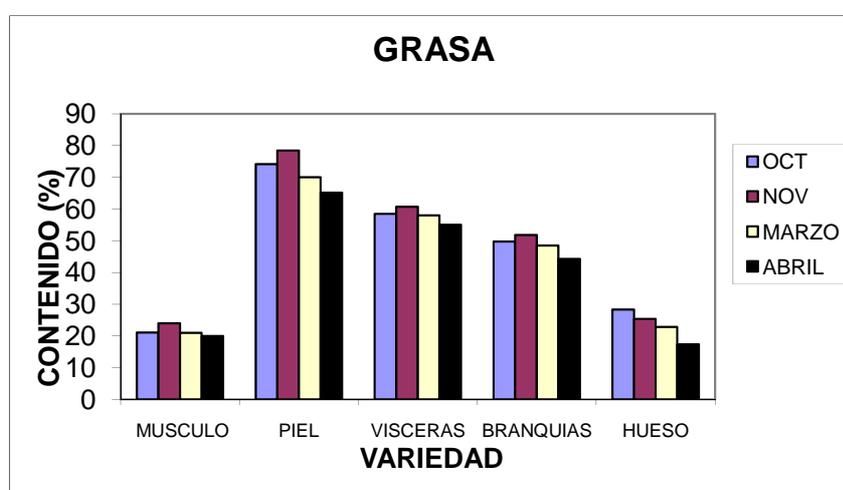


Figura 11. Variación estacional del % de grasa de *Cyprinus carpio*

5.2.1.2 Proteínas

En la figura 12 se presenta la variación estacional del % de proteína de *Cyprinus carpio*, en la cual se observa que la mayor parte de proteínas se encuentra en el músculo y la menor en la piel. También se observa que de octubre a noviembre el contenido de proteínas en todos los componentes de *C. carpio* tienen un descenso. En marzo y abril no existe una variación significativa, es decir, el contenido de proteínas se mantiene constante.

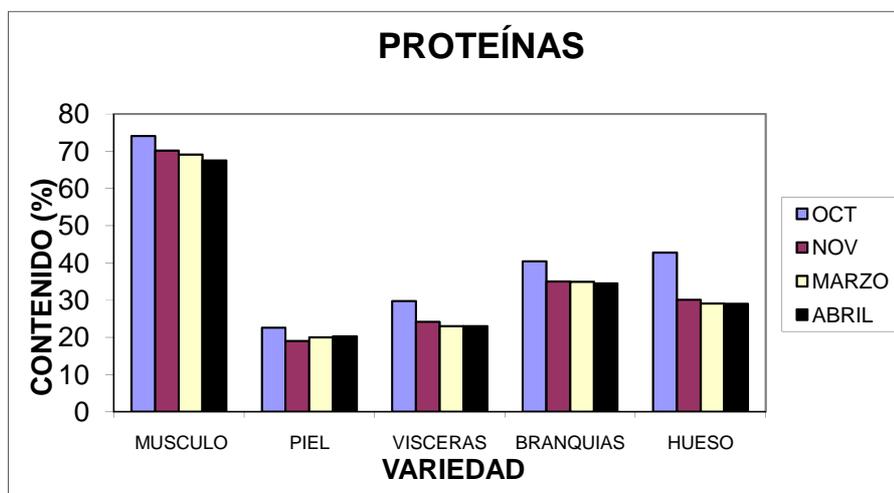


Figura 12. Variación estacional del % de proteína de *Cyprinus carpio*

5.2.1.3 Cenizas

Los principales resultados del % de cenizas de los 4 meses en *Cyprinus carpio*, se presentan en la figura 13. En ésta se observa que el mayor contenido de cenizas se encuentra en el hueso, seguida de las branquias y posteriormente las vísceras. También se observa que todos los componentes de *C. carpio* tienen la menor cantidad de cenizas en el mes de octubre y la mayor en abril.

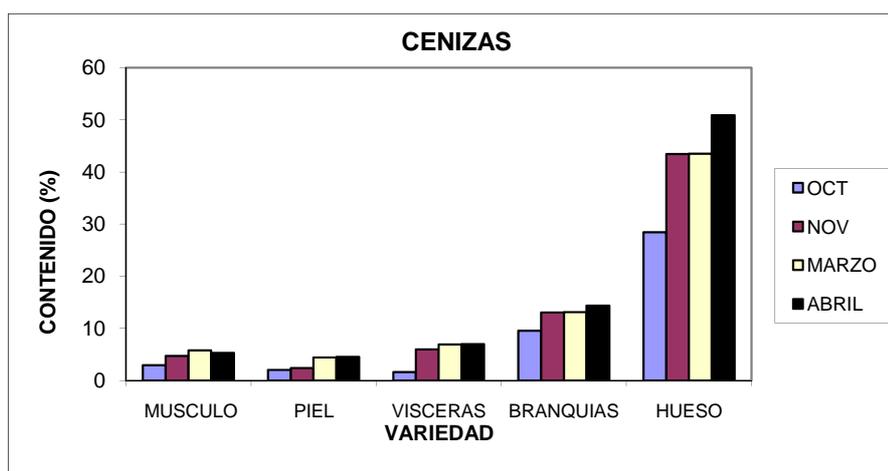


Figura 13. Variación estacional del % de cenizas de *Cyprinus carpio*

5.2.1.4 Hidratos de carbono

Los principales resultados del % de hidratos de carbono de los 4 meses en *Cyprinus carpio*, se presentan en la figura 14. En ésta se puede observar que la mayor cantidad de hidratos de carbono (también llamados carbohidratos) se encuentra en las vísceras y la menor en el hueso. Se observa que en todos los componentes de *C. carpio* existe una gran variación de dichos macronutrientes en los 4 meses de estudio.

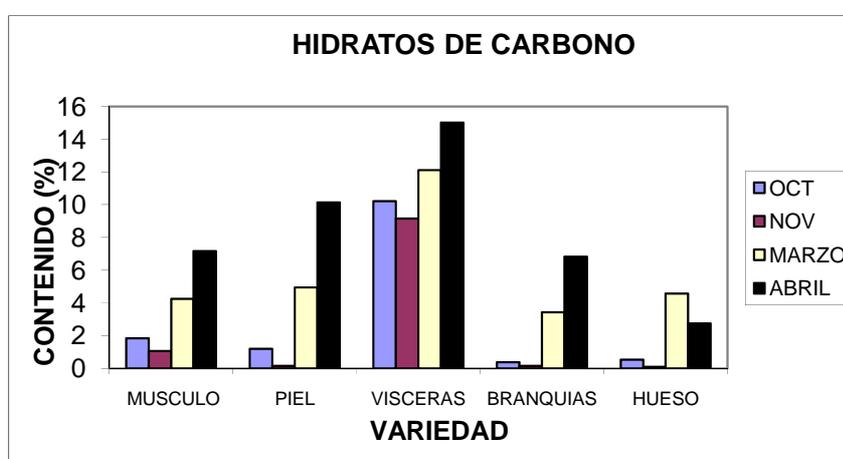


Figura 14. Variación estacional del % de hidratos de carbono o carbohidratos de *Cyprinus carpio*

5.3 Determinación de pesticidas organoclorados

5.3.1 Identificación y cuantificación

Los resultados de identificación de compuestos organoclorados, requiere de trabajos previos de identificación en los cromatogramas que se obtienen de los análisis. Para cada cromatograma se realiza por tanto un proceso previo de identificación de cada uno de los picos o señales que se obtienen, según el tiempo de retención y comparándolos con el tiempo de retención de la mezcla de pesticidas (estándar analítico).

El estándar analítico que se utilizó en este estudio fue (Organochlorine Pesticides Mixture), suministrado por ULTRA Scientific, Catalog Numer PPM-608B.

El cromatograma de los 16 patrones utilizados se muestra en la figura 15, indicando para cada uno el tiempo de retención:

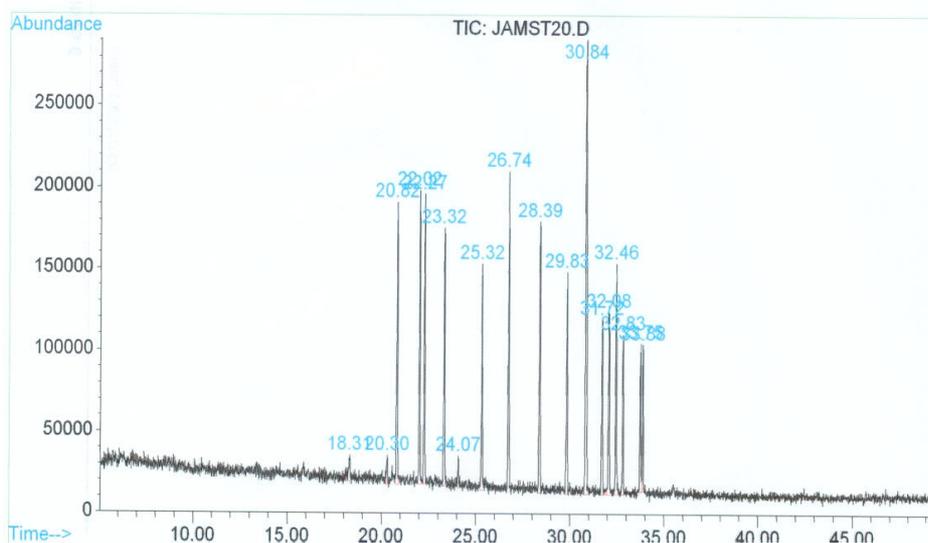


Figura 15. Cromatograma de mezcla de 16 pesticidas utilizados, medidos en la columna capilar HP-5.

En la figura 15, se pueden observar los 16 picos con sus diferentes tiempos de retención, los cuales pertenecen a los 16 pesticidas organoclorados.

Los tiempos de retención y orden de aparición de los plaguicidas que fueron evaluados, quedan reflejados en la tabla 6.

Tabla 6. Tiempo y orden de aparición de los organoclorados utilizados como patrón de pesticidas en la columna capilar.

Pesticida	Tiempo medio de retención (minutos)	Orden de aparición
α -BHC	20.820	1
β -BHC	22.012	2
γ -BHC	22.265	3
δ -BHC	23.309	4
Heptacloro	24.075	5
Aldrín	25.316	6

Continuación tabla 6.

Heptacloro epóxido	26.750	7
Endosulfan 1	28.368	8
Dieldrín	29.836	9
DDE	30.846	10
Endrín	31.706	11
Endosulfan 2	32.085	12
DDD	32.463	13
Endrin aldehído	32.830	14
Endosulfan sulfato	33.748	15
DDT	33.908	16

5.3.2 Curva de calibración

En la figura 16 se presenta la curva de calibrado, la cual fue necesaria realizar para la identificación y cuantificación de pesticidas organoclorados. Dicha curva fue realizada inyectando la mezcla de los 16 pesticidas a diferentes concentraciones, entre 0-20 $\mu\text{g/mL}$ o ppm. En ésta se observa que la mezcla de pesticidas más diluida obtiene una menor área y la más concentrada obtiene mayor área.

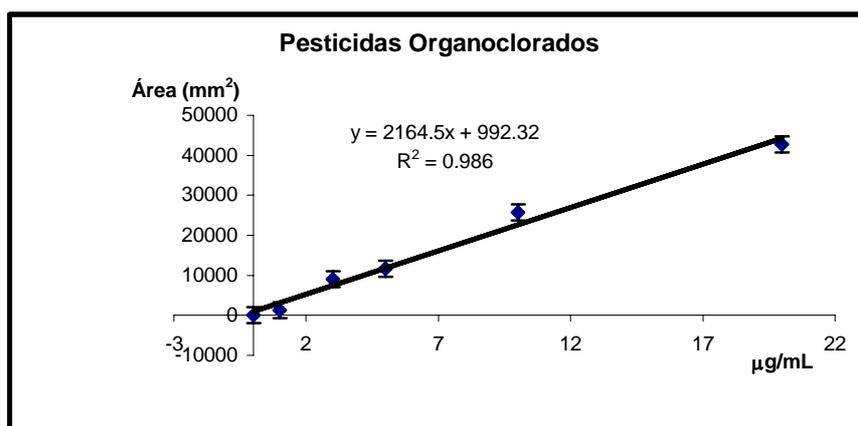


Figura 16. Curva de calibrado de pesticidas organoclorados

Se obtuvo una regresión lineal (R^2) de 0.986

5.3.3 Compuestos organoclorados

5.3.3.1 Pesticidas detectados

A continuación en la tabla 7 se muestran los pesticidas organoclorados encontrados en *Cyprinus carpio* del lago de Tecocomulco, Hidalgo.

Tabla 7. Pesticidas organoclorados encontrados en *Cyprinus carpio* del lago de Tecocomulco, Hidalgo. Entre paréntesis se indica el orden de aparición en el cromatograma.

Pesticidas Detectados	
DDT (16)	Endrín (11)
DDE (10)	Endrín aldehído (14)
Aldrín (6)	Endosulfán 2 (12)
Dieldrín (9)	Endosulfán sulfato (15)

DDT

Los niveles detectados de DDT en *C. carpio* del lago de Tecocomulco, Hidalgo se reflejan en la tabla 8. En ésta se observa que la piel tiene el mayor nivel de DDT (2.33 ppm) en el mes de noviembre y el nivel detectable más bajo fue en el músculo (1.75 ppm) en abril. En branquias y hueso los niveles de DDT no fueron detectados en marzo ni en abril.

Tabla 8. Niveles promedio de DDT (ppm) detectados en *Cyprinus carpio* de Tecocomulco, Hidalgo. (Desviación estándar).

DDT	Músculo	Vísceras	Piel	Branquias	Hueso
Oct-2006	1.77(0.03)	2.00(0.00)	2.16(0.03)	1.90(0.02)	1.81(0.00)
Nov-2006	1.82(0.03)	2.20(0.11)	2.33(0.01)	2.19(0.03)	1.91(0.01)
Mar-2007	1.80(0.02)	1.91(0.02)	2.05(0.07)	ND	ND
Abr-2007	1.75(0.11)	1.76(0.03)	2.02(0.03)	ND	ND

ND: No Detectado

En la figura 17 se presentan los niveles promedio de DDT en las diferentes partes de *Cyprinus carpio* en los diferentes meses de muestreo. Se observa que en todos los

componentes de *C. carpio* existe un incremento de los niveles de DDT de octubre a noviembre, así mismo se observa un descenso de éstos en marzo y abril.

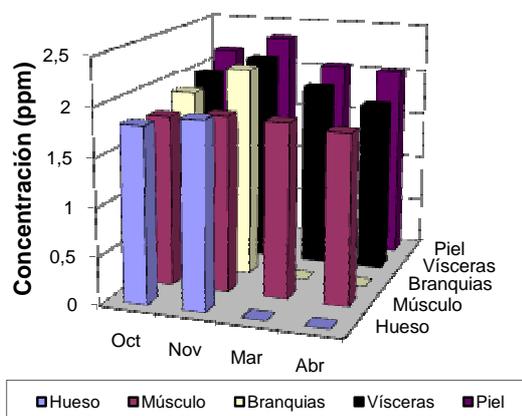


Figura 17. Niveles promedio de DDT en las diferentes partes de *Cyprinus carpio* en diferentes meses

DDE

Los valores detectados de DDE quedan reflejados en la tabla 9. Se observa que el nivel máximo de dicho pesticida se encuentra en la piel (2.00 ppm) en el mes de noviembre. El nivel mínimo se encuentra en el hueso en abril. También se puede observar que la piel y las vísceras son los componentes de *C. carpio* que tienen los niveles más altos de DDE.

Tabla 9. Niveles promedio de DDE (ppm) detectados en *Cyprinus carpio* de Tecocomulco, Hidalgo. (Desviación estándar).

DDE	Músculo	Visceras	Piel	Branquias	Hueso
Oct-2006	0.24(0.02)	1.26(0.02)	1.60(0.03)	0.28(0.01)	0.06(0.00)
Nov-2006	0.46(0.00)	1.29(0.01)	2.00(0.02)	0.51(0.03)	0.30(0.00)
Mar-2007	0.16(0.02)	0.96(0.11)	1.40(0.03)	0.22(0.03)	0.10(0.01)
Abr-2007	0.13(0.03)	0.73(0.15)	1.26(0.03)	0.15(0.01)	0.05(0.03)

A continuación se muestra en la figura 18, los niveles promedio de DDE en las diferentes partes de *C. carpio* en los diferentes meses de muestreo. En dicha figura, se observa que en todos los componentes biológicos existe un incremento de los niveles de DDE en los meses de octubre a noviembre. Así mismo se observa éstos niveles descenden en marzo y abril.

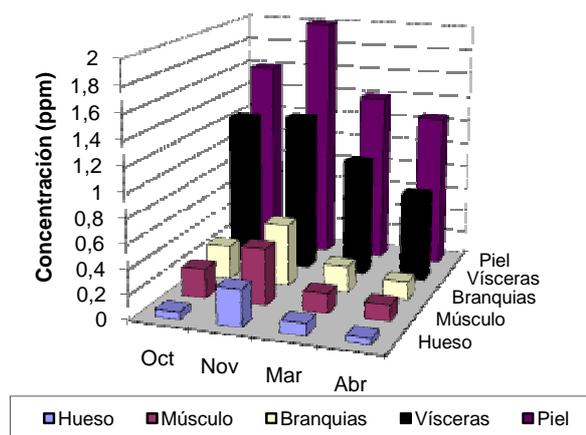


Figura 18. Niveles promedio de DDE en las diferentes partes de *Cyprinus carpio* en diferentes meses

Aldrín

Los niveles detectados de Aldrín encontrados en *C. carpio* del lago de Tecocomulco, Hidalgo se reflejan en la tabla 10. Se puede observar que el nivel más alto de dicho pesticida se encuentra en la piel en noviembre. El nivel más bajo se encuentra en el hueso en abril. También se observa que los niveles de Aldrín más altos se registraron en el mes de noviembre.

Tabla 10. Niveles promedio de Aldrín (ppm) detectados en *Cyprinus carpio* del lago de Tecocomulco, Hidalgo. (Desviación estándar).

Aldrín	Músculo	Visceras	Piel	Branquias	Hueso
Oct-2006	0.53(0.04)	1.11(0.01)	1.40(0.03)	0.77(0.03)	0.48(0.00)
Nov-2006	0.64(0.01)	1.66(0.00)	1.86(0.03)	1.56(0.04)	1.00(0.03)
Mar-2007	0.60(0.02)	1.00(0.01)	1.60(0.03)	0.56(0.02)	0.53(0.03)
Abr-2007	0.52(0.02)	0.98(0.03)	1.35(0.03)	0.50(0.01)	0.47(0.00)

A continuación se presentan en la figura 19, los niveles promedio de Aldrín en las diferentes partes de *C. carpio* en los diferentes meses de muestreo. En dicha figura, se observa que en todos los componentes de *C. carpio* existe un incremento de los niveles de Aldrín en los meses de octubre a noviembre. Así mismo se observa éstos niveles descienden en marzo y abril. También se observa que los niveles más altos de Aldrín se registraron en la piel y vísceras.

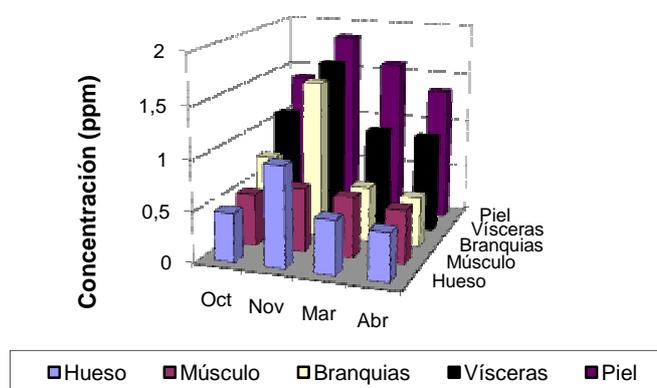


Figura 19. Niveles promedio de Aldrín en las diferentes partes de *Cyprinus carpio* en diferentes meses

Dieldrín

Los valores detectados de Dieldrín quedan reflejados en la tabla 11. En ésta se observa que dicho pesticida no se encontró en niveles detectables en el hueso en ninguno de los 4 meses del estudio. La piel y las vísceras son los componentes de *C. carpio* que presentaron los niveles más altos de Dieldrín.

Tabla 11. Niveles promedio de Dieldrín (ppm) detectados en *Cyprinus carpio* del lago de Tecocomulco, Hidalgo. (Desviación estándar).

Dieldrín	Músculo	Vísceras	Piel	Branquias	Hueso
Oct-2006	0.62(0.00)	1.30(0.01)	1.40(0.01)	0.70(0.03)	ND
Nov-2006	0.70(0.02)	1.40(0.03)	1.60(0.00)	0.88(0.03)	ND
Mar-2007	0.60(0.02)	1.06(0.03)	1.20(0.01)	0.69(0.03)	ND
Abr-2007	0.00(0.00)	0.80(0.02)	0.91(0.03)	ND	ND

ND: No detectado

En la figura 20 se presentan los niveles promedio de Dieldrín en las diferentes partes de *C. carpio* en los diferentes meses de muestreo. En dicha figura, se observa que los niveles de Dieldrín más bajos se obtuvieron en el músculo y las branquias. Los niveles más altos se presentaron en la piel y vísceras. En todos los componentes excepto en el hueso se observa un incremento de los niveles de DDE en los meses de octubre a noviembre. Así mismo se observa que estos niveles descienden en marzo y abril.

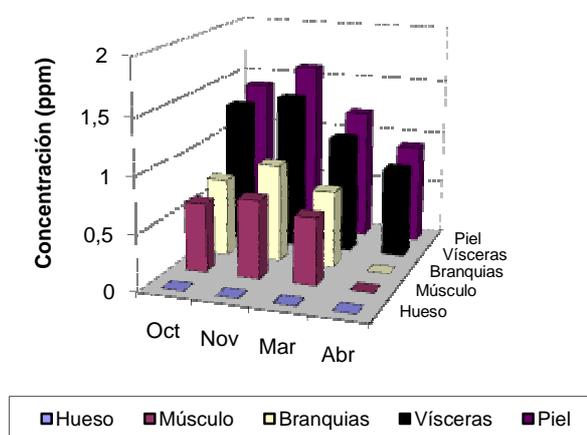


Figura 20. Niveles promedio de Dieldrín en las diferentes partes de *Cyprinus carpio* en diferentes meses

Endrín

Los niveles encontrados de Endrín en *C. carpio* se presentan en la tabla 12, en la cual se observa que el nivel más alto de dicho pesticida se encontró en la piel (0.30 ppm) en noviembre. El nivel más bajo detectable se encontró en el músculo (0.08 ppm) en abril. También se observa que de los 4 meses de estudio, en noviembre se registraron los niveles más altos de Endrín. En el hueso no fue detectado en ninguno de los 4 meses.

Tabla 12. Niveles promedio de Endrín (ppm) detectados en *Cyprinus carpio* del lago de Tecocomulco, Hidalgo. (Desviación estándar).

Endrín	Músculo	Vísceras	Piel	Branquias	Hueso
Oct-2006	0.15(0.02)	0.24(0.00)	0.25(0.03)	0.16(0.00)	ND
Nov-2006	0.19(0.01)	0.26(0.02)	0.30(0.01)	0.21(0.04)	ND
Mar-2007	0.16(0.02)	0.18(0.01)	0.19(0.01)	0.17(0.00)	ND
Abr-2007	0.08(0.02)	0.15(0.03)	0.17(0.00)	0.13(0.03)	ND

ND: No Detectable

A continuación en la figura 21, se presentan los niveles de Endrín detectados en todas las partes de *C. carpio*, en los diferentes meses en que se realizaron los muestreos. En dicha figura, se observa que en todos los componentes de *C. carpio* existió un incremento de los niveles de Endrín de octubre a noviembre. Así mismo se observa que estos niveles descendieron en marzo y abril. También se observa que los niveles más altos de Endrín se registraron en la piel y vísceras. El Endrín no fue detectado en el hueso en ninguno de los 4 meses del estudio.

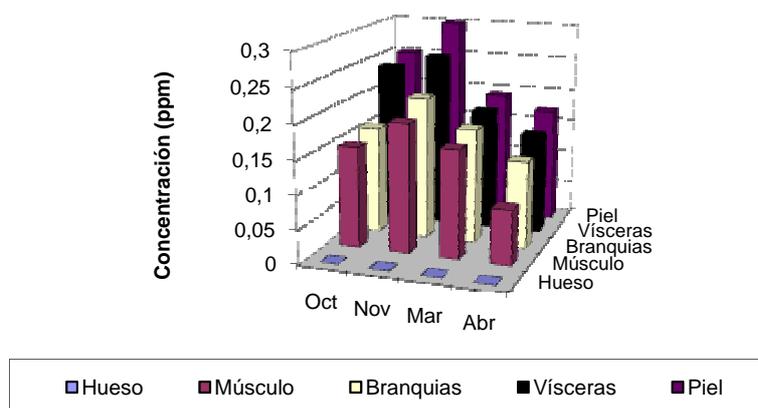


Figura 21. Niveles promedio de Endrín en las diferentes partes de *Cyprinus carpio* en diferentes meses

Endrín aldehído

Los niveles detectados de Endrín aldehído en *C. carpio* se reflejan en la tabla 13. En dicha tabla se muestra que en músculo y en branquias el Endrín aldehído solo fue

detectado en el mes de noviembre. En las vísceras fue detectado en los 4 meses de estudio. En la piel solo fue detectado en octubre y noviembre. En el hueso no fue detectado en ninguno de los 4 meses. Así mismo se observa que el nivel más alto se encontró en la piel (0.80 ppm) y el más bajo en el músculo (0.11 ppm).

Tabla 13. Niveles promedio de Endrín aldehído (ppm) detectados en *Cyprinus carpio* del lago de Tecocomulco, Hidalgo. (Desviación estándar).

Endrín aldehído	Músculo	Vísceras	Piel	Branquias	Hueso
Oct-2006	ND	0.40(0.01)	0.60(0.01)	ND	ND
Nov-2006	0.11(0.00)	0.70(0.03)	0.80(0.01)	0.30(0.02)	ND
Mar-2007	ND	0.60(0.02)	ND	ND	ND
Abr-2007	ND	0.20(0.01)	ND	ND	ND

ND: No Detectable

A continuación en la figura 22, se presentan los niveles de Endrín aldehído detectados en todas las partes de *C. carpio*, en los diferentes meses en que se realizaron los muestreos. En dicha figura se observa que en octubre el Endrín aldehído solo fue detectado en la piel y vísceras. En noviembre se detectó el mismo en la piel, vísceras, branquias y músculo. En marzo y abril solo fue detectado en las vísceras. Así mismo se observa un incremento en los niveles de dicho pesticida de octubre a noviembre y un descenso en marzo y abril.

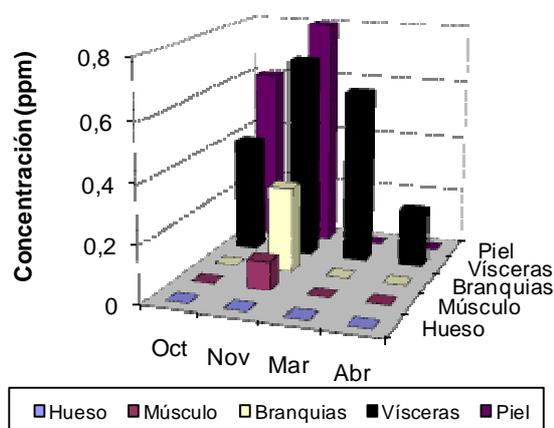


Figura 22. Niveles promedio de Endrín aldehído en las diferentes partes de *Cyprinus carpio* en diferentes meses

Endosulfán 2

A continuación en la tabla 14, se presentan los niveles de Endosulfán 2 detectados en *Cyprinus carpio* del lago de Tecocomulco, Hidalgo. En la cual, se observa que en el músculo y piel solo fue detectado en octubre y noviembre. En las vísceras fue detectado en los 4 meses de estudio. En las branquias fue detectado solo en noviembre y en el hueso los niveles de Endosulfán 2 fueron no detectables. Se observa que los niveles más altos se encontraron en la piel y vísceras.

Tabla 14. Niveles promedio de Endosulfán 2(ppm) detectados en *Cyprinus carpio* del lago de Tecocomulco, Hidalgo. (Desviación estándar).

Endosulfán 2	Músculo	Vísceras	Piel	Branquias	Hueso
Oct-2006	0.08(0.01)	0.50(0.02)	0.62(0.03)	ND	ND
Nov-2006	0.13(0.02)	0.60(0.01)	0.80(0.01)	0.40(0.03)	ND
Mar-2007	ND	0.30(0.01)	ND	ND	ND
Abr-2007	ND	0.20(0.02)	ND	ND	ND

ND: No Detectado

En la figura 23, se presentan los niveles promedio de Endosulfán 2 en todas las partes de *C. carpio* en los diferentes meses de muestreo. En dicha figura se observa que en octubre el Endosulfán 2 solo fue detectado en la piel, músculo y vísceras. En noviembre se detectó el mismo en la piel, vísceras, branquias y músculo. En marzo y abril solo fue detectado en las vísceras. Así mismo se observa un incremento en los niveles de dicho pesticida de octubre a noviembre y un descenso en marzo y abril.

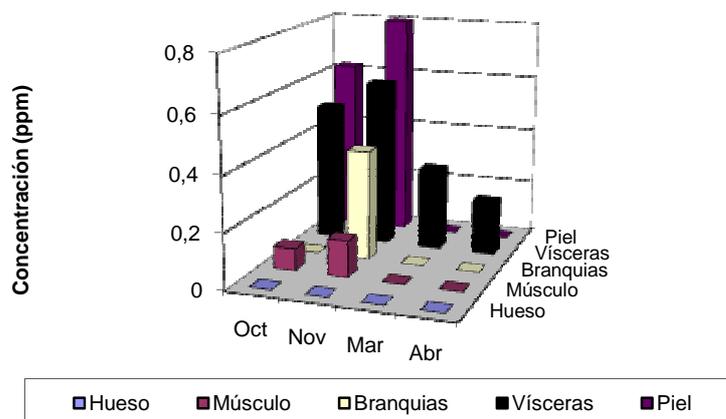


Figura 23. Niveles promedio de Endosulfán 2 en las diferentes partes de *Cyprinus carpio* en diferentes meses

Endosulfán sulfato

El Endosulfán sulfato solo se apareció en el presente trabajo, en la piel y durante el muestreo realizado en noviembre 2006. La concentración de este plaguicida fue de 0.1ppm.

5.3.3.2 Pesticidas no detectados

A continuación en la tabla 15 se muestran los pesticidas organoclorados que no fueron detectados en *Cyprinus carpio* de la Laguna de Tecocomulco, Hidalgo.

Tabla 15. Pesticidas organoclorados no detectados en *Cyprinus carpio* del lago de Tecocomulco, Hidalgo.

Pesticidas no detectados
DDD
BHC (α , β , γ y δ)
Heptacloro
Heptacloro epóxido
Endosulfán 1

VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1 Cinética de secado

En la tabla 4 se presenta que *C. carpio* principalmente está formada por músculo, ya que éste constituye casi el 50% del total del pescado. Las vísceras conforman el 33.24%, seguida de la piel que constituye un 8.58%, el hueso y las branquias constituyen una cantidad minoritaria pero no menos importante para funcionamiento biológico.

Como podemos observar en la figura 6, todos los constituyentes de *C. carpio* presentaron una pérdida gradual de agua conforme pasaron los días. En el primer día el músculo y la piel fueron los que perdieron una gran cantidad de agua, ambas perdieron alrededor de 32-34%. Las vísceras perdieron el 27.1%, las branquias el 20.2% y el hueso 6.1%.

Al 2° día se puede observar que todos los componentes (excepto las branquias), tuvieron poco más del 50% de pérdida de su humedad total.

Al 3° día, el músculo, piel, vísceras y hueso perdieron la mayor cantidad de su humedad total (cerca del 93%), mientras que para las branquias fue necesario un día más.

En el 4° y 5° día *C. carpio* no tuvo una variación en el porcentaje de humedad en ninguno de los componentes, es decir conservó una masa constante, esto debido a que las muestras estaban del 90-95% libres de humedad. Por lo tanto se estimo que las muestras habían alcanzado un equilibrio constante y por consecuencia habían eliminado el agua existente en exceso, quedando en la muestra un porcentaje de humedad menor al 5%.

La pérdida gradual de agua conforme pasaron los días, se debe a que los constituyentes liberan paulatinamente agua. Primeramente liberan el agua libre y posteriormente la ligada. Por lo tanto la cantidad de agua que quedo en la muestra es el agua de composición, la cual es difícil de eliminar por medios convencionales.

La temperatura a la que fueron sometidas las muestras (45°C) permite el secado gradual de éstas sin afectar sus componentes nutricionales, como son las grasas o las proteínas.

El componente que contiene en su mayoría agua es el músculo, ya que el agua conforma el 75.42% de éste. Las branquias tienen una humedad de aproximadamente 70%, las vísceras y piel tienen el 55.89 y 54.46% y el hueso presentó aproximadamente el 21.34%. El hueso tiene un menor porcentaje de humedad porque principalmente está constituido de minerales como el calcio.

La cantidad promedio de humedad total que presentó *C. carpio* fue aproximadamente del 80%, la cual está dentro de los rangos normales según Stansby, 1962; Love, 1970. Por ello se puede afirmar que *C. carpio* mayoritariamente está constituida por agua. Fennema en el 2000 reportó que el pescado presenta de un 65-81% de agua.

6.2 Análisis proximal

La composición obtenida de *C. carpio* indicada en la tabla 5, esta dentro de los rangos normales reportados por Stansby, 1962 y Love, 1970 en Soler 2002. Esto se puede observar en la tabla 16. En dicha tabla se hace la comparación entre los valores establecidos por los autores ya antes mencionados y los resultados obtenidos del análisis proximal de *C. carpio*.

Tabla 16. Comparación de componentes nutricionales en *Cyprinus carpio*

	Pescado	
	Variación normal (%) (Stansby, 1962; Love, 1970 en Soler 2002)	Resultados obtenidos (%)
Proteínas	16-21	5
Lípidos	0.2 – 25	19
Carbohidratos	< 0.5	75
Cenizas	1.2-1.5	1
Agua	66-81	80

Con el resultado de humedad obtenido anteriormente, y con lo que se evidencia en la tabla 5, podemos observar que *C. carpio* principalmente esta formada por agua, una vez eliminada ésta, las proteínas y grasas son los macroconstituyentes mayoritarios.

6.2.1 Análisis proximal de octubre-noviembre 2006 y marzo-abril 2007

Después de haber realizado los análisis proximales correspondientes al mes de octubre y noviembre 2006, se puede observar en las figuras 7 y 8 que el contenido de grasas presentó un incremento en todos los tejidos (excepto en el hueso) en el mes de noviembre. Así mismo existió un ligero aumento del contenido de cenizas principalmente en el hueso. Se observa una disminución en el contenido de proteínas y carbohidratos en todos los tejidos en el mes de noviembre comparado con octubre. Esto sugiere que dichos resultados pueden estar relacionados al fenómeno de desove.

En los meses de marzo y abril 2007 (figuras 9 y 10), podemos observar que el contenido de grasa disminuye igualmente que el de las proteínas. El contenido de cenizas y carbohidratos solo tienen una pequeña variación, casi permanece constante en los dos meses.

La composición química de los peces varía entre individuos de una misma especie, debido a la alimentación, época del año y estado de reproducción (<http://www.fao.org/DOCREP/V7180S/v7180s05.htm>, septiembre, 2006). Dicha variación se constató al realizarse el análisis proximal en distintos meses.

Como se puede apreciar en las figuras 9 y 10, el contenido de grasa y proteínas disminuye en los meses de marzo y abril, lo que sugiere que *C. carpio* utiliza mayor nivel de energía en estos meses por encontrarse en la etapa de desove. Así es que recurre a consumir las reservas energéticas de las grasas y parte de las proteínas que ha almacenado anteriormente. Se presenta exactamente lo contrario en los meses de octubre y noviembre (figuras 7 y 8), lo que sugiere que éstos son meses

de intensa alimentación y consecuentemente se observa que se lleva a cabo en este periodo un incremento del contenido de grasa.

En los meses de octubre y noviembre 2006 *C. carpio* tiene un alto nivel de grasa. Esto sugiere que *C. carpio*, necesite de mayores niveles de energía para mantener su temperatura corporal y en buen estado sus funciones biológicas, ya que en dichos meses puede descender significativamente la temperatura en el lago de Tecocomulco por la llegada del invierno.

Usualmente el desove (de enero a junio/julio), independientemente de que ocurra luego de largas migraciones o no, requiere mayores niveles de energía (<http://www.fao.org/DOCREP/V7180S/v7180s05.htm>, septiembre, 2006).

C. carpio en los meses de marzo y abril 2006 presento menos cantidad de grasa que en octubre y noviembre 2007, lo cual sugiere que esto es debido al fenómeno de desove. En el periodo de desove degradan además de los lípidos las proteínas almacenadas para obtener energía. Agotando así las reservas tanto de lípidos como de proteínas originando en consecuencia, una reducción de la condición biológica del pez. En el periodo posterior a éste no necesita energía para éste fin. (<http://www.fao.org/DOCREP/V7180S/v7180s05.htm>, septiembre, 2006), lo cual se puede observar en las figuras 9 y 10.

Después del desove el pez lleva a cabo una intensa alimentación (de agosto a diciembre), el contenido de proteínas del músculo generalmente aumenta hasta una extensión que depende de la cantidad de proteína agotada durante el desove. El contenido de lípidos muestra un marcado y rápido aumento. (<http://www.fao.org/DOCREP/V7180S/v7180s05.htm>, septiembre, 2006).

De los valores presentados anteriormente se podría afirmar que está especie es un pescado de alto contenido proteico y bajo contenido graso, lo cual lo convierte en un alimento saludable de bajas calorías.

La grasa que contiene *C. carpio* son ácidos grasos poliinsaturados como el $\omega 3$ (Omega 3) y $\omega 6$ (Omega 6) que pueden curar las enfermedades de la piel del mismo modo que el ácido linoleico y el ácido araquidónico (Simopoulos *et al.*, 1991). Los aceites de pescado bajan los niveles de colesterol VLDL (lipoproteína de muy baja densidad) y triglicéridos, inhiben la agregación plaquetaria y pueden reducir la presión arterial (Aveldaño, 1987).

6.2.1.1 Lípidos

En la figura 11 se presenta la variación estacional del porcentaje de grasa de *Cyprinus carpio*. Comparando el % de grasas de los 4 muestreos se observa que en el mes de noviembre todas las partes de *C. carpio* (músculo, piel, vísceras y branquias) excepto el hueso, tuvieron un mayor porcentaje de grasa.

Según la literatura, octubre y noviembre son meses de intensa alimentación por lo cual se sugiere que el contenido de lípidos en *C. carpio* haya mostrado un marcado y rápido aumento.

Después del desove que como ya se mencionó es de enero a junio/julio el pez recobra su comportamiento de alimentación. Por lo contrario cuando se acerca la época de desove los peces se encuentran con un contenido mínimo de lípidos, que es lo que sucede con el mes de marzo y abril. Los resultados obtenidos concuerdan con lo dicho por Borrasen en 1992.

También se muestra en la figura 11, que las partes con una mayor fracción lipídica son la piel con aproximadamente el 78.4%, vísceras con 60.7% y branquias con 51.7%.

La fracción lipídica es el componente que muestra la mayor variación. A menudo, dentro de ciertas especies la variación presenta una curva estacional característica con un mínimo cuando se acerca la época de desove (Borresen, 1992).

Cyprinus carpio se considera un pez magro. Los aceites de pescado contienen ácidos grasos poliinsaturados que benefician al organismo, ya que ayudan a disminuir el contenido de triglicéridos en la sangre, son importantes para un óptimo desarrollo del cerebro y la retina, curan algunas enfermedades de la piel, favorecen el crecimiento de los niños, así mismo cubren las demandas del crecimiento neural y vascular durante el embarazo (Aveldaño, 1987).

El pescado resulta una fuente dietaria directa de los beneficiosos ácidos grasos poliinsaturados ω -3 (ácido eicosapentaenoico 20:5 y ácido docosahexaenoico 22:6), que contienen además antioxidantes tales como selenio y vitamina E (Risso *et al.*, 2000).

6.2.1.2 Proteínas

En la figura 12 se presenta la variación estacional del porcentaje de proteína de *Cyprinus carpio*. Comparando el % de proteínas de los 4 muestreos, se observa que en el mes de octubre todas las partes de *C. carpio* (músculo, piel, vísceras, branquias y hueso) presentaron el punto máximo en el contenido de proteína. Esto puede deberse a que octubre es un mes en el que *C. carpio* recupera su hábito de alimentación por lo cual el contenido de proteínas aumenta.

Se puede observar que en noviembre tuvo ligeramente una disminución el % de proteína. Esto mismo fue reportado por Ando *et al.*, 1985. Estos autores señalan que algunas especies de peces incluyendo *C. carpio* utilizan una porción de proteínas para propósitos energéticos independientemente del contenido de lípidos. Cuando el contenido de lípidos excede el nivel máximo que puede ser metabolizado para propósitos energéticos, el remanente es depositado en los tejidos. Posteriormente los lípidos almacenados son usados durante el desarrollo de las gónadas (Ando *et al.*, 1985).

En la figura 12, se observa además que la mayor cantidad de proteínas se encuentra en el músculo, aproximadamente con un 75.1%. Esto se debe a que el músculo está formado principalmente por proteínas (Risso *et al.*, 2000).

En la figura 12, se aprecia que en marzo y abril se encuentran los niveles más bajos de contenido de proteína, lo cual sugiere que es debido al periodo de desove.

Las proteínas del pescado contienen todos los aminoácidos esenciales y al igual que las proteínas de la leche, los huevos y la carne de mamíferos, tienen un valor biológico muy alto (Braekkan, 1976).

6.2.1.3 Cenizas

Comparando el porcentaje de cenizas que se presenta en la figura 13, se observa que existe un aumento en el mes de noviembre, marzo y abril en el hueso; aumentando de un 28.44% en octubre hasta el 50.88% en abril, esto se debe a que posiblemente este contenido puede variar con la estación del año debido a la diversificación de la alimentación.

En la figura 13, se observa además que el mayor contenido de cenizas se encuentra en el hueso, teniendo en cuenta que es el órgano del pez que tiene una alta concentración de calcio y fósforo.

Los contenidos de cenizas en el músculo, piel y vísceras no varían significativamente entre los 4 meses en que se realizó este estudio, como se puede confirmar en la figura 13, las branquias tienen un ligero incremento en abril.

Aunque no puede darse una explicación absoluta sobre este aspecto, se puede inferir que está relacionado con los incrementos de especies metálicas en las aguas por concentración de sales, debido a pocas lluvias (bajos efectos de diluciones).

La carne de pescado se considera una fuente particularmente valiosa de calcio y fósforo, así como también de hierro y cobre. Debido a las variaciones naturales de

estos componentes en el medio acuoso o hábitat del pez, no es posible dar cifras exactas que se correspondan o correlacionen con los contenidos o variaciones de los porcentajes de cenizas. Independientemente de esto, es conocido que la mayor parte de cenizas la componen el potasio, fósforo, calcio, sodio y magnesio (Sato *et al.*, 1991), que se reportan como óxidos.

6.2.1.4 Hidratos de carbono

Comparando el porcentaje de carbohidratos de los 4 muestreos que se llevaron a cabo en octubre, noviembre, marzo y abril, el cual se muestra en la figura 14, se observa que hay una variación significativamente importante en el contenido de carbohidratos en todas las partes de *C. carpio*. En la mayoría de los órganos de *C. carpio* (músculo, piel, branquias y hueso) se tiene un porcentaje de carbohidratos menor al 10%, excepto en las vísceras. Las vísceras es la parte de *C. carpio* en la que se encuentra la mayor cantidad de carbohidratos. Esto se debe a que ésta almacena los carbohidratos principalmente en el hígado, el cual para su estudio en este proyecto fue considerado como parte de las vísceras. En abril, las vísceras tuvieron su punto máximo de carbohidratos (15.1%). Se presentó un aumento del 5.94% de noviembre a abril.

Por otro lado, en el mes de noviembre *C. carpio* disminuye su contenido de carbohidratos. En este mes empieza a cambiar el clima y a descender la temperatura para la entrada del invierno por lo cual se sugiere que *C. carpio* utilice los carbohidratos como fuente principal de energía para mantener la temperatura y funciones de su organismo en buen estado.

6.3 Determinación de pesticidas organoclorados

6.3.1 Pesticidas detectados

En la tabla 7, podemos observar que de acuerdo a los tiempos y orden de aparición en los cromatogramas indicados en la tabla 6, fueron encontrados los pesticidas 9-12, seguidos de los pesticidas 14-16 y en su caso el de posición 6.

El DDT y el Aldrín son insecticidas residuales que han sido prohibidos por la Administración Federal de Drogas y Alimentos (FDA) de los Estados Unidos de Norteamérica, ya que son altamente tóxicos para los organismos acuáticos en cultivo y peligrosos para la salud humana (Soler, 2002).

Es importante destacar que la presencia o detección de ciertos niveles de concentración en pescados de pesticidas, así como sus metabolitos es consecuencia, en primera instancia, de sus aplicaciones en zonas cercanas al acuífero que hospeda a estos peces y en segunda instancia a que estos productos, son capaces de persistir durante años en los sistemas acuáticos, en particular, como metabolito principal en peces (Dimond *et al.*, 1971).

DDT

En la tabla 8, destaca que en el mes de octubre del 2006, los niveles de DDT aparecieron en concentraciones detectables en todas las partes de *C. carpio*; en el mes de noviembre. La concentración de DDT fue mayor que en octubre, igualmente en todas las partes del pescado. De marzo a abril hubo una disminución progresiva en la concentración de DDT, tanto en el músculo y vísceras como en la piel. En las branquias y hueso el DDT aparece en cantidades por debajo del límite de detección, como puede observarse en la figura 17.

En los meses de octubre y noviembre se detectaron los más altos niveles de DDT. En la piel se detectó la concentración máxima de DDT (2.33 ppm) en el mes de noviembre, y la concentración mínima (1.75 ppm) se detectó en el músculo en el mes de abril. En sentido general, en la piel se detectaron los más altos niveles de concentración, lo que está en correspondencia de que ésta es la parte del pez que está en contacto directo con el agua y siendo el DDT un pesticida que ha mostrado la característica de persistir durante años en los sistemas acuáticos (Dimond *et al.*, 1971), justifica que sea detectado en *C. carpio*.

Por otra parte, estos resultados confirman la relación que existe entre la concentración de pesticidas organoclorados y la cantidad de grasa. Como se puede

observar en la tabla 8, de octubre a noviembre hay un incremento en la bioacumulación de DDT en todos los órganos o tejidos del pescado. Esto puede estar asociado al fenómeno que ocurre posterior al desove, en que *C. carpio* tiene un incremento en la cantidad de grasa, alcanzando su nivel máximo en noviembre.

Aunque también es posible que este asociado con la entrada del invierno, en el cual en esta época disminuye la temperatura del lago y *C. carpio* necesita de mayores niveles de energía para mantener su temperatura corporal, acumulando en estos meses por esta razón mayores cantidades de grasa. En consecuencia, la acumulación de pesticida es mayor.

Borrasen en 1992 afirmó que los organoclorados son afines a las sustancias de carácter lipofílico. Esto explica que de marzo a abril existiera una disminución progresiva en la concentración de DDT. Estos meses coinciden con el periodo en el que *C. carpio* tiene una disminución del contenido de lípidos de acuerdo con Borresen (1992), alcanzando su nivel más bajo en el mes de abril.

Es significativo resaltar que precisamente, el nivel más alto de DDT se detectó en la piel, la que presenta un alto contenido de grasa en el mes de noviembre. Así mismo, el nivel mínimo de DDT fue detectado en el músculo en el mes de abril, coincidiendo con que el músculo presenta su mínima cantidad de grasa en dicho mes.

Todas las concentraciones de DDT encontradas en *C. carpio* están dentro del límite permisible indicado en la Norma Oficial Mexicana NOM-004-ZOO-2001, Control de residuos tóxicos en grasa, hígado, músculo y riñón en aves, bovino, caprino, cérvido, equino, ovino y porcino. Residuos tóxicos. Límites máximos permisibles y procedimientos de muestreo. Dicha norma indica que el límite máximo permisible de DDT es de hasta 5 ppm. Sin embargo esto es significativo por cuanto este compuesto es bioacumulable y debe ser monitoreado de manera permanente antes de que se comercialicen los pescados y lleguen a la cadena alimentaria.

Eaton y Lydy en el 2000, detectaron entre 0.1 – 59 ng/g de DDT en músculo de la *Cyprinus carpio* capturadas en el río Arkansas, en el estado de Kansas (USA), valores que están por debajo de los niveles hallados en este estudio. Sin embargo estos autores indican que aunque no son críticas estas concentraciones encontradas, debe ser controlado el proceso de comercialización del pescado.

El contenido medio de DDT en este estudio y en todas las *C. carpio* en marzo y abril fue de 1.12 ± 0.03 ppm con un coeficiente de variación (CV) de 2.88%. El contenido medio de DDT en todas las *C. carpio* muestreadas en octubre y noviembre fue de 2.00 ± 0.11 ppm con un coeficiente de variación (CV) de 5.70%.

Estos resultados demuestran que existe una bioacumulación de pesticidas mayor en octubre-noviembre que en marzo y abril.

DDE

El DDE es un metabolito derivado del DDT, que también apareció en los 4 meses del estudio, aunque en menores cantidades que el DDT.

Como podemos observar en la tabla 14, el DDE se detectó en todas las partes de *C. carpio* en los 4 meses. Las concentraciones de dicho pesticida en *C. carpio* son más bajas comparadas con las encontradas de DDT.

Como se puede observar en la figura 18, en el mes de noviembre la concentración de DDE en todas las partes de *C. carpio* fue mayor que en los otros meses. De marzo a abril hubo una disminución progresiva en la concentración del mismo, coincidiendo por tratarse de un metabolito que se deriva del DDT.

La concentración máxima de DDE (2 ppm) se detectó en la piel, la cual tiene un alto contenido de grasa y nuevamente en el mes de noviembre. La concentración mínima (0.05 ppm) se detectó en el hueso en el mes de abril. El hueso es la parte de *C.*

carpio en donde se encuentra una mínima cantidad de grasa. Esto se corresponde con lo discutido anteriormente sobre el DDT.

Esto indica y permite corroborar que en efecto, existe una relación entre la concentración de pesticidas organoclorados y la cantidad de grasa en los órganos de *C. carpio*. Como se puede observar en la tabla 9, de octubre a noviembre hay un incremento en la bioacumulación de DDE, lo cual puede estar asociado al fenómeno que ocurre posterior al desove, en el cual *C. carpio* tiene un incremento en la cantidad de grasa, alcanzando su nivel máximo en noviembre. También pudiera estar asociado a las bajas temperaturas que se presentan en estos meses debido a la cercanía del invierno y en el cual el pez necesita de mayores niveles de energía para mantener su temperatura corporal, para lo cual almacena mayores niveles de grasa acumulando a su vez mayores niveles de pesticidas organoclorados.

De marzo a abril hubo una disminución progresiva en la concentración de DDE, esto puede asociarse con el periodo de desove en el cual como ya se ha visto *C. carpio* tiene una disminución del contenido de lípidos.

También se manifiesta que todas las concentraciones de DDE encontradas en *C. carpio* están dentro del límite permisible indicado en la Norma Oficial Mexicana (NOM-004-ZOO-2001), la cual indica un límite máximo de 5 ppm. En este estudio el valor máximo fue de 2 ppm en piel. El músculo y la piel son las partes comestibles de *C. carpio*, las cuales presentan una concentración media de 0.24 y 1.56 ppm, estando éstas, igualmente, dentro del límite que indica la Norma Oficial Mexicana.

Los niveles de concentración de DDE encontrados en las partes de *C. carpio* varían de unos peces a otros y la tendencia en el tiempo (de acuerdo a diferentes muestreos). Así se encuentra que los valores no son exageradamente diferentes entre unos peces y otros. De acuerdo a los resultados alcanzados, el valor de los coeficientes de variación que se obtuvieron en este trabajo, no rebasan el 32%, lo

cual indica que si existe cierta variabilidad en estos contenidos pero que dicha variación entre diferentes peces y diferentes muestreos, no es muy grande.

Moriarty en 1972, apuntó que la distribución de los valores de contaminantes no se suele distribuir alrededor de la media, es decir, no suelen seguir una distribución normal y en caso de los organoclorados, la mayor variación entre los valores se observa entre la muestras de diferentes individuos aunque pertenezca a la misma población. Este mismo autor comenta que es muy común que estudios con individuos del mismo tamaño, peso y sexo, recogidos incluso en la misma época del año, muestren porcentajes de desviaciones estándar relativas, entre el 30 y 40% de la media; esto coincide con otros reportes de otros autores (Ketchum *et al.*, 1976 en Soler, 2002).

El contenido medio de DDE en todas las *C. carpio* muestreadas en octubre y noviembre 2006 fue de 0.8 ± 0.15 ppm con un coeficiente de variación (CV) de 19.79%. Por su lado, el contenido medio de DDE en todas las *C. carpio* muestreadas en la marzo y abril 2007 fue inferior y resultó de 0.51 ± 0.07 ppm, con un coeficiente de variación (CV) de 14.25%. Estos resultados nos demuestran que existe una bioacumulación de pesticidas mayor en octubre-noviembre que en marzo-abril y talvez se deba al fenómeno de desove, que corresponde con lo discutido para el pesticida DDT.

Como se puede observar en la figura 18, la parte más contaminada con DDE en *C. carpio* es la piel y posteriormente las vísceras. Casi todos los estudios indican que el DDT, DDE y el DDD se absorben a través del agua por ingestión y absorción dérmica en los peces. Son pobremente metabolizados y el DDT se convierte en su mayoría a DDE. La conversión de DDT a DDE también es lenta, aunque ya depende más de las especies (Murty, 2000).

En base a la literatura, generalmente en muestras medio ambientales, el DDE es el componente predominante del DDT. En un modelo de ecosistema, el DDT se degrada la mayoría a DDE y muy poco a DDD.

Eaton y Lydy (2000) detectaron entre 0-22.3 $\mu\text{g}/\text{Kg}$ tejido fresco de p,p'-DDE en músculo de *Cyprinus carpio* capturadas en el río de Arkansas, en el estado de Kansas (E.E.U.U). Es decir, menores concentraciones de DDE que de DDT, lo cual coincide con los resultados que se han obtenido en el presente estudio. Esto no corresponde exactamente a lo esperado de acuerdo con Murty (2000), donde según este autor el DDT se convierte a DDE, pero si está acorde cuando el autor indica que esta conversión puede resultar lenta, justamente dependiendo de la especie. Al parecer para *C. carpio* ocurre un proceso de metabolización y conversión del DDT a DDE de forma un tanto lenta.

Aldrín

Como se puede observar en la tabla 10, el Aldrín fue encontrado en todos los meses del estudio y en todas las partes de *C. carpio*. En el mes de noviembre, la concentración de Aldrín en todas las partes fue mayor que en octubre. De marzo a abril hubo una disminución progresiva de la concentración del Aldrín en todas las partes de *C. carpio*, es decir; en el músculo, vísceras, piel, branquias y hueso, como puede observarse en la figura 19. Esto presenta la misma tendencia discutida hasta ahora para los dos pesticidas anteriores.

Como podemos apreciar en la figura 19, la concentración máxima de Aldrín (1.86 ppm), se detectó en la piel en el mes de noviembre, y la concentración mínima (0.47 ppm) se detectó en el hueso en el mes de abril.

Estos resultados al igual que los anteriores en la identificación y cuantificación del DDT y el DDE, confirman la relación que existe entre la concentración de pesticidas organoclorados y la cantidad de grasa.

Como se observa en la tabla 10, de octubre a noviembre hay un incremento en la bioacumulación de Aldrín. Esto sugiere que esta asociado al fenómeno de desove, aunque también es posible que este relacionado a que octubre y noviembre son época de lluvia. En dichos meses es posible que la lluvia arrastre mayor cantidad de pesticida de los campos agrícolas al lago, aumentando así su concentración en ésta. Aunado al alto contenido lipídico que presenta *C. carpio* en dichos meses, es posible que presente una mayor bioacumulación de organoclorados.

De marzo a abril de nuevo se observó una disminución en la concentración de Aldrín; por lo que se sugiere que dichos meses se encuentran dentro del periodo de desove en el cual y de acuerdo con lo señalado por Borrassen en 1992, *C. carpio* tiene una disminución del contenido de grasa en los órganos de su cuerpo.

Es muy importante destacar que ninguna de las concentraciones de Aldrín que fueron encontradas en *C. carpio*, están dentro del límite permisible indicado en la Norma Oficial Mexicana NOM-004-ZOO-2001, donde se indica un límite máximo de 0.3 ppm. En este estudio los valores de Aldrín encontrados variaron desde 0.47 – 1.86 ppm.

El nivel máximo de Aldrín se detectó en piel, la cual presentó un alto contenido de grasa en el mes de noviembre. El nivel mínimo de Aldrín fue detectado en el hueso en el mes de abril, presentando el hueso su mínima cantidad de grasa en dicho mes.

El contenido medio de Aldrín en *C. carpio* muestreadas en marzo y abril 2007 fue de 0.81 ± 0.06 ppm con un coeficiente de variación (CV) de 8.19%. Este valor promedio excede al establecido por la NOM en 2.5 veces. El contenido medio de Aldrín en *C. carpio* muestreadas en octubre y noviembre 2006 fue de 1.10 ± 0.34 ppm con un coeficiente de variación (CV) de 31.21%. Para estos valores promedios, aunque con una variabilidad relativamente alta de los resultados, es indicativo de que se encuentran mucho más excedidos (cerca de 4 veces superior al límite máximo establecido en la NOM) que en marzo y abril 2007. Esto debe estar asociado a la

variabilidad en la cantidad de grasa que presenta *C. carpio* en los distintos meses, debido a diversos factores como: desove y a la presencia de lluvia en marzo y abril 2007. Estos resultados demuestran y corroboran una vez más, que existe una bioacumulación de pesticidas mayor en octubre y noviembre que en marzo y abril. Octubre y noviembre son meses en que *C. carpio* tiene un mayor nivel lipídico.

Desde 1950 hasta 1970, el Aldrín fue uno de los pesticidas más usados para el maíz y el algodón, pero como consecuencia del gran daño que causa al medio ambiente y a la salud humana, la Agencia de Protección Ambiental (EPA) prohibió el uso total en 1987.

En México, la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), el 6 de septiembre de 1968, dio a conocer la base legal de las restricciones para el uso, registro y autorización de productos fitosanitarios, donde se prohibió el uso de Aldrín en campos naturales y praderas implantadas y/o cultivadas, excepto para hormigueros localizados. Sin embargo llama la atención que aunque han transcurrido cerca de 40 años desde esta restricción, y aunque es conocido su posible persistencia en sistemas acuáticos, aún se detecten concentraciones muy apreciables de este pesticida, incluso excediendo valores de la NOM, es más, es de considerar que la NOM debería ser sometida a un proceso de revisión y actualización, y estableciendo su no presencia.

Dieldrín

El Dieldrín es el epóxido del Aldrín, el cual fue detectado también en los 4 meses del estudio en músculo, vísceras y piel. Como se puede observar en la tabla 11, en las branquias solo fue detectado en octubre, noviembre y marzo. En el hueso el Dieldrín no fue detectado en ninguno de los meses.

Las concentraciones encontradas de dicho pesticida en *C. carpio* son bajas comparadas con las encontradas de DDT y DDE, pero similares a las de Aldrín.

Como se puede observar en la figura 20, en el mes de noviembre la concentración de Dieldrín en todas las partes de *C. carpio* excepto en el hueso fue mayor que en los otros meses, así mismo de marzo a abril hubo una disminución en la concentración del mismo.

La concentración máxima de Dieldrín (1.6 ppm) se detectó en la piel, la cual tiene un alto contenido de grasa en el mes de noviembre, y la concentración mínima (0.6 ppm) se detectó en músculo en el mes de marzo. El hueso es la parte de *C. carpio* en donde se encuentra menos grasa y es probable que por esta razón no se haya detectado el Dieldrín, al menos es posible que quede en concentraciones por debajo del límite de detección del método utilizado.

Como se observa en la tabla 11, de octubre a noviembre hay un incremento en la concentración de Dieldrín. Para *C. carpio*, estos meses son en los que presenta sus más altos niveles lipídicos, los cuales pueden deberse al periodo posterior al desove o a la temporada de invierno. Pudiendo así bioacumular más cantidad de pesticida durante este tiempo. En la figura 20, se puede apreciar que de marzo a abril hubo una disminución en la concentración de Dieldrín, es posible que esto se asocie al periodo de desove en el que *C. carpio* presenta una disminución del contenido de lípidos.

De forma similar al Aldrín, ninguna de las concentraciones de Dieldrín encontradas en *C. carpio* están dentro del límite permisible indicado en la Norma Oficial Mexicana NOM-004-ZOO-2001, la que al igual que para el Aldrín, indica un límite máximo de 0.3 ppm. En este estudio los valores van de 0.6 -1.60 ppm (de 2 a 5 veces por encima del valor estipulado como máximo). El contenido medio de Dieldrín en *C. carpio* muestreadas en octubre y noviembre 2006 fue de 0.86 ± 0.07 ppm con un coeficiente de variación (CV) de 9.20%. En marzo y abril 2007 fue ligeramente menor, de 0.52 ± 0.26 ppm con un coeficiente de variación (CV) de 21.95%. Igualmente estos resultados nos demuestran la bioacumulación de Dieldrín, mayor en los meses en que *C. carpio* tiene un mayor contenido lipídico que en este caso es

octubre y noviembre. También nos demuestran que en las partes de *C. carpio* en donde se acumula más la grasa son las partes que tienden a tener una concentración mayor de pesticidas organoclorados. Como se indicó antes, desde 1950 hasta 1970, el Dieldrín al igual que el Aldrín fueron unos de los pesticidas más usados para el maíz y el algodón, pero por el daño que causan al medio ambiente y a la salud humana la EPA prohibió el uso total en 1987.

Aunque debe señalarse que se sabe que el Dieldrín es uno de los pesticidas más persistentes que se conocen y que sólo con tratamientos a base de ácidos fuertes y a largos periodos de exposiciones a luz ultravioleta, se puede descomponer (EPA, 1987). Esto no justifica del todo la presencia de este pesticida ni la del Aldrín. Esto permite pensar que este pesticida organoclorado se pudo haber utilizado hace mucho más de 10 años y sigue presente en el ambiente, contaminando así a muchos organismos biológicos, como *C. carpio*. Cuando el aldrín y dieldrín entran en el medio ambiente, la luz solar, las bacterias, las plantas y los animales transforman el aldrín a dieldrín, que se degrada muy lentamente en el medio ambiente o se almacena en las grasas de donde puede producirse su eliminación, pero de manera muy lenta eliminándose muy lentamente (<http://www.hhs.gov/>, octubre 2006).

Endrín

El Endrín fue uno de los pesticidas organoclorados encontrado en *C. carpio* del lago de Tecocomulco, Hidalgo.

En la tabla 12, se puede observar que el Endrín se detectó en todas las partes de *C. carpio* excepto en el hueso en los 4 meses (caso similar al Dieldrín). Para este pesticida, todas las concentraciones en todas las partes evaluadas de *C. carpio*, se encuentran dentro del límite permisible indicado en la Norma Oficial Mexicana NOM-004-ZOO-2001, donde se señala un límite máximo de 0.3 ppm, igual que para los anteriores discutidos. En este estudio el valor máximo fue justamente de 0.3 ppm en piel, en el mes de noviembre (valor máximo permisible).

Como se puede apreciar en la figura 21, vuelve a resultar en el mes de noviembre el mes donde la concentración de Endrín en todas las partes de *C. carpio* (excepto en el hueso) alcanzó sus niveles más altos. Coincide de nuevo con que precisamente en dicho mes, *C. carpio* alcanza su máximo contenido en lípidos. Algunos investigadores han encontrado correlación directa entre el contenido lipídico y la concentración de ciertos residuos de pesticidas u otros compuestos organoclorados (Soler, 2002).

A partir de noviembre la concentración del Endrín en *C. carpio* vuelve a disminuir. En abril se presentaron las mínimas concentraciones de dicho contaminante. De todas las partes de *C. carpio* los niveles más bajos de Endrín se presentaron en el músculo, disminuyendo éste su concentración en marzo, llegando a los niveles más bajos en el mes de abril.

La concentración máxima de Endrín (0.3 ppm) se detectó en la piel, misma que presenta el más alto contenido de grasa en el mes de noviembre. La concentración mínima detectable (0.08 ppm) se encontró en el músculo en el mes de abril. Esto ratifica de nuevo que existe una relación directa entre la concentración de pesticidas organoclorados y el contenido lipídico al menos en *C. carpio*. En la tabla 12, de octubre a noviembre, hay un incremento en la bioacumulación de Endrín, así como también ocurrió con los otros pesticidas evaluados en este estudio, como el DDT, DDE y Aldrín. Los niveles máximos de bioacumulación de dichos organoclorados pueden estar asociados con el periodo posterior al desove. Corresponden con el incremento en la cantidad de grasa en *C. carpio*, alcanzando su nivel máximo en noviembre. De nuevo y por lo contrario, de marzo a abril, hubo una disminución progresiva en la concentración de Endrín, seguramente debido al periodo de desove.

Es importante tomar en cuenta, que las partes en las que se encontraron los niveles más altos de Endrín fueron en la piel y vísceras. Aunque las vísceras es parte no comestible de *C. carpio*, la piel si lo es. El músculo y la piel (parte comestible de *C. carpio*), presentaron una concentración media que varió de 0.14 y 0.22 ppm de este

pesticida. Estos valores se encuentran dentro del límite permisible indicado en la Norma Oficial Mexicana NOM-004-ZOO-2001, que como límite máximo fija un valor de 0.3ppm. El contenido medio de Endrín en *C. carpio* muestreadas en octubre y noviembre 2006 fue de 0.17 ± 0.02 ppm con un coeficiente de variación (CV) de 12.85%. En marzo y abril 2007 fue de 0.12 ± 0.02 ppm con un coeficiente de variación (CV) de 19.54%. Esto coincide con lo reportado por Weatherly et Gill en 1987; dichos autores indican que *C. carpio*, debido al aumento del tamaño de las gónadas, al que se añade su carácter lipofílico, los compuestos organoclorados que en este estado fisiológico se introducen en el organismo, suelen acumularse en una mayor proporción. Sin embargo, el desove, como procedimiento natural ayuda a la eliminación de estos residuos.

Algunos estudios estiman que el Endrín perdura en suelo hasta 10 años. El Endrín puede transformarse en aldehído y cetoaldrín como resultado de la exposición a altas temperaturas y a la luz (<http://www.hhs.gov/>, octubre 2006).

Endrín aldehído

Como se puede observar en la tabla 13, los niveles de Endrín aldehído aparecieron en concentraciones detectables en el mes de octubre solo en las vísceras y piel. En el mes de noviembre, fue detectado en el músculo, vísceras, branquias y piel. En marzo solo fue detectado en las vísceras, al igual que en el mes de abril.

Esto indica que la presencia de este pesticida organoclorado se encuentra en muy bajas concentraciones en las aguas, quizás no detectable (ND), pero sin embargo sí bioacumulables por *C. carpio*.

Una vez más en la figura 22, queda demostrado que en los meses de octubre a noviembre las vísceras, piel y branquias presentaron un incremento en la concentración de Endrín aldehído. En las vísceras, de marzo a abril hubo una disminución progresiva en la concentración de dicho organoclorado, mientras que en la piel en los mismos meses está por debajo del límite de detección. La

bioacumulación de Endrín aldehído tiene una correlación directa con el contenido lipídico, al igual que el DDT, DDE, Aldrín y Endrín. La mayor concentración de este pesticida (0.8 ppm) se encontró en la piel, esta concentración puede deberse a que la piel está en contacto directo con el agua contaminada, además que la piel tiene aproximadamente el 78.4% de contenido lipídico. La menor concentración de Endrín aldehído (0.1 ppm) se detectó en el músculo. También se observa en la tabla 13, que de octubre a noviembre hay un incremento en la bioacumulación de Endrín aldehído, coincidiendo así con el aumento del contenido de grasa en *C. carpio* en dichos meses.

De manera general se ha corroborado que los compuestos organoclorados, en este caso los de tipo pesticidas, son afines a las sustancias de carácter lipofílico, lo cual explica que de marzo a abril hubiera una disminución en la concentración de Endrín aldehído. Dichos meses coinciden con el periodo en que *C. carpio* tiene una disminución del contenido de lípidos. El contenido medio de Endrín aldehído en *C. carpio* muestreadas en marzo y abril 2007 fue de 0.08 ± 0.05 ppm con un coeficiente de variación (CV) de 5.18%. El contenido medio en octubre y noviembre 2006 fue de 0.29 ± 0.12 ppm con un coeficiente de variación (CV) de 13.46%.

Resultados similares fueron reportados por Weatherly y Gill en 1987. Como se puede observar en la figura 22, el Endrín aldehído se detectó en vísceras todos los meses. Esto puede deberse a que *C. carpio* lleva una vida libre, ésta se alimenta del sedimento, plantas y restos de animales los cuales pudieron estar contaminados de pesticidas. Al ser consumidos por *C. carpio* primeramente tienen un contacto directo con las vísceras. La migración de dichos compuestos a otras partes de *C. carpio* toma tiempo y mientras tanto éstos permanecen en las vísceras. La presencia de Endrín aldehído en las vísceras durante los 4 meses de muestreo puede deberse a una contaminación de *C. carpio* reciente por dicho compuesto.

No existe en la NOM parámetro alguno que indique los límites máximos permisibles para el Endrín aldehído, por lo cual no es posible catalogarlo en este sentido.

Endosulfán 2

Normalmente el endosulfán es un pesticida que se elimina con relativa facilidad en unas pocas semanas, pero también puede ser que se una fuertemente a las partículas sólidas que pueden conformar ciertos sedimentos en lagos depositados en los fondos o en estados suspendidos. En estas condiciones es posible predecir que tarde años en destruirse y/o biodegradarse del todo, razón por la cual puede persistir en el medio acuoso (<http://www.hhs.gov/>, octubre 2006).

También es conocido que el Endosulfán no se disuelve bien en agua, por lo que en un medio acuático se une a las partículas de sólidos disueltas o en los sedimentos. En mamíferos que pueden ingerir aguas contaminadas con este pesticida o en las partículas suspendidas en las aguas, se transforma en endosulfán-diol (endosulfán 2), de baja toxicidad y en parte, también se forma a modo de sulfato de toxicidad similar a la del endosulfán (Barberá, 1989). Así mismo se ha demostrado un cierto poder de biomagnificación de este pesticida, en algunos animales.

La concentración media de Endosulfán 2 en *C. carpio* muestreadas en marzo y abril 2007 fue de 0.18 ± 0.01 ppm con un coeficiente de variación (CV) de 10.64%. El contenido medio de Endosulfán 2 en octubre y noviembre 2006 fue de 0.53 ± 0.09 ppm con un coeficiente de variación (CV) de 17.77%. Como se puede observar en la tabla 14, en octubre se detectó Endosulfán 2 en todas las partes de *C. carpio*, excepto en el hueso. En el mes de noviembre se detectó en músculo, vísceras y piel. En marzo y abril solo fue detectado en las vísceras.

Como fue corroborado en la primera parte de esta investigación, la parte de *C. carpio* que contiene el más alto contenido lipídico es la piel, posteriormente las vísceras con una menor proporción, seguida de las branquias, músculo y por último el hueso. Los pesticidas organoclorados son lipofílicos (Alvarez et Cruz, 1989). El endosulfán no es la excepción, por ello en la figura 23 se puede observar que los niveles de Endosulfán 2 son mayores en las partes u órganos de *C. carpio* que tienen un mayor contenido lipídico.

También se observa que el Endosulfán 2 está presente en los cuatro meses de estudio en las vísceras. Esto puede deberse a que cuando *C. carpio* se alimenta de comida contaminada con organoclorados, primeramente dichos compuestos tienen un contacto directo con las vísceras. La presencia de Endosulfán 2 en las vísceras durante los 4 meses de muestreo puede indicar una contaminación de *C. carpio* reciente por dicho compuesto. La migración de dichos compuestos de las vísceras a otras partes de *C. carpio* toma tiempo y mientras tanto éstos permanecen allí.

En el hueso el Endosulfán 2 no fue detectado. Al igual que sucede con los pesticidas organoclorados ya analizados anteriormente en esta investigación el hueso es el órgano que en general, bioacumula menores concentraciones de pesticidas organoclorados, lo que puede explicarse por el más bajo contenido lipídico, además de no estar en contacto directo con el medio contaminado acuático, como la piel. Así mismo ha sido también en los meses de octubre y noviembre la mayor acumulación de endosulfán 2, debido a un alto contenido lipídico el cual presenta *C. carpio* en dichos meses.

En los meses en que se detectó el Endosulfán 2, es importante destacar que la concentración del mismo en vísceras, piel y branquias no se encontró dentro del límite permisible indicado en la Norma Oficial Mexicana NOM-004-ZOO-2001, que establece un máximo de 0.2 ppm. En este estudio el valor máximo encontrado fue de 0.8ppm en piel, en el mes de noviembre (cuatro veces superior). En el músculo en los dos meses en que se detectó Endosulfán 2 (0.08 - 0.13 ppm), se encontró dentro del límite máximo permisible indicado en dicha norma. Es importante recordar que las branquias y las vísceras no son parte comestible de *C. carpio*, por lo cual éstas no son consumidas por los seres humanos. La piel y el músculo como partes comestibles de *C. carpio* son los órganos que en este estudio toman una mayor importancia. El músculo presenta niveles de Endosulfán 2 permitidos por la Norma Oficial Mexicana NOM-004-ZOO-2001, pero la piel presenta 4 veces más de lo que indica dicha norma. Esto puede acarrear de alguna manera, efectos de toxicidad.

El Endosulfán 2 es un producto químico sintético y que no existe en la naturaleza, sin embargo por efectos antropogénicos, penetra en la cadena alimentaria. Es ingerido por los herbívoros o penetra directamente a través de la piel de organismos acuáticos como los peces y diversos invertebrados. Los pesticidas se concentran aun más al pasar de los herbívoros a los carnívoros. Alcanzan elevadas concentraciones en los tejidos de los animales que ocupan los eslabones más altos de la cadena alimentaria, como el halcón peregrino, el águila calva y el quebrantahuesos (Wayland *et al.*, 1991).

Los compuestos organoclorados generalmente interfieren en el metabolismo del calcio de las aves, produciendo un adelgazamiento de la cáscara de los huevos y el consiguiente fracaso reproductivo. Como resultado de ello, algunas grandes aves depredadoras y piscívoras se encuentran al borde de la extinción (Cecil *et al.*, 1972; Haegele *et Hudson*, 1974 y Wiemeyer *et al.*, 1984).

Amodio Cocchieri y Arnese en 1988 detectaron niveles de Endosulfán de $ND \pm 5$ ng/g en músculo de *Cyprinus carpio* y la Tenca (*Tinca tinca*), capturadas en los ríos del sur de Italia.

Endosulfán sulfato

El Endosulfán sulfato es un metabolito del Endosulfán. El Endosulfán sulfato solo se apareció en el presente trabajo, en la piel y durante el muestreo realizado en noviembre 2006.

La concentración de este plaguicida fue de 0.1 ppm, el cual resulta mucho menor comparada con la concentración de Endosulfán 2 que se obtuvo en este mismo mes en la piel (0.8 ppm). Esto puede deberse a que el Endosulfán se transforma en los mamíferos mayoritariamente en endosulfán-diol (endosulfán 2), de baja toxicidad y en menor cantidad se forma sulfato de toxicidad similar a la del endosulfán (Barberá, 1989).

La concentración encontrada de Endosulfán sulfato estuvo dentro del límite permisible indicado en la Norma Oficial Mexicana NOM-004-ZOO-2001 con un límite máximo de 0.2 ppm.

Todos los plaguicidas antes mencionados presentan el inconveniente de acumularse en el suelo, especialmente cuando los tratamientos se repiten año tras año; bajo estas condiciones, persisten por un largo tiempo. Su presencia en residuos ha sido comprobada después de algunos años del tratamiento según lo reporta Barberá en 1989. Esto es un origen muy común y probable para que estos compuestos organoclorados lleguen de alguna forma a los acuíferos.

6.3.2 Pesticidas no detectados

Como se puede observar en la tabla 15, el DDD, BHC, Heptacloro, Heptacloro epóxido y Endosulfán 1, no fueron encontrados o no detectados por el método utilizado, en este estudio en ninguno de los meses. Esto se debe a que no se ha hecho uso de dichos pesticidas, según la información proporcionada por agricultores que habitan alrededor del lago de Tecocomulco.

Debe señalarse que ninguna de las variantes del BHC (α , β , γ y δ) fue encontrado, por lo cual estos cuatro compuestos unidos a los restantes de esta tabla 15, hacen un total de ocho pesticidas organoclorados de los 16 evaluados en los estándares.

CONCLUSIONES

De todo este estudio se ha podido llegar a las siguientes conclusiones:

- Los constituyentes mayoritarios de *C. carpio* en porcentajes en masa, son el músculo con un 46.37% y las vísceras con 33.24%.
- En la cinética de secado se observó que al 3° día, el músculo, la piel, las vísceras y el hueso perdieron la mayor cantidad de su humedad total (cerca del 93%), mientras que para las branquias fue necesario un día más a una temperatura de 45°C.
- Respecto al análisis proximal, se observó que en base seca *Cyprinus carpio* está formada principalmente de proteína, lo cual indica que esta especie es un pescado de alto contenido proteico.
- La fracción lipídica es el componente que muestra la mayor variación, en octubre-noviembre y marzo-abril. La variación presenta una curva estacional característica con un mínimo en marzo-abril y un máximo en octubre-noviembre.
- Las partes de *C. carpio* que tienen la mayor cantidad de grasa son; la piel, vísceras y branquias.
- Con relación a la determinación de proteínas, se observó que la mayor parte de proteínas se encuentran en músculo. El contenido proteico presenta una variación de acuerdo al estado de reproducción, observándose un máximo en octubre-noviembre y un mínimo en marzo-abril. Por lo tanto es mejor consumirlo como alimento en octubre-noviembre.
- Respecto al contenido de cenizas, se observó que la mayor cantidad de cenizas se encuentra en el hueso, órgano en el cual se tiene un incremento de cenizas en marzo-abril, esta variación es normal e impredecible debido a la variación natural de estos componentes. No obstante puede estar relacionada con contenidos metálicos en el medio de su hábitat.
- De los 16 pesticidas evaluados, 8 se detectaron en *Cyprinus carpio* del lago de Tecocomulco: DDT, DDE, Aldrín, Dieldrín, Endrín, Endosulfán sulfato, Endrín aldehído y Endosulfán 2.

- Los organoclorados tienden a bioacumularse en las partes de *C. carpio* con alto contenido lipídico. Se encontró una mayor concentración de pesticidas organoclorados en la piel, vísceras y posteriormente en branquias.
- La concentración de organoclorados en todas las partes de *C. carpio* fue menor en marzo-abril que en octubre-noviembre, lo cual se debe en lo fundamental a la variación en su contenido lipídico.
- El Endrín aldehído y Endosulfán 2, son organoclorados que se detectaron en los 4 meses de estudio. Cuando se detectan pesticidas organoclorados solo en las vísceras durante octubre-noviembre y marzo-abril, es señal de una contaminación reciente.
- Los siguientes organoclorados encontrados en *C. carpio* están dentro del límite permisible indicado en la Norma Oficial Mexicana NOM-004-ZOO-2001: DDT, DDE, Endrín, Endosulfán 2 (en músculo y piel) y Endosulfán sulfato; sin embargo esto no es indicativo de que no exista contaminación, y por tanto deberán ser monitoreados sistemáticamente.
- Los siguientes organoclorados encontrados en *C. carpio* están fuera del límite permisible indicado en la Norma Oficial Mexicana NOM-004-ZOO-2001: Aldrín, Dieldrín, y Endosulfán 2 (en vísceras, piel y branquias). Esto debe considerarse como una limitante para su comercialización.

PERSPECTIVAS

Siendo este recurso una fuente de ingreso para los pobladores de la zona, es imprescindible brindar capacitación para mejorar las normas y formas de cultivos de *C. carpio* en el lago. Para ello se deberá planear el desarrollo de macroproyectos ambientales para corregir el daño que ya está presente en este sentido, así como detectar las posibles fuentes de contaminación y evitar su continuidad.

Se recomienda desarrollar nuevos y más profundos estudios, continuar con estos análisis a diferentes especies acuáticas de manera sistemática, al igual que realizarlos con especies no acuáticas como roedores, plantas, suelos alrededor de la laguna, así como también el análisis de su agua, lodo, entre otros.

La contaminación por pesticidas puede abarcar también a ciertos subproductos agrícolas usados en la elaboración de alimentos balanceados o de forraje para animales, lo cual puede influir en la mala calidad de éstos. Lo anterior se debe al uso irracional y sin ningún control de los subproductos y de los agroquímicos que se apliquen y la falta de leyes que regulen su venta y uso. Por lo cual en este trabajo de investigación se sugiere reglamentar la comercialización de *C. carpio* y diseñar un sistema de calidad que garantice al público consumidor la inocuidad del producto.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

- Albajes R (1992) La incidencia de los Tratamientos Fitosanitarios en el Medio Ambiente y el Control Integrado de Plagas Agrícolas. *ITEA*, 12: 89-108.
- Alvarez D, Cruz M (1989) Contaminación agraria difusa. En Arellano AM (Ed.). *Unidades Temáticas Ambientales de la Secretaría General del Medio Ambiente*, TASGMA. México. pp. 20-52.
- Ando S, M Hatano (1986) Biochemical characteristics of chum salmon muscle during spawning migration. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.* 52: 229-235.
- Ando S, M Hatano, K Zama (1985) Changes in proximate composition of chum salmon muscle during spawning migration in northern California. *Comp. Biochem. Physiol.* 54: 303-307.
- AOAC (1995) *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemist.* 1: 78-99.
- Arellano AM, Rojas M, (1956) Aves acuáticas migratorias de México. *Inst. Mex. de Rec. Nat. Ren.* México. 1: 26-32.
- Arrechea G, (1996) *Proyecto para la conservación de la Laguna de Tecocomulco Estado de Hidalgo.* Resumen Ejecutivo. The Wildlife Society de México, A. C. México. 25 pp.
- Atisook R, Kham N, Toongsuwan S, Punnakanta L (1995) *Organochlorine compounds in perinatal blood samples maternal and neonatal measurements at Sirijat Hospital.* Sirijat Hospital Gazette. Tailandia. 47: 712-717.
- Barberá C (1989) *Pesticidas agrícolas*, OMEGA, España. 25. pp.
- Borresen T (1992) *Quality aspects of wild and reared fish.* Conferencia Internacional, Dinamarca. 17 pp.
- Braekkan OR (1976). Den emæringsmessige betydning av fisk. *Fiskets Gang.* 35: 19-76.
- Braekkan OR, G Boge (1964) Growth inhibitory effect of extracts from milt of different fishes and pure protamines on microorganisms. *Fiskeridir. Skr.* 4: 1-22.
- Bruguera A, Brunnetto R (1996) Levels of DDT residues in human milk of Venezuelan women from various rural population. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.* 34: 203-207.

- Buck W, Osweiller G (1981) *Toxicología veterinaria clínica y diagnóstica*. ACRIBIA. México. 47 pp.
- Bulkley RV (1978) Variations in DDT concentrations in muscle tissue of channel catfish in *Ictalurus punctatus*, from the Des Moines River. *Pestic. Monit J.* 35: 11-16.
- Castagnino JM (2000) Electroforesis capilar. *Bioquímica.* 25: 1-98.
- Cecil HC, Fries GF, Bitman J, Harris SJ, Lillie RJ, Denton CA (1972) Dietary p,p'-DDT, o,p'-DDT or p,p'-DDE and changes in egg shell characteristics and pesticides accumulation in egg contents and body fat of caged white leghorns. *Poultry Sci.* 15: 51-55.
- CESCO (1994) *Determinación de Bifenilos policlorados (BPC'S) Residual y plaguicidas organoclorados en peces comestibles de la Bahía de la Isla de Utila, Honduras*. CECC. Honduras. 164 pp.
- CNA (2002) *Determinación de la disponibilidad de agua en el acuífero Tecocomulco, estado de Hidalgo*. Comisión Nacional del Agua del Estado de Hidalgo. 48 pp.
- Diario Oficial de la Federación (2000) Carta Nacional Pesquera. Tomo DLXIII, Número, México. 20.28.
- Diario Oficial de la Federación (2001) Carta Nacional Pesquera. Tomo DLXII, Número, México 20.27.
- Dimond JB, Getchell AS, Blease JA (1971) Accumulation and Persistence of DDT in a Lotic Ecosystem. *J. Fish Res. Board. Canada.* 28: 18-20.
- Dua VK, Pant CS, Sharma VP (1996) Determination of level of HCH and DDT in soil, water, and whole blood from bioenvironmental and insecticide sprayed areas of malaria control. *J. Ind. Malariology India.* 33: 7-15.
- Eaton HJ, Lydy MJ (2000) Assessment of water quality in Wichita, Kansas, using an index of biotic integrity and analysis of bed sediment and fish tissue for organochlorine insecticides. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 39: 531-540.
- FAO (1983) Análisis de presencia de metales y organoclorados en peces. *Manual de mét. de inv. del med. Amb. Acu. Méx.* 212: 203-211.
- Fennema RO (2000) *Química de los Alimentos*. ZARAGOZA. España. pp. 91.

- Fernández MC, Rico MC, Gonzáles MJ, Hernández LM, Baluja G (1984) Contaminación organoclorada y metálica en organismos acuáticos del Parque Nacional de Doñana, España. *Rev. Agroquími. Tecnol. Aliment.* 21: 94-98.
- FIRCO, 1992. Ordenación de la cuenca de Tecocomulco. *Fideicom. Riesg. Compart. Hidalgo.* 1: 10-13.
- Fredeen FJH, Saha JG, Balba MH (1975) Residues of methoxychlor and other chlorinated hydrocarbons in water, sand, and selected fauna following injections of methoxychlor black fly larvicide into the Saskatchewan River. *J Pestic. Monit.* 8: 241-246.
- French MC, Jefferies DJ (1971) The preservation of biological tissue for organochlorine insecticide analysis, *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 6: 42-46.
- García Calderón JL (1976) Calidad del agua y recurso pesquero Lago Tecocomulco, Hidalgo. *Dep. Eva. Hgo.* 4: 15-24.
- García E (1988) *Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen.* ACRIBIA. México. 217 pp.
- Garrido Lestache R, Garrido Lestache ME (1988) *Toxicología de pesticidas.* GARRIDO-LESTACHE. México. 192 pp.
- Giam CS, Richardson RL, Taylor D, Wong MK (1974) DDT, DDE and PCBs in the tissues of reef dwelling groupers (*Serranidae*) in the Lulf of Mexico and Grand Bahamas. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 21: 11-18.
- Gilbert Bernabé (1989) *Acuicultura.* OMEGA, México. 95 pp.
- Gold B, Leuschen T, Brunk G, Gingell T (1981) Metabolism of a DDT metabolite via a chloroepoxide. *Chem. Biol. Interact.* 12: 35-40.
- Haegele MA, Hudson RH (1974) Eggshell thinning and residues in mallards one year after DDE exposure. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 2: 30-35.
- Hargrave BT, Phillips GA (1976) DDT residues in benthic invertebrates and demersal fish in St. Margaret's Bay, Nova Scotia. *Chem. Biol. Interact.* 21: 188-192.
- Huss HH (1988) Fresh fish quality and quality changes. *Fisheries.* 4: 54-72.
- Huss HH (1998) El pescado fresco: su calidad y cambios de su calidad. *Doc. Téc. Pesca.* 5: 102-108.

- INEGI, 1992. *Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática*. México. 21 pp.
- James N, Seiber JA, Knuteson G (1996) *Fumigants Environmental Fate, Exposure, and Analysis*. ACS Simposio 1996. Canada. p 15.
- Johansson L, Kiessling A (1991) Effects of starvation on rainbow trout. *Acta Agric. Scand. Canada*. 41: 207-216.
- Kamal M, T Motohiro, T Itakura (1986) Inhibitory effect of salmine sulfate on the growth of molds. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.* 52: 16-19.
- Kellogg RL, Bulkley RV (1976). Seasonal concentration of dieldrín in water, channel catfish, and catfish-food organisms, Des Moines River, Iowa-1971/1973. *J. Pestic. Monit.* 9:18-22.
- Kent M, Alexander L, RH Christie, (1992) Seasonal variation in the calibration of a microwave fat: water content meter for fish flesh. *Int. J. FoodSci. Technol.* 27: 137-143.
- Ketchum BH, Zitko V, Saward D (1976) *Aspects of heavy metal and organohologen pollution*. CRC, Florida, USA. 72 pp.
- Kiessling AT, Aasgaard T, Storebakken L, Johansson G, Kiessling KH (1991) *Changes in the structure and function of the epaxial muscle of rainbow trout (Oncorhynchus mykiss) in relation to ration and age*. CRC. Florida. pp. 373.
- Kossel A (1928) *Protamines and histones*. GREEN, London. 51 pp.
- Lie O, Huse I (1992) The effect of starvation on the composition of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Fiskeridir. Skr. Ser. Ernaering.* 5: 11-16.
- Lledos JR, Morell MA, Sanchez J (1992) Distribución de los microcontaminantes orgánicos en un ecosistema fluvial. Significación de los sistemas de impacto. *Rev. Medioambiente-RETAMA Méx.* 41: 65-70.
- López F, Rosell G, Berenguer J, Guardino J, Brosa J (1993) Determination of chlorinated insecticides in blood samples of agricultural workers. *Int. J. FoodSci. Technol.* 12: 152-156.
- López JM, Ruíz J, Borrell A (1995) *Levels of organochlorine compounds in freshwater fish from Catalonia, N.E. Spain*. *Chemosphere.* 31: 3523-3535.

- Lot-Helgueras A, Novelo-Retana A (1978) Laguna de Tecocomulco, Hgo. *Guías botánicas de excursiones de México*. Sociedad Botánica de México A.C. México, D.F. 19pp.
- Maage AK, Julshamn Y, Ulgenes (1991) A comparison of tissue levels of four essential trace elements in wild and farmed Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Fiskeridir. Skr., Ser. Ernaering. 4*: 111-116.
- Masson C (1993) *Enciclopedia práctica de peces y acuarios*. MARTÍNEZ, México. 51 pp.
- Matsumura F (1985) *Toxicology of Pesticides*, 2ª edición, PLENUM. New York. 99 pp.
- Mohr V (1971) *On the constitution and physical-chemical properties of the connective tissue of mammalian and fish skeletal muscle*. Tesis. Universidad de Aberdeen. Escocia. 71 pp.
- Montero P, Borderias J (1989) Distribution and hardness of muscle connective tissue in hake (*Merluccius merluccius L.*) and trout (*Salmo irideus Gibb*). *Unters. Forsch. 189*: 530-533.
- Moriarty F (1972) The effect of pesticides on wildlife: exposure and residues. *Sci. Total Environ. 1*: 262-267.
- Murray J, Burt JR (1969) *The composition of fish*. TORRY. Escocia. 59 pp.
- Murty AS (2000) *Toxicity of Pesticidas to Fish*, CRC, Florida. 85 pp.
- Norma Oficial Mexicana, NOM-028-ZOO-1995, *Determinación de residuos de plaguicidas, en hígado y músculo de bovinos, equinos, porcinos, ovinos, caprinos, cérvidos y aves, por cromatografía de gases*. Secretaria de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural. 20 pp.
- Raldúa D (1995) *Estudio de la contaminación por plaguicidas organoclorados y mercurio en la ictiofauna de los ríos altoaragoneses Gállego y Cinca*. Tesis doctoral. Universidad de Extremadura, España. 305 pp.
- Rehbein H (1992) Physical and biochemical methods for the differentiation between fresh and frozen-thawed fish or fish fillets. *J. Food Sci. Italia. 4*: 75-86.
- Rehbein HG, Kress W, Schreiber, (1978). An enzymatic method for differentiating thawed and fresh fish fillets. *J. Sci. Food Agric. 29*: 107-112.

-
- Reinert RE (1970) Pesticide concentrations in Great Lakes fish. *J. Pestic. Monit.* 5: 229-233.
 - Reinert RE, Bergman HL, (1974). Residues of DDT in lake trout (*Salvelinus namaycush*) and coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) from the Great Lakes. *J. Fish. Res. Board Canada*, 31: 190- 191.
 - Reinitz GL (1983). Relative effect of age, diet, and feeding rate on the body composition of young rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Aquaculture* 35: 19-27.
 - Reinitz GL, Onne LE, Hitzel FN, (1979). Variations of body composition and growth among strains of rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Trans. Amb. Fish. Soc.* 108: 204-207.
 - Risso S, Fernández S, Ureta D, Córdoba O, Balzaretti V, Sánchez E (2000). Estudio de la Composición de la Carne de Palometa. *Trans. Amb. Fish. Soc.* 108: 40-45.
 - Sackmaverova M, Palúsova O, Szokolay A (1977) Contribution to the study of drinking water, Danube water and Biocenose contamination whit chlorinated insecticides. *Water Research*, 11: 551-556.
 - Saiki MK, Schmitt CJ (1986) Organochlorine chemical residues in bluegills and common carp from irrigated San Joaquin Valley Floor, California. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 15: 357-366.
 - Salfi VF, Fucetola G, Pannunzio (1985) A micromethod for the differentiation of fresh from frozen fish muscle. *J. Sci. Food Agric.* 36: 811-814.
 - Sato KC, Ohashi K, Ohtsuki, M Kawabata (1991) Type V collagen in trout (*Salmo gairdneri*) muscle and its solubility change during chilled storage of muscle. *J. Agric. Food Chem.* 39: 1222-1225.
 - Scott, Raymond P.W. (1995) Techniques and Practice of Chromatography. *Chromatographic Science Series.* 70: 105-109.
 - SEMARNAP (1996) *Lo que usted debe saber sobre los plaguicidas*. Serie Plaguicidas, Secretaria del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca Secretaria del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. México D.F. p. 18.

- SEMARNAP (1997). *Diagnóstico sobre la problemática del Lago de Tecocomulco*. Serie Plaguicidas, Secretaria del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. México D.F. 30 pp.
- SEMARNAP (2001) *Programa Integral de Protección, Conservación, Restauración y Aprovechamiento de la Cuenca de Tecocomulco, Hidalgo*. Secretaria del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. 34 pp.
- Shahidi F, Hong C (1991) Evaluation of Malonaldehyde as a Marker of Oxidative Rancidity in Meat Products. *J. of Food Biochemistry*, 54: 97-105.
- Simopoulos AP, Kifer RR, Barlow SW (1991) Health effects of 3 polyunsaturated fatty acids in seafoods. *J. Karger, Basel. Canada*. 24: 21-25.
- Smith AG (1991) Handbook of pesticide Toxicology. *J. Press*. 51: 731-768.
- Soler RF (2002) *Estado actual de la contaminación por metales pesados y pesticidas organoclorados en el parque natural de Monfragüe*. Tesis Doctoral. Universidad de extremadura. España, pp. 13-94.
- Stansby ME, Hall AS (1967) Chemical composition of commercially important fish of the USA. *J. of Food Biochemistry*. 1: 29-34.
- Waagboe RK, Sandnes A, Sandvin, Oe Lie (1991) Feeding three levels of n-3 polyunsaturated fatty acids at two levels of vitamin E to Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Fiskeridir. Skr., Ser. Ernøring*. 4: 51-63.
- Waliszewski SM, Pardo S, Chantiri P, Aguirre G (1996) Organochlorine pesticide body burnen of young Mexican. *Fresenius env. Bull. México*. 24: 357-360.
- Wayland J, Hayes Jr, Eduard R, Laws (1991) *Handbook of pesticides toxicology*.. ACADEMIC PRESS. Nueva York. 210 pp.
- Weatherly AH, Gill HS (1987) *Tissues and Growth. The Biology of fish Growth*. ACADEMIC PRESS. Nueva York. 173 pp.
- Wiemeyer SN, Lamont TG, Bunck CM, Sindelar CR, Grandich FJ, Fraser DJ, Byrd MA (1984) Organochlorine pesticide, polycholorobiphenyl, and mercury residues in bald eagle eggs, 1969-79, and their relationships to shell thinning and reproduction. *Arch. Environ. Contam. Toxicol*. 20: 13-22.
- William McGee (2007) *Proteína en la dieta*. Tesis. Escuela de Medicina. Boston. 106 pp.

- Yoshinaka R, Sato KH, Anbe M Sato, Y Shimizu (1988). Distribution of collagen in body muscle of fishes with different swimming modes. *Comp. Biochem. Physiol.* 3: 147-151.
- Youngs WD, Gutenmann WH, Lisk DJ (1972) Residues of DDT in lake trout as a function of age. *Environ. Sci. Technol.* 14: 61-65.

Páginas de Internet consultadas:

- Bejarano, F. Plaguicidas. Red de Acción sobre Plaguicidas y Alternativas en México, octubre 2006
- <http://es.wikipedia.org/wiki/Carpa>, agosto 2007
- <http://koilatino.homestead.com/>, noviembre, 2006
- <http://www.cehn.org/cehn/education/pesticidas.html>, diciembre 2004
- http://www.chasque.net/dgsa//profit/restriccion_fitosanitarios_normas.htm, febrero 2007
- http://www.cna.gob.mx/eCNA/espaniol/Programas/Subdirecciones/HTML-GAS/disp_gas/pdf_docs/Tecocomulco.pdf, diciembre 2006
- <http://www.csic.es/hispano/huelva2/2ap2.pdf>, enero 2007
- <http://www.csic.es/hispano/huelva2/principa.htm>, enero 2007
- <http://www.fao.org/DOCREP/V7180S/v7180s05.htm>, septiembre, 2006
- <http://filaman.ifm-geomar.de/search.php>, octubre 2007
- <http://www.hhs.gov/>, octubre 2006
- <http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/447/cap4.html>, julio 2007
- http://www.javeriana.edu.co/Facultades/Ciencias/neurobioquimica/libros/celular/el_electroforesis.html, febrero 2007
- http://www.minambiente.gov.co/viceministerios/ambiente/dir_des_sect_sostenible/cop/documentos/Fichas%20toxicol%C3%B3gicas%20COP/ALDRIN_R.pdf, agosto 2007

- http://www.minambiente.gov.co/viceministerios/ambiente/dir_des_sect_sostenible/cop/documentos/Fichas%20toxicol%C3%B3gicas%20COP/DIELDRIN_R.pdf, agosto 2007
- http://www.minambiente.gov.co/viceministerios/ambiente/dir_des_sect_sostenible/cop/documentos/Fichas%20toxicol%C3%B3gicas%20COP/ENDRIN_R.pdf, agosto 2007
- http://www.minambiente.gov.co/viceministerios/ambiente/dir_des_sect_sostenible/cop/documentos/Fichas%20toxicol%C3%B3gicas%20COP/HEPTACLORO_R.pdf, agosto 2007
- <http://www.monografias.com/trabajos11/carpa/carpa.shtml>, diciembre 2006
- <http://www.quimica.urv.es/~w3siiiq/DALUMNES/98/siiiq3/pescado.html>, septiembre 2006
- <http://www.relaq.mx/RLQ/tutoriales/cromatografia/Gas.htm>, agosto 2007
- http://www.uanl.mx/publicaciones/respyn/i/2/contexto/nom_027.html, septiembre 2006
- <http://www.valvanera.com>, septiembre 2006
- <http://www.cescco.gob.hn/informes/Determinacion%2520de%2520Bifenilos%2520Policlorados.pdf+determinaci%C3%B3n+de+plaguicidas+en+pescados&hl=es>, febrero 2006
- www.carpio-fr.com, noviembre, 2006
- www.laneta.apc.org/emis/sustanci/plaguici/plagui.htm#nom, septiembre 2006
- www.um.es/grupo-analisis-controlalimento/conferencias/moleculas.ppt, agosto 2007