



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

---

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
ZARAGOZA

EVALUACIÓN DE METALES PESADOS EN ACOCIL Y  
CARPA DEL LAGO DE XOCHIMILCO

T E S I S

QUE PARA OBTENER TÍTULO DE:

B I Ó L O G A

P R E S E N T A:

FANY GAYOSSO SORIANO

DIRECTOR DE TESIS: BIÓL RAÚL ARCOS RAMOS



MÉXICO D. F.

JUNIO 2009



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

## **Agradecimientos:**

A él Biol. Raúl Arcos Ramos por haber dirigido esta tesis.

A los miembros del jurado

M. en. Armando Cervantes Sandoval

Biól. Raúl Arcos Ramos

Biól. Ma. de los Ángeles Galván Villanueva

Biól. Maricela Arteaga Mejía

Biól. Aída zapata cruz

Por sus valiosas aportaciones y contribuciones a este trabajo.

A la profesora Maricela Arteaga Mejía por todo el apoyo, orientación y dedicación de su tiempo para culminar esta tesis.

A la M. en C. Lourdes Castillo Granada por el apoyo en la lectura de los metales pesados, por la orientación y su tiempo.

## **Dedicatorias:**

A mi mamá por haberme dado la vida y en todo momento a estado conmigo, para apoyarme y hacerme saber que no estoy sola, por creer siempre en mí este logro es gracias a ti.

A mi papá por apoyarme en las buenas y en las malas, por estar siempre que lo necesito y confiar en mí gracias a ti es este logro.

A mis hermanos Francisco y Antonio por estar justo en los momentos que más los necesito, gracias por no dejarme sola y por darme todo su el apoyo.

A mi hijo que esta por nacer quiero que sepas que eres la motivación más grande que tengo.

A todos mis compañeros, amigos y a todas esas personas especiales que no menciono pero que durante toda la carrera estuvieron conmigo y brindaron su apoyo gracias.

# ÍNDICE

	Pág.
Resumen.....	1
1. Marco teórico.....	2
1.1 Generalidades.....	2
1.2 Metales Pesados.....	6
1.2.1 Cádmió .....	10
1.2.2 Cromo .....	11
1.2.3 Hierro.....	12
1.2.4 Níquel.....	13
1.2.5 Plomo.....	14
1.3 Distribución y niveles de metales pesados en peces.....	15
1.4 Toxicidad de metales pesados en los peces.....	17
1.5 Generalidades sobre anatomía y fisiología de los peces.....	18
1.5.1 Características generales de la carpa <i>Cyprinus carpio</i> . .....	21
1.5.2 Distribución de la carpa <i>Cyprinus carpio</i> .....	22
1.5.3 Ciclo reproductivo de <i>Cyprinus carpio</i> .....	22
1.5.4 Diferencias externas entre las carpas macho y las carpas hembra.....	24
1.6 Características generales de acocil <i>Cambarellus montezumae</i> .....	25
1.6.1 Distribución del acocil.....	28
1.6.2 Ciclo biológico del acocil.....	29
1.6.3 Conducta reproductiva.....	31
1.6.4 Conducta alimentaría.....	32
1.6.5 Alimentación natural.....	32
1.6.6 Alimentación artificial.....	33
2. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	33
2.1 Antecedentes históricos de Xochimilco.....	33
2.2 Ubicación.....	34
2.3 Clima.....	36
2.4 Hidrografía.....	37
2.5 Edafología.....	38

2.6 Vegetación.....	38
2.7 Fauna.....	39
3. PROBLEMÁTICA.....	40
4. JUSTIFICACIÓN.....	41
5. HIPÓTESIS.....	41
6. OBJETIVO GENERAL.....	42
6.1 Objetivos particulares.....	42
7. Método.....	42
7.1 Fase de campo.....	42
7.2 Fase de laboratorio.....	43
7.3 Fase de gabinete.....	53
8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	55
8.1 Resultados de la determinación taxonómica.....	55
8.2 Resultados de las determinaciones biométricas.....	56
8.3 Resultados de los metales pesados.....	58
8.4 Discusión para carpa.....	69
8.5 Discusión de acocil.....	72
9. CONCLUSIONES.....	76
10. BIBLIOGRAFÍA.....	77
11. ANEXOS.....	92

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Fig. 1 branquia de pez óseo.....	20
Fig. 2 ciclo reproductor de la carpa.....	23
Fig. 3 factores que afectan la producción de la carpa.....	24
Fig. 4 esquema de carpa hembra y macho.....	25
Fig. 5 cría de acocil de 9 mm.....	31

## ÍNDICE DE MAPAS

	Pág.
Mapa 1 distribución de genero <i>cambarellus montezumae</i> (acocil) en la republica mexicana.....	29
Mapa 2 zona chinampera de Xochimilco.....	36

## ÍNDICE DE FOTOS

	Pág.
Foto 1 zona de cuemanco.....	43
Foto 2 zona de texhuilo.....	43
Foto 3 zona de asunción.....	44
Foto 4 acocil hembra a la derecha y un macho a la izquierda.....	45
Foto 5 órganos expuestos de carpa macho.....	45
Foto 6 gónadas de carpa hembra .....	46
Foto 7 longitud total de carpa.....	46
Foto 8 longitud total de acocil.....	47
Foto 9 longitud patrón de acocil.....	47
Foto 10 longitud patrón de carpa.....	48
Foto 11 pesaje de carpa.....	48
Foto 12 pesaje de acocil.....	49
Foto 13 hígado de carpa.....	50
Foto 14 gónadas de carpa hembra.....	50
Foto 15 branquias de carpa.....	51
Foto 16 parte del músculo de carpa.....	51
Foto 17 digestión de la muestra .....	52
Foto 18 carpa común ( <i>cyprinus carpio</i> ).....	55
Foto 19 acocil ( <i>cambarellus montezumae</i> ).....	56

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Promedio de la longitud en carpa.....	56
Tabla 2. Promedio de peso en carpa por sexo.....	57
Tabla 3. Promedio de longitud en acocil por sexo.....	57
Tabla 4. Promedio de peso en acocil por sexo.	57
Tabla 5. Promedio de las concentraciones de metales pesados en hígado, gónadas, branquias y músculo de carpa.....	58
Tabla 6. Metales pesados en carpa.....	58
Tabla 7. Concentración de metales pesados en carpa por sexo.....	59
Tabla 8. Promedio de metales en acocil por talla.....	59
Tabla 9. Promedio por sexo de acocil para cada metal.....	60
Tabla 10. Promedio de metales pesados para las dos especies para cada metal.....	75

## ÍNDICE DE GRAFICAS

	Pág.
Gráfica 1. concentración de cadmio en cada órgano, en ambos sexos y para cada zona .....	61
Gráfica 2. concentraciones de cromo en carpa para ambos sexos y para cada zona .....	62
Gráfica 3. Concentración de hierro para cada órgano de carpa de ambos sexos de ambos sexos y para cada zona.....	63
Gráfica 4. Concentraciones de níquel en cada órgano de carpa para ambos sexos y para cada zona.....	64
Gráfica 5. concentración de plomo en cada órgano de las carpa para ambos sexos y para cada zona.....	65
Gráfica 6 concentraciones de cadmio en acocil en ambos sexos en las tres tallas.....	66



Gráfica 7 concentraciones de cromo para ambos sexos de acocil en las diferentes tallas.....	67
Gráfica 8 concentraciones de hierro en acocil en ambos sexos y para cada talla.....	67
Gráfica 9 concentraciones de níquel para cada talla en acocil y para ambos sexos .....	68
Gráfica 10 concentraciones de plomo para cada talla de acocil en ambos sexos .....	68

## RESUMEN

La zona lacustre de Xochimilco es un remanente del gran sistema de lagos del Valle de México. Presenta una problemática que afecta a la región, en la década de los cincuentas, debido al rápido crecimiento demográfico y la excesiva extracción de agua, la situación de la zona se volvió crítica, al acelerarse el proceso de desecación del sistema. El Departamento del Distrito Federal en 1957 estudió la forma de restituir parte del agua extraída y adoptó la medida de abastecer a la región con aguas residuales tratadas; sin embargo, esto ha provocado cambios significativos en el ecosistema. Las descargas de aguas residuales tratadas varían en su contenido de acuerdo a los focos de contaminación antropogénicos, entre ellos encontramos a los metales pesados que eventualmente se encuentran asociados con material particulado además de que afectan a los peces y acociles del sistema, de acuerdo a estudios previos, el lago presenta concentraciones variables de metales pesados, en este sentido la evaluación de los mismos en organismos bentónicos y nectónicos resulta indispensable para conocer la movilidad de los metales, además de que tienen importancia ecológica y en la salud, al ser utilizados para consumo humano. Se realizaron 11 muestreos de octubre del 2007 a agosto del 2008, a las carpas y acociles se les realizó la determinación taxonómica, el sexo y talla; en carpa (hígado, gónadas, branquias y músculo) y acocil (organismos completo) se cuantificó el contenido de Cd, Cr, Fe, Ni y Pb. Se encontró que en hígado y branquias de *Cyprinus carpio* (carpa), se acumuló Fe principalmente; en gónadas y músculo Cr. La talla madura es la que concentró al Cd, la talla en engorda al Cr, Fe y Ni, el Pb en la talla juvenil. Los machos acumularon Cd, Fe y Ni y las hembras Pb. Respecto de *Cambarrellus montezumae* (acocil), los de talla grande acumularon principalmente Cr, Cd y Pb; el Fe se acumuló en mayor concentración en los de talla mediana y Ni en los de talla chica. El Cd se acumuló indistintamente en machos y hembras; el Cr se alojó principalmente en los machos; el Fe, Ni y Pb en las hembras. En Asunción, Texhuilo y Cuemanco el Cd en carpa, rebasó los LMP establecidos en la NOM-027-SSA1-1993 que establece el Límite Máximo Permisible de  $0.5 \text{ mg Kg}^{-1}$ . El plomo encontrado en acociles de talla grande ( $1.8 \text{ mg Kg}^{-1}$ ) rebasó LMP por la legislación hispana ( $1 \text{ } \mu\text{g/g}$ ).

# 1. MARCO TEÓRICO

## 1.1 Generalidades

El agua cubre aproximadamente el 75% de la superficie terrestre; es fundamental para los procesos tanto ambientales como sociales y es indispensable para el surgimiento y desarrollo de la vida (Mazari, M. H. 2005), además de ser una sustancia imprescindible para la vida, por sus múltiples propiedades, es ampliamente utilizada en actividades diarias tales como la agricultura (70 – 80%), la industria (20%), en el uso domestico (6%), entre otras, convirtiéndose en uno de los recursos mas apreciados en el planeta de ahí la importancia de conservar y mantener la calidad de las fuentes naturales, de manera que se garantice su sostenibilidad y aprovechamiento para las futuras generaciones (ONU, 1992).

El agua de los mares y de los ríos ha sido usada tradicionalmente como medio de evacuación de los desperdicios humanos. Los ciclos biológicos del agua aseguran la reabsorción de estos desperdicios orgánicos reciclables (San Martín, H. 2001), sin embargo, pesticidas, desechos químicos, metales pesados, residuos radiactivos, etc., se encuentran en cantidades mayores o menores al analizar las aguas de los más remotos lugares del mundo. Muchos sistemas acuáticos están contaminados hasta el punto de hacerlos peligrosas para la salud humana y dañinas para la vida (Echarri, P. L. 1998).

La contaminación del agua puede ser definida como la adición de sustancias inconvenientes a ese líquido lo cual disminuye su valor para el hombre. Tales sustancias pueden presentarse como partículas sólidas, líquidas, gaseosas o mezclas de estas formas (Curtidor, L. B. 1999). En términos generales los contaminantes del agua son: microorganismos patógenos, desechos orgánicos, sustancias químicas inorgánicas, nitratos y fosfatos, compuestos orgánicos, sedimentos y materiales suspendidos, sustancias radiactivas, y contaminación térmica, (Echarri, P.L. 1998).

Los síntomas de la contaminación del agua son evidentes incluso para el observador mas casual, el agua potable sabe mal, masas de plantas acuáticas crecen sin control en muchas extensiones de agua, playas marinas, ríos y lagos emiten olores desagradables, los peces comerciales y deportivos decrecen en número y la carne

de alguna de ellas tiene mal sabor, puede verse petróleo flotando en la superficie de las aguas o depósitos como restos en las playas. La diversidad de estos síntomas y efectos indica la complejidad del problema, sus orígenes deben atribuirse a muchas fuentes y tipos de contaminantes, para ayudar al estudio sistemático de los contaminantes del agua estos se clasificaran en 10 categorías (Balfour, H. 1991), que se citan a continuación:

1. Residuos con requerimiento de oxígeno
2. Agentes patógenos
3. Nutrientes vegetales
4. Compuestos orgánicos sintéticos
5. Petróleo
6. Sustancias químicas inorgánicas y minerales
7. Sedimentos
8. Sustancias radiactivas
9. Calor
10. Metales pesados

Los ecosistemas acuáticos posiblemente sean los más afectados por la actividad humana, ríos, lagunas y mares reciben gran cantidad de contaminantes de las grandes ciudades, de parques industriales, de la actividad ganadera y agrícola, además de que soportan la extracción indiscriminada de sus componentes como fuente de alimentos. Lo anterior ha provocado que los sistemas acuáticos se encuentren en franco proceso de deterioro, por lo que su cuidado es impostergable (CONABIO, 1998).

La contaminación ambiental tiene lugar de muchas formas: plaguicidas, detergentes, partículas, etc. más recientemente los metales tóxicos se han identificado como una clase nueva de contaminantes quizás mas peligrosa para el ambiente, de los 106 elementos conocidos 84 se clasifican como metales por tanto las oportunidades de contaminación metálica son numerosas, no obstante no todos los metales representan riesgo para el ambiente, algunos no son tóxicos mientras que otros, aun cuando los sean son muy escasos o sus compuestos son insolubles, como resultado solo unos pocos de ellos se consideran en la actualidad como contaminantes ambientales, es muy común el termino de metales pesado y metales

traza en el estudio de la contaminación metálica ambos se originaron a partir de los sistemas usados para su subclasificación de los metales conocidos. (Balfour, H. 1991). La contaminación se puede clasificar de diferentes maneras, dependiendo de sus características, y de las fuentes que la generan, por ejemplo:

**Contaminación biológica:** Este tipo de contaminación se presenta cuando existen microorganismos que causan un desequilibrio en la naturaleza, por ejemplo: bacterias, hongos, virus, protozoarios, etc. (Es típico de aquellas regiones cuyas condiciones de higiene son deficientes, y se presenta principalmente en los países económicamente menos desarrollados). Un ejemplo es la producida por el vibrión colérico en las aguas superficiales de muchos ríos en Latinoamérica (Vogel, M. E. 1997).

**Contaminación física:** Es toda aquella contaminación causada por factores físico-mecánicos relacionados principalmente con la energía. Por ejemplo: altas temperaturas, ruido, ondas electromagnéticas. Este tipo de contaminación puede tener efectos a largo plazo que no son fáciles de identificar.

**Contaminación química.** Es toda aquella contaminación provocada por sustancias químicas, que pueden ser orgánicas e inorgánicas. Este tipo de contaminación es más difícil de controlar, debido a que las características físicas y químicas de las sustancias varían en magnitud, y su control depende de estas propiedades (Vogel, M. E. 1997). Los compuestos químicos provienen de los drenajes de minas, desechos solubilizados de la agricultura, derrames de petróleo, pesticidas, aguas residuales municipales, desechos líquidos industriales y compuestos radiactivos, por otro lado, la contaminación también puede clasificarse de acuerdo con su origen, y puede ser:

**1. Natural:** Es aquella causada por fuentes naturales, como son: volcanes, efectos geoclimáticos, etc. Su característica principal es que generalmente se encuentra dispersa en un área mayor, por lo que el efecto es diluido por los procesos naturales.

**2. Antropogénica:** Es aquella que es producida o distribuida por el ser humano, por ejemplo: la basura, el smog; descargas del aire, agua y suelo procedentes de procesos industriales, etc. Este tipo de contaminación ocurre en áreas cercanas a zonas urbanas.

**3. Industriales:** donde los contaminantes están concentrados en pequeños volúmenes de aire, agua y suelo.

Una de las principales fuentes de contaminación antropogénica es la agricultura industrializada, en la cual se generan una gran cantidad de sustancias contaminantes, cuyo destino final es el suelo o las fuentes de agua.

La contaminación del agua se puede clasificar de varias maneras como son el tipo de escurrimiento (puntual o localizada), por el contaminante químico (orgánica e inorgánica), físico radiación, altas temperaturas) o biológico y finalmente por el impacto al medio ambiente (tóxico o no tóxico). Las actividades humanas generan efluentes que directa o indirectamente, afectan la calidad de los cuerpos de agua receptores.

La contaminación localizada o puntual se da cuando se conoce el punto exacto de introducción del contaminante al cuerpo receptor, este tipo de contaminación es generada por emisiones de industrias, plantas tratadoras de aguas residuales, descargas municipales tratadas o no, etc.

La contaminación no localizada o escurrimientos se dan cuando los contaminantes emitidos en ciertas zonas son arrastrados con el agua de lluvia o mediante erosión del suelo hacia los cuerpos de agua receptores (Vogel, M. E. 1997).

Por contaminación de las aguas superficiales, se entiende la incorporación de elementos extraños de naturaleza física química o biológica, los cuales hacen inútil o riesgoso su uso (para beber, vida acuática, recreación, riego, en industria, energía, transporte), distintas actividades tienen que ver con la contaminación de las aguas superficiales, tales como:

- Industrias o centrales termoeléctricas que utilizan el agua como refrigerante con el correspondiente vertido que es a mayor temperatura.
- Dragado de ríos, lagos estuarios, zonas costeras y presas.
- Erosión, deforestación, desarrollo agrícola con uso de agroquímicos, lavado de envases y productos, disposición de envases vacíos en tiraderos de cielo abierto y excremento de animales.
- Cercanía de centros mineros, vertido de residuos tóxicos y peligrosos por la explotación minera.
- Derrames o vertidos por la industria petrolera.
- Proyectos urbanos adyacentes a ríos, lagos, estuarios o áreas de costa y uso como alcantarilla.

Un problema especialmente grave se produce si se suma la contaminación biológica con la química, ya que esta situación aumenta la cantidad de materia orgánica, los

fertilizantes y detergentes puede producir un fenómeno llamado eutrofización. En estas condiciones se produce una alteración completa de la flora y la fauna acuática y en casos extremos desaparece la vida en el cuerpo de agua eutrofizado, algunos factores que cambian la velocidad del proceso de eutrofización son, entre otros, el número de pueblos que existen en una cuenca, la cantidad de residuos que se arrojan al agua, la deforestación y la actividad agrícola (CONAMA, 2000). Actualmente en México hay 20 cuencas hidrológicas que tienen grandes problemas de eutrofización, lo cual indica el desequilibrio ecológico de los cuerpos de agua y en consecuencia, la producción de especies acuáticas comerciales se abate como efecto de las condiciones adversas existentes, tales como la baja producción de oxígeno disuelto; potencial de hidrógeno alto o bajo; escasez de nutrientes (amonio total, nitratos, ortofosfatos), alta temperatura, presencia de metales pesados, presencia de organismos, etc. Afectando así la calidad del agua y la vida de los organismos acuáticos (Medina, G. F. 2002).

## **1.2 Metales pesados**

Dentro de la variable lista de contaminantes, los metales pesados en cantidades de trazas, ocupan una posición única, ya que ellos no pueden ser descompuestos posteriormente y, una vez depositados, permanecerán en el medio acuático, prácticamente sin ningún cambio cualitativo.

Históricamente, los niveles de metales pesados existentes en alimentos resultan conocidos y con pocas excepciones, aceptados como constituyentes naturales de los mismos; pero en los últimos 39 años se llegó a la conclusión de que los metales pesados presentes en ciertos alimentos, especialmente en pescados, mariscos y sus derivados, están directamente relacionados con la contaminación de ríos, lagos y océanos, constituyendo un interesante campo de investigación en la biología del medio ambiente marino. Una de las principales características de este medio ambiente la constituyen sus condiciones físico-químicas relativamente constantes; sin embargo, ciertos organismos marinos adaptados a estas condiciones, podrían aceptar ligeros cambios en su medio, causados por los contaminantes. Por eso la presencia en niveles altos de sustancias o compuestos extraños y metales pesados como contaminantes en el agua de mar, puede ocasionar un problema para el

desarrollo y supervivencia de los organismos marinos que adquieren acusada importancia cuando se destinan a la alimentación humana (Flores, P. L. 1987).

La persistencia del mercurio, níquel y cadmio en el medio ambiente al igual que otros contaminantes metálicos, es desfavorable para la flora y fauna, con repercusiones indeseables para los humanos. De igual manera se manifiesta en los sistemas acuáticos, debido a que en algunos casos las reacciones de esos elementos desembocan en formas más tóxicas de los metales. Uno de los problemas mas graves es la amplificación biológica de los elementos en la cadena trófica (Marrugo, M. F. 2006).

Los metales en ambientes acuáticos se les pueden encontrar en diferentes formas por ejemplo, disuelto como iones libres o formando complejos, participando como precipitado inorgánico de alto peso molecular, absorbido o mezclado en los sedimentos o incorporando dentro de la biomasa de organismos vivos (Demanyo, A. 1978).

La degradación de los recursos acuáticos ha sido motivo de preocupación del hombre en las últimas décadas. Por esta razón, existe un creciente interés por conocer y proteger los ecosistemas fluviales y estudiar sus cambios en el tiempo, desarrollando criterios físicos, químicos y biológicos que permitan estimar el efecto y magnitud de las intervenciones humanas (Norris, H. 2000).

Los metales pesados se consideran, como cualquier elemento químico que presenta una alta densidad y sea tóxico o venenoso en bajas concentraciones ya que no se pueden degradar por medios naturales, además, son peligrosos porque tienden a bioacumularse en los suelos, las aguas y los seres vivos, (Celis, H.J. 2005). Los metales pesados son componentes naturales de la corteza terrestre, se considera a aquellos que pueden causar trastornos en la salud del ser humano (Peña, M. D. 2001). En un grado pequeño se incorporan al organismo vía el alimento, el agua potable y el aire.

Dentro de los metales pesados hay dos grupos:

Oligoelementos o micronutrientes que son los requeridos en pequeñas cantidades, o cantidades traza por plantas y animales, y son necesarios para que los organismos completen su ciclo vital. Pasado cierto umbral se vuelven tóxicos. Dentro de este grupo están: As, B, Co, Cr, Cu, Mo, Mn, Ni, Se y Zn. Estos elementos minoritarios que se encuentran en muy bajas concentraciones en el suelo y agua, ha ocurrido que las concentraciones más altas de estos elementos se han vuelto tóxicas para los



organismos, forman parte de sistemas enzimáticos, como el cobalto, zinc, molibdeno, hierro que forma parte de la hemoglobina. Su ausencia causa enfermedades, su exceso intoxicaciones. Metales pesados sin función biológica conocida, cuya presencia en determinadas cantidades en seres vivos lleva aparejadas disfunciones en el funcionamiento de sus organismos, resultan altamente tóxicos y presentan la propiedad de acumularse en los organismos vivos. Los términos metales pesados y metales tóxicos se usan como sinónimos pero sólo algunos de ellos pertenecen a ambos grupos. La toxicidad de estos metales se debe a su capacidad de combinarse con una gran variedad de moléculas orgánicas, pero la reactividad de cada metal es diferente y consecuentemente lo es su acción tóxica. Usualmente las moléculas suelen tener dentro de su estructura grupos sulfhídricos los cuales se combinan con facilidad con los metales pesados produciendo inhibición de las actividades enzimáticas del organismo.

El envenenamiento por metal pesado podría resultar, de la contaminación del agua potable (Ej. tuberías del plomo), las altas concentraciones en el aire cerca de fuentes de la emisión, o producto vía la cadena de alimento. Los metales pesados son peligrosos por que tienden a bioacumularse. La bioacumulación significa un aumento en la concentración de un producto químico en un organismo biológico en un cierto plazo, comparada a la concentración del producto químico en el ambiente. Se analizan (metabolizado) o se excretan los compuestos acumulan en cosas vivas cualquier momento se toman y se almacenan más rápidamente que ellos. Los metales pesados pueden entrar en un abastecimiento de agua por medio de residuos industriales y de deposita corrientes, los lagos, los ríos, etc.

Los metales pesados más peligrosos: Entre este tipo de agentes de daño se encuentran el mercurio, cadmio, plomo, cromo y otros elementos como el arsénico, cianuro, etc. (Balfour, H. 1991; Dalman, M. A. 2006).

Los metales pesados son los que tienen una densidad superior a los 5 gramos por centímetro cúbico, los que presentan una densidad inferior a esta se clasifican como metales ligeros, el término metal traza pretende indicar la abundancia natural del mismo, en aquellos metales que se encuentran en la corteza terrestre en proporciones del 0.1 por ciento o menos (1000ppm) en peso se sitúan en esta categoría. Por los consumidores, o por la lluvia ácida que agrieta los suelos y pueden llegar por estas grietas los metales pesados a las aguas subterráneas o simplemente la lluvia ácida El término de metal pesado refiere a cualquier elemento

químico metálico que tenga una alta densidad y sea tóxico o venenoso en concentraciones bajas. Los ejemplos de metales pesados incluyen al mercurio (Hg), cadmio (Cd), arsénico (As), cromo (Cr), talio (Tl) y plomo (Pb).

La persistencia en el ambiente de los metales pesados presenta dificultades especiales, a diferencia de los contaminantes orgánicos, los metales no pueden degradarse ni biológica ni químicamente en la naturaleza, los compuestos que tienen metales pueden alterarse pero los metales indeseables aun permanecen, en algunos casos tales reacciones desembocan en forma tóxica, el mercurio es un ejemplo de ello (HIRT, L. M. 2002).

Uno de los resultados de su persistencia es la amplificación biológica de los metales en las cadenas tróficas como consecuencia de este proceso, los niveles de metales en los miembros superiores de la cadena pueden alcanzar valores muchas veces superiores a los que se encuentran en el aire o en agua, ello puede hacer que muchas plantas o animales lleguen a constituir un peligro para la salud al usarse como alimento, los seres humanos presentan una tendencia a acumular metales como lo muestra la prolongada vida media de algunos de ellos en el cuerpo, 1460 días para el plomo, 200 días para cadmio, 70 para mercurio, 933 para cinc, 616 para cromo, 667 para níquel, 800 para hierro, 320 para titanio y 450 para circonio, entre otros (Balfour, H. 1991).

Uno de los peligros más severos en la acuicultura es el envenenamiento de los peces por compuestos químicos tóxicos que de alguna forma encuentran su entrada a los estanques y matan a los peces y/o a su alimento natural. Su efecto se debe tomar en cuenta cuando se utilizan aguas de desecho en un estanque, y establecer un adecuado sistema de monitoreo para detectar su presencia.

Otras clases de tóxicos que pueden causar daños considerables en la acuicultura, pero que no están bajo el control del piscicultor son los plaguicidas y herbicidas agrícolas. Algunos de éstos extremadamente tóxicos para los peces y pueden causar la mortalidad a concentraciones muy bajas. Según Henderson y colaboradores (1959), los hidrocarburos clorinados (excepto el BHC (Lindano). Pueden matar a los peces a concentraciones tan bajas como 0.6 ppb. (Endrin sobre la agalla azul), que es igual a la aplicación de 6 g de ingrediente activo a una ha de un estanque a 1 m de profundidad los plaguicidas y herbicidas agrícolas por lo común se vierten desde el aire y con frecuencia, cuando se rocían sin cuidado sobre los sembradíos traen consecuencias adicionales son los efectos posibles de

Concentraciones subletales de compuestos químicos sobre el crecimiento y la producción de peces, así como la acumulación de residuos orgánicos en la carne de los peces. La toxicidad de los herbicidas y de los plaguicidas en general diferirá según la especie y las tallas de los peces, así como la temperatura y las composiciones del agua (por ejemplo, agua dura y blanda). En algunos casos se puede desarrollar resistencia a los compuestos químicos si los peces se exponen a concentraciones subletales durante algún tiempo. La reacción de los peces a la mayoría de los tóxicos es similar, el tiempo de reacción puede variar con las diferentes concentraciones, compuestos químicos y especies.

A elevadas concentraciones, los primeros efectos visibles ocurren después de 10 a 60 minutos. Al principio, los peces muestran un breve período de alta excitabilidad, seguido de períodos alternos de espasmos musculares, y después, una pérdida completa del equilibrio, por lo que dan vueltas sobre su eje más largo. En la práctica, no se puede hacer mucho para salvar a estos peces. En acuarios y tanques, reemplazar el agua contaminada puede salvar a los peces, pero esto no puede hacerse lo suficientemente rápido en los estanques (Balfour, H. 1991).

### **1.2.1 Cadmio (Cd)**

#### **Usos**

Los usos se dan principalmente en recubrimiento de electro depositados de metales, aleaciones de sostén y bajo punto de apoyo, aleaciones de bronce soldadura, sistema contra incendios, baterías de Níquel-Cadmio, cable para transmisión de energía eléctrica, fósforo para tele, base de pigmentos utilizados en esmaltes de cerámica, esmaltes de maquinaria, esmaltes de levaduras, pilas patrón Weston, control de fisión atómica en reactores nucleares, fungicidas, fotografías y litografía, rectificadores de Selenio electrodos para lámparas de vapor de Cadmio y células fotoeléctricas (Mondragón, D. L. 1989).

#### **Efectos en la salud**

La ingesta por los humanos tiene lugar mayormente a través de la comida, los alimentos que son ricos en Cadmio y que pueden en gran medida incrementar la concentración del mismo en humanos, son patés, champiñones, mariscos, mejillones, cacao y algas secas.

Una exposición a niveles significativamente altas ocurren cuando la gente fuma el humo del tabaco transporta el Cadmio a los pulmones, la sangre transportará a este al resto del cuerpo donde puede incrementar los efectos por potenciación que está ya presente por comer comida rico en Cadmio. En ríos, puede estar altamente concentrado en el fondo, sedimentado o suspendido en partículas, (Martínez, C. A. 2000).

El metal primero es transportado hacia el hígado por la sangre, allí es unido a proteínas para formar complejos que son transportados hacia los riñones, el metal se acumula en los riñones, donde causa un daño en el mecanismo de filtración. Esto causa la excreción de proteínas esenciales y azúcares del cuerpo y el consecuente daño de los riñones, lleva bastante tiempo antes de que el mismo que ha sido acumulado en los riñones sea excretado del cuerpo humano.

Otros efectos sobre la salud que pueden ser causados son:

- a) Diarreas, dolor de estómago y vómitos severos
- b) Fractura de huesos
- c) Fallo en la reproducción y posibilidad incluso de infertilidad
- d) Daño al sistema nervioso central
- e) Daño al sistema inmune
- f) Desordenes psicológicos
- g) Posible daño en el ADN o desarrollo de cáncer

### **1.2.2 Cromo (Cr)**

#### **Usos**

Elemento de aleación y galvanizado en metales y sustratos, plásticos para resistencia a la corrosión, acero al cromo y acero inoxidable, recubrimientos, protectores para automóviles y accesorios, investigación nuclear y de alta temperatura, resulta tóxico por inhalación del polvo, tolerancia 11 mg. Por metro cúbico al aire.

#### **Efectos en la salud**

El ser humano puede estar expuesto al metal a través de respirarlo, ingerirlo o beberlo y a través del contacto con la piel con los compuestos de Cromo, el nivel en el aire y el agua es generalmente bajo, así como en el agua de pozo. El cromo

puede encontrarse en los suministros de agua tanto en estado trivalente; que rara vez se encuentra en agua potable; como hexavalente; la forma más predominante en agua potable, (APHA AWWA WPCF, 1996).

El Cromo (VI) es un peligro para la salud de los humanos, mayoritariamente para la gente que trabaja en la industria del acero y textil, la gente que fuma tabaco también puede tener un alto grado de exposición al Cromo. El Cromo (VI) es conocido porque es un compuesto en los productos de la piel, puede causar reacciones alérgicas, como es erupciones cutáneas. Después de ser respirado el Cromo (VI) puede causar irritación y sangrado de la nariz. Otros problemas de salud que son causados por el Cromo (VI) son:

- a) Erupciones cutáneas
- b) Malestar de estómago y úlceras
- c) Problemas respiratorios
- d) Debilitamiento del sistema inmune
- e) Daño en los riñones e hígado
- f) Alteración del material genético
- g) Cáncer de pulmón
- h) Muerte (Hawley, G. G. 1993)

### **1.2.3 Hierro (Fe)**

#### **Usos**

Aceros de varios tipos, productos de polvo metalúrgico, conductores de alta frecuencia, piezas de automóviles, catalizadores.

#### **Efectos en la salud**

El metal puede ser encontrado en carne, productos integrales, patatas y vegetales, el cuerpo humano absorbe Hierro de animales más rápido que el Hierro de las plantas, es una parte esencial de la hemoglobina: el agente colorante rojo de la sangre que transporta el oxígeno a través de nuestros cuerpos.

Puede provocar conjuntivitis, corioretinitis, y retinitis si contacta con los tejidos y permanece en ellos.

La inhalación crónica de concentraciones excesivas de vapores o polvos de óxido de hierro puede resultar en el desarrollo de una neumoconiosis benigna, la inhalación

de concentraciones excesivas de óxido de hierro puede incrementar el riesgo de desarrollar cáncer de pulmón en trabajadores expuestos a carcinógenos pulmonares. LD50 (oral, rata) =30 gm/Kg. (LD50: Dosis Letal 50. Dosis individual de una sustancia que provoca la muerte del 50% de la población animal debido a la exposición a la sustancia por cualquier vía distinta a la inhalación, normalmente expresada como miligramos o gramos de material por kilogramo de peso del animal (Hawley, G. G. 1993)

#### **1.2.4 Níquel (Ni)**

##### **Usos**

Aleaciones (acero de baja aleación, acero inoxidable, cobre y latón, imanes permanentes, aleaciones de resistencia eléctrica) revestimientos, protectores de galvanoplastia, revestimiento electro depositados, catalizadores, acumuladores de almacenaje alcalino, electrodos de pila combustibles, cerámica, hidrogenación de aceites vegetales. Es inflamable y tóxico como polvo, tolerancia 1 mg por metro cúbico de aire (metal y compuestos solubles).

##### **Efectos en la salud**

Este es un elemento que ocurre en el ambiente sólo en muy pequeños niveles, este puede ser encontrado en productos metálicos comunes como es la joyería, los alimentos naturalmente contienen pequeñas cantidades el chocolate y las grasas son conocidos por contener altas cantidades (Horng, C. L. 2002). Es conocido que las plantas acumulan este metal y como resultado la toma del mismo por los vegetales será eminente. Los fumadores tienen un alto grado de exposición a través de sus pulmones. Finalmente, este puede ser encontrado en detergentes.

El contacto de la piel con suelo contaminado o agua puede también resultar en una exposición en pequeñas cantidades, es esencial, pero cuando es tomado en muy altas cantidades puede ser peligroso para la salud humana, la ingesta de altas cantidades del metal tienen las siguientes consecuencias:

- a) Elevadas probabilidades de desarrollar cáncer de pulmón, nariz, laringe y próstata.
- b) Enfermedades y mareos después de la exposición al gas de níquel.
- c) Embolia de pulmón.

- d) Fallos respiratorios.
- e) Defectos de nacimiento.
- f) Asma y bronquitis crónica.
- g) Reacciones alérgicas como son erupciones cutáneas.
- h) Desordenes del corazón (Hawley, G. G. 1993; Castro, G. R. V. 1993).

### **1.2.5 Plomo (Pb)**

#### **Usos**

Batería de acumuladores, tetraetilo de plomo (aditivo de gasolina) protector de radiación, cubierta de cables, municiones, láminas y tuberías, aleaciones para soldadura y fusibles, amortiguador de vibración en construcciones pesadas, cinta metálica, base de pintura, numerosas aleaciones, aleaciones para soldadura y fusibles, amortiguador de vibración en construcciones pesadas, cinta metálica, base de pintura, numerosas aleaciones, tipos metálicos para imprenta.

#### **Efectos en la salud**

Las regulaciones de la FDA exigen cero contenido de plomo en los alimentos. Es uno de los cuatro metales que tienen un mayor efecto dañino sobre la salud humana, este puede entrar en el organismo a través de la comida (65%), agua (20%) y aire (15%), las comidas como fruta, vegetales, carnes, granos, mariscos, refrescos y vino pueden contener cantidades significantes, el humo de los cigarrillos también contiene pequeñas cantidades.

El plomo puede ser de origen industrial, minero y de descargas de hornos de fundición ó de cañerías viejas. Las aguas de grifo blandas y ácidas y que no reciben un tratamiento adecuado contienen plomo como resultado del ataque a las tuberías de servicio (APHA AWWA WPCF, 1996). El metal puede entrar en el agua potable a través de la corrosión de las tuberías esto es más común que ocurra cuando el agua es ligeramente ácida, este metal no cumple ninguna función esencial en el cuerpo humano, puede causar varios efectos no deseados, como son:

- a) Perturbación de la biosíntesis de hemoglobina y anemia
- b) Incremento de la presión sanguínea
- c) Daño a los riñones
- d) Abortos
- e) Perturbación del sistema nervioso

- f) Daño al cerebro
- g) Disminución de la fertilidad del hombre a través del daño en el esperma
- h) Disminución de las habilidades de aprendizaje de los niños
- i) Perturbación en el comportamiento de los niños (agresión, comportamiento impulsivo e hipersensibilidad).

El plomo puede entrar en el feto a través de la placenta de la madre debido a esto puede causar serios daños al sistema nervioso y al cerebro de los niños por nacer (Hawley, G. G. 1993).

Sólo los compuestos orgánicos del plomo se absorben principalmente por el intestino delgado y en grado menor por el colon, en el estómago la absorción es nula (Ramos, L. D. 1994).

Las fuentes de contaminación por plomo son múltiples e incluyen a las fundidoras, las fábricas de baterías, algunas pinturas, la loza de barro vidriado cocida a baja temperatura y las gasolinas con tetraetilo de plomo (que se dejaron de usar en México en 1997). En nueve sistemas de clasificación de riesgo citados por el Fondo para la Defensa Ambiental o Environmental Defense Fund<sup>15</sup> el plomo aparece como un material que es más peligroso que la mayoría de los productos químicos. Se le considera dentro del 10% de los materiales más peligrosos para la salud humana (Valdés, D. M. 1999).

El Plomo, al igual que otros metales pesados, tiene una fuerte afinidad por los grupos sulfhidrilo (-SH), (aminoácidos cistina y cisteína), que también son importantes grupos funcionales en diferentes enzimas. Interfieren en la biosíntesis del grupo HEMO (constituyentes de la hemoglobina), donde se realiza principalmente a nivel de la enzima Ala-D-dehidrasa (alfa amino levulínico dehidrasa) (Flores, P. L. 1987).

### **1.3 Distribución y niveles de metales pesados en peces.**

Los peces viven en un medio con el que interaccionan en forma constante, se alimentan, crecen y se reproducen en el. Toda su estructura y fisiología ha evolucionado para el desarrollo en ese hábitat, cuando se estudian peces que provienen de aguas contaminadas (ríos, lagos, mares y/o establecimientos acuicultores) se evidencian patologías secundarias a esa situación, mientras los



bioindicadores que se analicen revelan alteraciones sustanciales. Las especies afectadas pueden sufrir mortandades significativas (Romano, L. A. 1999).

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 (Spuch, A. 2004).

Entre los cultivos más importantes a nivel mundial se encuentran la carpa común, de acuerdo con la FAO (1978) el incremento de la producción fue de 310 000 toneladas para 1977. La carpa común parece ser originaria de Asia Central y haberse difundido tanto al este de China como al noroeste de Europa. Al parecer, fue domesticada independientemente en China milenios antes, y en Europa probablemente durante la era romana. Como resultado, se conocen muchas variedades de carpa en el mundo. Los metales pesados el cinc y el hierro son esenciales para el metabolismo de los peces, mientras que algunos otros tales como mercurio, cadmio y plomo no tienen ningún papel sabido en sistemas biológicos. Para el metabolismo normal de los peces, los metales esenciales se deben tomar del agua, del alimento o del sedimento. Sin embargo, similar a la ruta de metales esenciales, los no esenciales también son ingeridos por los peces y lo acumulan en sus tejidos (Canli, M. 2003).

Los metales pesados disueltos en las aguas, producen en los peces sofocamiento debido a los precipitados o coagulados de muco proteínas sobre el epitelio branquial constituyendo un bloqueo del intercambio de gases y de la excreción de productos de desecho (Jones, J. R. E. 1971).

La concentración de metales en agua superficial contribuye a la acumulación de metales en branquias y riñón de peces, las branquias se exponen a metales a través del agua ya que están constantemente en contacto directo, los riñones están expuestos a los metales del agua porque la sangre fluye desde las branquias a la arteria carótida, que aporta sangre al riñón (Farell, A. R. 1993). En general, el orden de acumulación de metales pesados en la red trófica es como sigue: capa biológica>sedimentos>invertebrados>peces (Deacon, L. 1999). Aunque las concentraciones absolutas de metales están más elevadas en la capa biológica y sedimentos, se ha cuestionado que los metales se biomagnifiquen en peces, los datos de un estudio realizado por (Farg, A. D. 1998) demuestran que los metales son biodisponibles y que aunque no se biomagnifiquen a través de niveles tróficos, sí se bioacumulan a concentraciones que causen efectos fisiológicos en peces.

Los metales pesados pueden entrar en los peces por tres posibles vías: a través de las branquias, considerada como la vía más directa; a través de la ingestión de comida y por último y con una importancia menor, a través de la superficie corporal (Amundsen, R. L. 1997).

Los diferentes metales pesados tienen órganos más afines que otros a la hora de acumularse y la mayoría de los autores coinciden en resultados parecidos de patrones de acumulación (Cambero, J. 2002).

La ingestión de Pb por los peces alcanza el equilibrio sólo después de varias semanas de exposición. Cuando el Pb se acumula, mayormente lo hace en branquias, hígado, riñón y huesos. Los huevos de los peces muestran niveles mayores cuando se incrementa la concentración de la exposición, existiendo indicaciones de que el Pb se presenta en la superficie de los huevos, pero no se acumula en el embrión (Cousillas, A. 2000).

#### **1.4 Toxicidad de metales pesados en los peces**

Se podría establecer tres umbrales críticos para el contenido de metales: un primer umbral, a nivel de trazas, donde los metales esenciales juegan su papel de activadores enzimáticos indispensables en el metabolismo; un segundo umbral, que determina una absorción pasiva, donde los metales van acumulándose en ciertos órganos; y un tercer umbral, incompatible con los fenómenos vitales, que desencadena procesos de defensa que tienden a disminuir la permeabilidad y el paso de estos metales a través de las membranas celulares (Labat, *et al.* 1974). El segundo y tercer umbral han dado pie a numerosos estudios para dilucidar por un lado los efectos subletales y toxicidad crónica que se derivan de bajas acumulaciones y, cuando la concentración de metales es más elevada, es necesario realizar estudios de toxicidad aguda, la toxicidad de los metales pesados está muy influida por las condiciones las especies elegidas.

Principalmente, los efectos tóxicos de los metales pesados en peces son asfixia debida a coagulación de mucus sobre las branquias, lesión directa sobre las branquias, acumulación de metales en tejidos internos y lesiones intensas sobre estos tejidos (Anadon, *et al.* 1984).

Desde hace mucho tiempo se sabe que el plomo es venenoso, tiene efectos tóxicos para las plantas, el plancton y demás organismos acuáticos, los compuestos de

plomo en los peces les originan la formación de una película coagulante y les provoca alteraciones hematológicas.

No es conocido que el Cromo se acumule en los peces, pero a elevadas concentraciones de este metal, debido a la disponibilidad de metales en las aguas superficiales, pueden dañar las agallas de los peces.

El Cd afecta a varios sistemas enzimáticos de los peces, como los involucrados en la neurotransmisión, transporte transepitelial, metabolismo intermediario, actividad antioxidante y oxidasas de función mixta, también se han visto deformidades en el esqueleto a exposiciones de bajo nivel (Anadon, *et al.* 1984).

Principalmente, los efectos tóxicos de los metales pesados en peces son asfixia debida a coagulación de mucus sobre las branquias, lesión directa sobre las branquias, acumulación de metales en tejidos internos y lesiones intensas sobre estos tejidos (Anadon et al. 1984).

Desde hace mucho tiempo se sabe que el plomo es venenoso, tiene efectos tóxicos para las plantas, el plancton y demás organismos acuáticos, los compuestos de plomo en los peces les originan la formación de una película coagulante y les provoca alteraciones hematológicas.

No es conocido que el Cromo se acumule en los peces, pero a elevadas concentraciones de este metal, debido a la disponibilidad de metales en las aguas superficiales, pueden dañar las agallas de los peces.

En peces, el Cd afecta a varios sistemas enzimáticos, como los involucrados en la neurotransmisión, transporte transepitelial, metabolismo intermediario, actividad antioxidante y oxidasas de función mixta, también se han visto deformidades en el esqueleto a exposiciones de bajo nivel (Anadon, et al. 1984).

### **1.5 Generalidades sobre anatomía y fisiología de los peces**

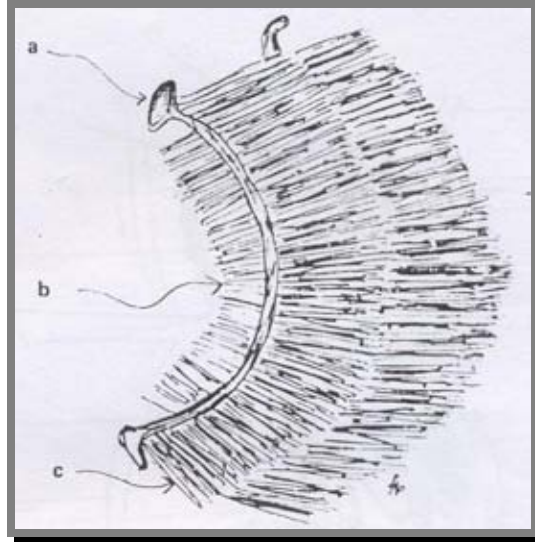
El sistema muscular de los peces es mucho más simple que el de los vertebrados, se distinguen básicamente 4 cuadrantes musculares, 2 dorsales y 2 ventrales, divididos por un diafragma horizontal que se adhiere medialmente a la columna vertebral y lateralmente a la dermis de la piel, los dos cuadrantes laterodorsales forman la musculatura epiaxial, y los lateroventrales la musculatura hipoxial, estos grupos musculares dependen de dos diversos centros nerviosos motores y permiten movimientos laterales y horizontales, toda la musculatura se divide en numerosos

segmentos llamados miómeros y mioseptos, separados entre si por una membrana de tejido conectivo muy sutil, la musculatura que constituye la parte comestible del animal presenta hasta 60% del peso total y ésta muy desarrollada en la región caudal, las fibras son estriadas y en su mayor parte blancas, los músculos de los peces tienen poca irrigación lo que lo hace capaces de desarrollar esfuerzos potentes pero breves.

La cantidad de grasa acumulada dentro de las fibras musculares y entre éstas es una característica de especie, la escasez de tejido conectivo 3% es la causa de que la carne de pescado sea más suave que la de los mamíferos (Pérez, S. 1982).

El hígado en los peces puede tener forma compacta o bien lobulada, el hígado también sirve como un órgano de almacenamiento de grasas y carbohidratos. Más tarde desempeña importantes funciones en la destrucción de las células de la sangre y la bioquímica sanguínea, y en otras funciones metabólicas como la producción de urea y compuestos relacionados con la excreción del nitrógeno (Lagler, K. 1984). El hígado se presenta como un órgano simple en la mayoría de los peces teleósteos, sin embargo, en algunas especies, como en la carpa (*Cyprinus carpio*), está compuesto además por tejido pancreático, constituyendo el "hepatopáncreas" (Hibiya, T. 1982).

En los peces el aparato respiratorio está constituido por las branquias, las cuales se alojan en las cavidades branquiales que se encuentran protegidas por los opérculos, los cambios respiratorios se llevan a cabo en las laminillas branquiales ver Fig. 1 las cuales están irrigadas de sangre, sus lagunas sanguíneas quedan separadas del agua que contiene el oxígeno por un epitelio respiratorio no estratificado, las respiraciones son más frecuentes en los peces pequeños que en los grandes y varía con la especie.



**Fig. 1 Branquia de pez óseo.**

- a. arco branquial
- b. branquioespina
- c. láminas respiratorias (Pérez, S. 1982).

Sobre el margen interno de los arcos branquiales se encuentra una serie de apéndices óseos o cartilagosos muy sutiles llamados branquioespinas que impiden a los restos de alimento pasar de la faringe a las cavidades branquiales (Pérez, S. 1982). La vejiga natatoria se origina en la pared dorsal del intestino faríngeo, al cual permanece unida mediante el conducto neumático que esta abierto en los peces fisóstomos y cerrados en los fisoclisteos, es un saco membranoso colocado entre la columna vertebra y el sistema digestivo; contiene una mezcla de gases ( $O_2$ ,  $N$ ,  $CO_2$ ) que son producidos por los llamados cuerpos rojos. Esta mezcla de gases puede ser resorbida por otras formaciones llamados cuerpos ovales, o bien eliminarse a través del conducto neumático, la vejiga natatoria tiene varias funciones: a) hidrostática, dilatándose cuando el animal asciende, y comprimiéndose cuando desciende, b) regula el peso específico del animal, haciéndolo similar al del estrato del agua donde vive, c) en los ciprínidos parece que tiene cierta capacidad sensitiva, d) en otras familias se les atribuye cierta producción de sonidos.

Los peces normalmente tienen sexos separados gónadas pares y fecundación externa, el macho privado de órgano copulador, eyacula en el agua inmediatamente

después de la emisión de los óvulos por parte de la hembra, se presentan casos de hermafroditismo y de inversión sexual con la edad, la fecundación puede ser interna y vivípara. Los testículos son órganos alargados de estructura compleja y de color blanco cremoso se encuentran situados a lo largo de la cavidad visceral por delante y lateralmente de los riñones y debajo de la columna vertebral, termina el conducto espermático y a su vez desemboca en el poro genital, los ovarios son sacciformes, de estructura folicular y situados en posición similar a los testículos, son de color naranja. Los óvulos maduros pasan a través de un corto oviducto antes de ser expulsados por el orificio genital (Pérez, S. 1982).

### **1.5.1 Características generales de la carpa *Cyprinus carpio*.**

Es la especie con más historia en la acuicultura en México, se encuentra ampliamente distribuida en el territorio nacional dada su gran adaptabilidad y capacidad reproductiva. El éxito de su cultivo se debe a que esta especie se adapta fácilmente a las diversas condiciones de los cuerpos de agua, ya que soportan bajas concentraciones de oxígeno, temperatura, además de su poca exigencia alimenticia que le confiere al productor un manejo adecuado y sencillo. A continuación se describe la taxonomía de la especie.

**Reino:** Animalia  
**Subreino:** Metazoos  
**Phylum:** Chordata  
**Subphylum:** Vertebrados  
**Clase:** Ciprinidae  
**Orden:** Ciprino dontiforme  
**Familia:** Cyprinidae  
**Género:** Cyprinus  
**Especie:** *Cyprinus Carpio*

La carpa común es una especie fácilmente adaptable a diversas condiciones ambientales, es conocido que este tipo de pez prefiere condiciones de abundancia de sedimentos por su tipo de alimentación (Aceves, S. C. 2003; Bocek, A. 2007)

La carpa común se alimenta de materia vegetal y animal. Cuando se producen alimentos naturales en el estanque, la carpa joven consume principalmente protozoarios y zooplancton, como los copépodos, cladóceros y zooplancton de mayor tamaño. Sin embargo, cuando la carpa común mide cerca de 10 cm. de largo, se empieza a alimentar de fauna del fondo. Se entierra en el lodo extrae larvas de insectos, gusanos, moluscos, etc. Los organismos preferidos por esta carpa son las larvas de quironómidos (Busto, V. Z. G. 2000; González, Y. J. 2002).

### **1.5.2 Distribución de la carpa *Cyprinus carpio***

Es una especie originaria de Asia, de cuerpos de aguas estancadas o lentas de las regiones templadas, en los siglos XI y XII fue introducida en Europa. Alrededor del año 1831 los inmigrantes llegados a EUA la introdujeron en el río Hudson. En muchos lugares donde ha sido introducida se considera una amenaza para el ecosistema debido a su predilección por el sustrato vegetal de los fondos poco profundos, que sirve de alimento a numerosas especies animales. En nuestro país las referencias de introducción de la especie para acuicultura datan de la década de 1960 proveniente de Brasil.

### **1.5.3 Ciclo reproductivo de *Cyprinus carpio***

La carpa común desova rápidamente en cautiverio cuando se mantiene en los estanques. La estación de desove varía según el clima. La carpa desova durante todo el año en climas tropicales, acentuándose de enero a abril. En regiones más frías, el desove se vuelve mucho más de temporada (Balfour, H. 1991).

En las carpas adultas, el ciclo de reproducción comienza en las gónadas, los ovarios de las hembras y los testículos de los machos con el desarrollo productos sexuales: huevos y espermatozoides.

En el momento del desove los huevos son fertilizados y se adhieren a la vegetación acuática, se desarrollan luego hasta que eclosionan las larvas de carpa, a los pocos días las larvas se empiezan a alimentarse y pasan a la fase de prealevines, durante el desarrollo y crecimiento posterior en nuevos ambientes atraviesan sucesivamente la fase de alevín, jaramugo y adulto (FAO, 1986), como se muestra en la Fig. 2.

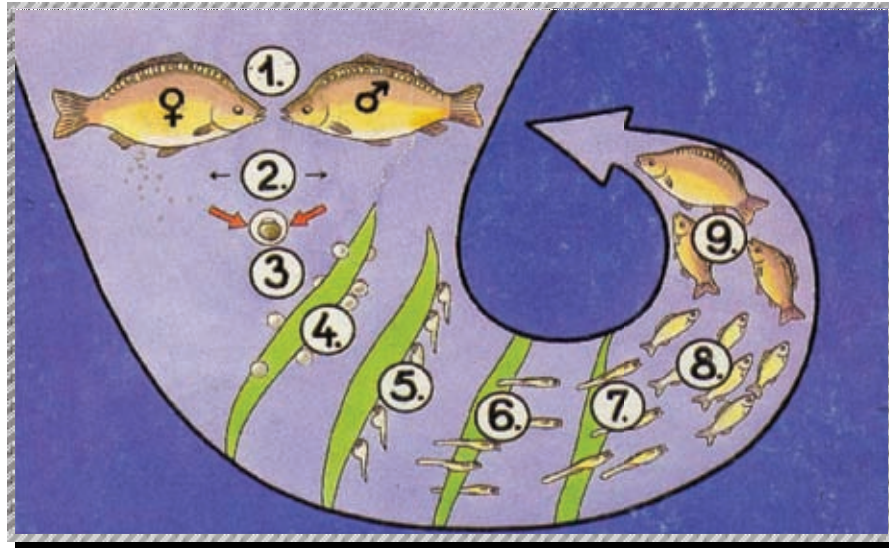


Fig. 2 Ciclo de reproducción de la carpa (FAO, 1986)

Según el clima las carpas pueden desovar una o varias veces al año, en las regiones templadas la puesta tiene lugar una vez al año, al final de la primavera, a principios de verano empiezan a desarrollarse nuevos huevos y para el otoño se encuentran ya en los ovarios huevos en fase de reposo, en la que permanecen durante el invierno y principios de la primavera, hasta que las condiciones ambientales sean adecuadas para el desove (Fig. 2).

En las regiones tropicales las carpas pueden desovar varias veces al año. La elevada temperatura del agua acelera el desarrollo de nuevos huevos después de cada puesta, los cuales pueden llegar a la fase de reposo cuando aun perduran condiciones adecuadas para el desove, un proceso análogo puede repetirse tres o cuatro veces al año (FAO, 1986).

Se puede decir que la reproducción natural de las carpas maduras está regulada esencialmente por dos tipos de factores ambientales que son los básicos y los estimulantes (Fig.3).

Los factores básicos son:

1. La temperatura del agua debe estar comprendida preferentemente entre los 18 y 24 °C.
2. El contenido de oxígeno disuelto, debe ser del orden de 5 a 10 mg L<sup>-1</sup>.
3. La luz debe ser igual a la luminosidad existente al salir el sol.



Los factores estimulantes son:

1. Algunas condiciones atmosféricas, como presión estable.
2. La presencia de machos.
3. La existencia de vegetación herbácea.
- 4.

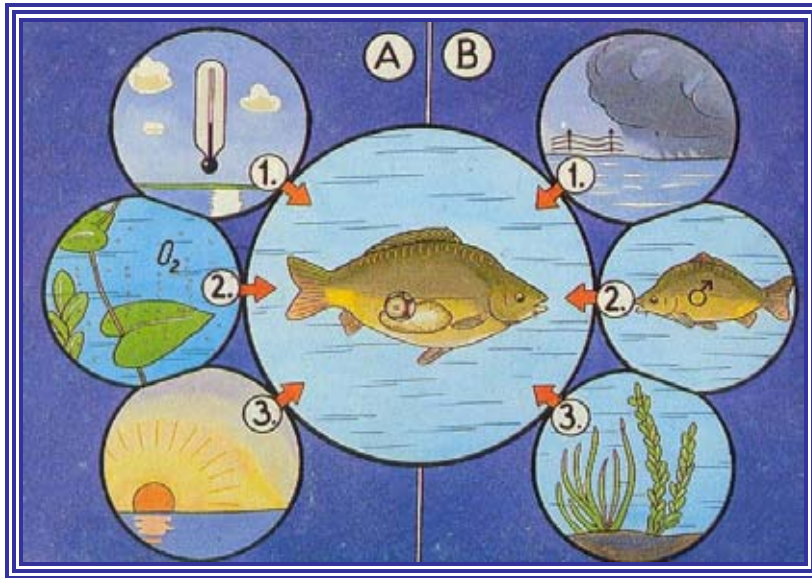


Fig. 3 Factores que afectan la reproducción de la carpa (FAO, 1986)

#### 1.5.4 Diferencias externas entre las carpas macho y las carpas hembra.

Las hembras se pueden distinguir de los machos fácilmente por la forma del cuerpo y la posición relativa de la papila genital, en las hembras el cuerpo es rollizo y el orificio genital está situado por encima de la papila genital, como se muestra en la figura 4 y en los machos el cuerpo es delgado y el orificio genital se halla detrás de la papila genital (FAO, 1986).

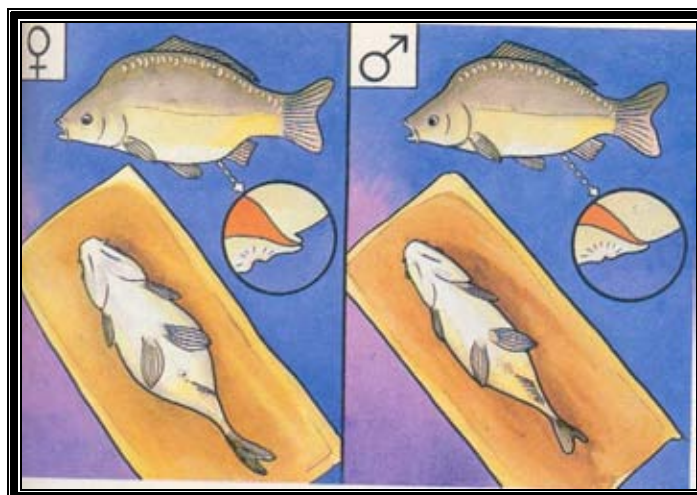


Fig. 4. Carpa hembra Carpa macho (FAO, 1986)

Para comprobar si una carpa ha llegado a la madurez (presencia de huevos en reposo o esperma) es preciso examinar atentamente el abdomen y la papila genital. En las hembras maduras el abdomen aparece hinchado y blando o semiblando, la paila genital es protuberante y de color rojizo y la apertura anal esta hinchada y sobre sale. En los machos maduros soltaran semen si se oprime ligeramente el abdomen, el estomago no aparece hinchado, sino mas bien delgado, a veces presenta callosidades en la cabeza (FAO, 1986).

#### 1.6 Características generales del acocil *Cambarellus montezumae*.

Acocil *Cambarellus montezumae*, es una especie que presenta ventajas, pues resiste variaciones extremas diarias en cuanto a temperatura y sequías periódicas, se encuentra en charcos y embalses pequeños, por lo que no requiere de instalaciones costosas ni requiere artes de pesca sofisticadas o mano de obra especializada para su cultivo y su régimen alimenticio es omnívoro. Forma parte importante de la comunidad léntica pues constituye el alimento de numerosas especies: peces y aves entre otras, que son aprovechadas por el hombre y es estimado como alimento en la región (Rodríguez, S. M. 2002).

Los acociles son omnívoros, con tendencia carnívora o herbívora, según las circunstancias de las distintas especies. Sus hábitos alimenticios politróficos los convierten en transformadores clave de la energía dentro de los diversos niveles tróficos de los ecosistemas dulceacuícolas, siendo reguladores de la producción

bentónica. Ha señalado que la mayor parte de la dieta de estos animales consiste en detritus enriquecido microbiológicamente.

Los acociles son invertebrados que dominan el macrobentos de diferentes latitudes del mundo. Existen alrededor de 500 especies divididas en tres familias: Astacidae, Cambaridae y Parastacidae, dentro de las cuales géneros como *Astacus*, *Austropotamobius*, *Cherax*, *Euastacus*, *Orconectes*, *Pacifastacus* y *Procambarus*, son los que tienen una importancia comercial y recreativa. En México, se han descrito más de 50 especies de acocil, de las cuales 10 especies pertenecen al género *Cambarellus*. Los Cambarinos son crustáceos decápodos de agua dulce que habitan gran parte de los arroyos y depósitos lacustre de Guatemala, México, Cuba y E.U. Estos organismos se localizan en cuerpos de agua donde la vegetación sumergida está representada entre otras especies por *Myriophyllum* y *Egeria*. *Cambarellus montezumae* (Saussure) es una especie endémica de México y se localiza en todo el Valle de México, ocupando residuos lacustres del enorme depósito de agua que cubrió una gran superficie de ella (Cervera, L. J. 2006).

En México, se han descrito más de 50 especies de acocil, de las cuales 10 especies pertenecen al género *Cambarellus*.

La especie *Cambarellus montezumae* pertenece a la familia Cambaridae caracterizada por un dimorfismo cíclico en los machos, esta familia colonizó las aguas dulces de Norteamérica con dos subfamilias: Cambarellinae y Cambarinae y una tercera al Noreste de Asia a principios de la era cenozoica

Como consecuencia se produjo una radiación adaptativa. La subfamilia Cambarellinae con 17 especies agrupadas en un solo género muestra una distribución discontinua, la mayoría en la vertiente del Golfo y al sur del Río Bravo.

El sistema nervioso del acocil consiste de una cadena de 13 ganglios de los cuales el supraesofágico (cerebroide) en su porción protocerebro está conectado con los fotorreceptores retinales. La actividad motora del acocil tiene sincronización con ritmo circadiano lo cual ha sido registrado en la actividad motora de los quelípedos (Del Valle, R. R. 2004; Bortolini, R. J. 2004).

En los acociles del género *Procambarus* se ha abierto la posibilidad de lograr dicho desacoplamiento en los ritmos circadianos de la actividad motriz de sus quelípedos, mediante la lesión, a través de la aplicación de radiación gamma, de uno de los hemiganglios del protocerebro. Por lo que fue necesario establecer previamente el mapa histológico y de resonancia magnética de la región distal de su cefalotórax, a

fin de poder ubicar el sitio donde se va a aplicar la radiación. (Del valle, R. S. A. 2004; Yankelevich, G. N. 2003).

Ante condiciones de estrés luminoso el acocil es capaz de adaptarse, deprimiendo el metabolismo y adoptando una conducta similar a la estivación. Aunque pareciera evidente un efecto inhibitorio de la luz sobre los mecanismos ventilatorios de este animal (Farca, L. A. 1995; Romcampero, M. 1995).

En los crustáceos se ha demostrado una movilización rápida de la reserva de carbohidratos produce hiperglucemia que coincide con la etapa de mayor actividad de los animales, se encontró que los niveles de glucosa en la hemolinfa de los crustáceos presenta variaciones de acuerdo al estado fisiológico de estos, a la etapa reproductiva, de la época de muda, de la estación del año y de la hora del día (Benítez, H. A. 1993; Vázquez, L. B. 1998).

**Reino:** Animalia

**Phylum:** Arthropoda

**Clase:** Crustácea

**Subclase:** Malacostraca

**Superorden:** Eucarida

**Orden:** Decapada

**Suborden:** Astacidea

**Superfamilia:** Astacoidea

**Familia:** Cambaridae

**Subfamilia:** Cambarellinae

**Género:** Cambarellus

**Especie:** *Cambarellus moctezumae* Saus

**Subespecie:** *Cambarellus moctezumae lermensi*

De acuerdo con Villalobos, 1955, los caracteres diagnósticos del género *Cambarellus* son los siguientes:

El macho en fase reproductiva se caracteriza porque el primer pleópodo termina en tres partes, el proceso cefálico esta ausente, las estructuras terminales son espiniformes, truncadas, espatuladas o acanaladas. En el macho están presentes ganchos en los isquiopoditos del segundo y tercer par de pereiópodos. La talla máxima del adulto es de 5 cm. Los maxilípedos del tercer par tienen una fila de

dientes en el margen interno del isquiopodito. La sección *montezumae* se caracteriza porque el proceso mesial del primer pleópodo, en la primera forma del macho es acanalado. *Cambarellus montezumae*, *lermensis* (Villalobos, F. A. 1943) se caracteriza según el mismo autor de la siguiente manera: La areola es angosta, con puntuaciones dispersas y pliegues transversales en su superficie anterior. Los bordes postorbitales se encuentran paralelos y poseen dos procesos espiniformes. El rostro es una superficie plana, con bordes poco convergentes y casi rectos, el acumen es ancho en la base alcanzando la articulación distal del segundo artejo del pedúnculo antenular. Los ganchos no son bituberculados. Los pleópodos del primer par del macho forma 1 (reproductiva) alcanzan los coxopodios del tercer par, los procesos distales están dirigidos caudodistalmente, el proceso mesial es membranoso, acanalado y recurvado, la proyección central es muy ancha en la base. El annullus ventralis es de forma regular con el surco en la región distal. La hembra es ligeramente mayor, el rostro muy ancho, con bordes rostrales convergentes y convexos. Las espinas laterales se encuentran más juntas que en el macho. Las quelas son anchas, comprimidas y pubescentes, la porción dactilar más larga que la palmar y entre los quintos pereiópodos hay un tubérculo crestiforme (Moctezuma, M. A. 1996).

### **1.6.1 Distribución del acocil.**

El género *Cambarellus* presenta una distribución geográfica discontinua, ubicada en la cuenca del río Mississippi, la costa del Golfo de México y la cuenca del río Lerma (Thorp, J. A. C. 1991). En México, Villalobos (1955) menciona una ubicación en cuencas cerradas del Eje Neovolcánico que abarca desde Puebla hasta Jalisco, siendo probablemente *C. montezumala* especie de distribución más occidental entre los cambarinos mexicanos y relaciona las diversas formas con una antigua comunicación entre los ríos Tula y Lerma (Mapa 1). Es evidente que su área de distribución ha sufrido una merma considerable en los últimos cuarenta años, debido principalmente a la desecación de los lagos que ocuparon antaño los valles de México y Toluca y secundariamente a la contaminación del Alto Lerma (Moctezuma, M. A. 1996).

Los acociles de la familia Cambaridae se distribuyen únicamente de Canadá a Honduras y Cuba. Existen 356 especies descritas, 288 se distribuyen en los Estados

Unidos (81 %), 50 (14%) se distribuyen en México, nueve (2.5%) en Canadá, cuatro (1.1 %) en Cuba, tres (0.84%) en Guatemala, una (0.28%) en Belice y una (0.28%) en Honduras.

En México, Veracruz presenta la mayor diversidad, seguido por Puebla, Michoacán y San Luis Potosí. La gran mayoría de las especies se distribuyen en la porción Este del continente, con sólo algunas especies que han migrado a través de las Montañas Rocosas en Estados Unidos y la Sierra

Madre Occidental en México. Especies de acociles (Cambaridae) de los géneros *Cambarellus* y *Procambarus* han sido estudiadas extensamente debido a su valor comercial (Bousquets, L. 1996). Ver mapa 1.



Mapa 1 Distribución del genero *cambarellus montezumae* (acocil)  
En la República Mexicana. Modificado de Villalobos, 1955.

### 1.6.2 Ciclo biológico del acocil

El ciclo vital de los camarinos se caracteriza porque los machos presentan dos formas alternantes, el cambio de una a otra ocurre en los machos maduros durante las mudas semianuales. La forma sexualmente activa se presenta después de la

última muda juvenil. Esta forma más agresiva se distingue por crecimiento, endurecimiento y coloración de los primeros pleópodos. Los primeros quelípedos son grandes y los conductos espermáticos están llenos de espermátidas. Esta primera forma es más abundante durante la primavera (Hobbs, H. H. 1991), pero ambas se presentan durante todo el año (Rosas, M. M. 1976). La segunda forma es sexualmente inactiva, Hobbs (1991) describe un ciclo de vida general para los camarinos, donde los apareamientos ocurren en otoño y fines de invierno y aparecen hembras ovígeras entre marzo y junio, Rosas (1976) reporta para *C. m patzcuarensis* la presencia de hembras ovígeras todo el año a excepción de agosto y septiembre y con un máximo en junio y julio. Entre 10 y 30 días después de la cópula, ocurre la oviposición (Rosas, 1976) durante ésta, la hembra segrega una sustancia mucilaginosa de unas glándulas localizadas en el abdomen, A medida que los óvulos son liberados del poro genital, son fertilizados y se adhieren a los pleópodos mediante un corto "tallo", permaneciendo adheridos por 45 días, éstos son esféricos, miden entre 9000 y 1,100 micras y cambian su color del verde olivo al anaranjado hasta que eclosionan (Fig. 5). Estos óvulos son de tipo centrolécito y están recubiertos por tres membranas (Cantú, LL. 1959). En general las hembras de mayor tamaño llevan más huevos, pero esto varía también según la época del año. En los camarinos en general, se presentan pérdidas de huevos por diversas causas: falta de fertilización o de fijación, abrasión con el sustrato, depredación, corriente demasiado fuerte, escasez de alimento y exceso de hembras (Hobbs, H. H. 1991) y Rosas (1976) reportan para *C. montezumae patzcuarensis* la presencia de huevos 30 días después del apareamiento, la primera cría a los 75 días y la primera muda los 87 días, observando diez mudas sucesivas hasta los 208 días (Moctezuma, M. A. 1996).

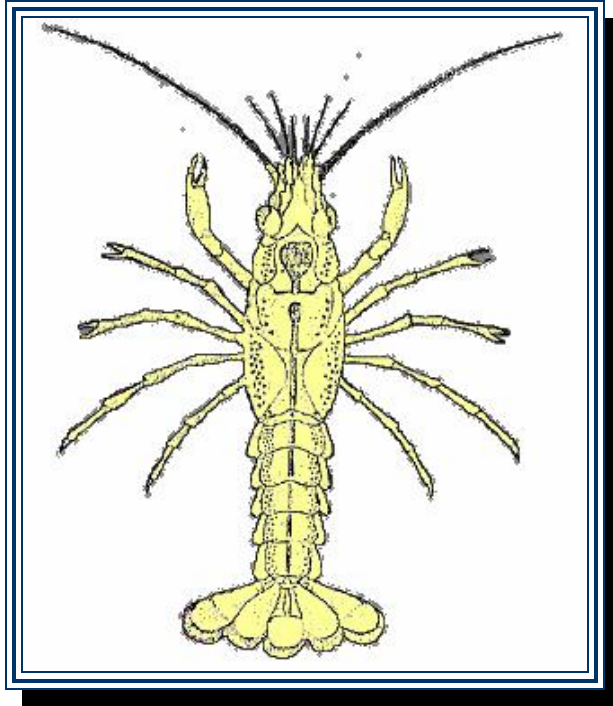


Fig. 5 Cría de acocil de 9 mm (Moctezuma, M. A. 1996)

### 1.6.3 Conducta reproductiva

En relación a la conducta reproductiva de *C. montezumae*, Espinoza (1992) refiere un cortejo bastante violento en el que a veces la hembra resulta muerta y devorada, eventualmente tiene lugar un apareamiento frontal, con la hembra debajo del macho. Rosas (1976) observó que una vez fecundada, la hembra permanece más tiempo en su refugio, aumentando la ventilación en función del contenido de oxígeno, posteriormente limpia los huevos con mayor frecuencia al aproximarse la eclosión y después de esta las crías regresan a refugiarse bajo el cuerpo de la hembra por unos diez días. En ausencia de datos para la especie sobre la conducta social de hembras ovígeras, como antecedente en una especie próxima (Holdrich, D. L. 1980) refiere mayor fecundidad en el astácido *Pacifastacus lenisculus* en hembras solitarias, así mismo la presencia de refugios disminuye el número de huevos por un exacerbamiento de la conducta territorial (Moctezuma, M. A. 1996).



#### 1.6.4 Conducta alimentaría

Rosas (1976) refiere la conducta depredadora describiendo una pequeña lucha con la presa, en la que el acocil emplea las pinzas del primer par de pereiópodos para sujetarla, también refiere el papel del aparato masticador y del molino gástrico así como conducta necrófaga. Fregoso (1993) observando ejemplares de *C. m. zempoalensis* menciona la participación de receptores químicos y mecánicos en la obtención del alimento (Moctezuma, M. A. 1996).

#### 1.6.5 Alimentación natural

Hobbs (1991) menciona que la familia Carnbaridae en general es de hábitos omnívoros, prefiriendo los jóvenes alimentarse de vegetales y detritus, pero los adultos manifiestan además una clara tendencia depredadora y que su adaptabilidad a diversas fuentes de alimento les permite mantener poblaciones densas, adaptándose a fluctuaciones en la disponibilidad de recursos alimenticios.

Por el contrario Holdrich, 1980 mencionan que los adultos tienden hacia una alimentación herbívora, aunque los microorganismos forman hasta un 50 % de la dieta de *Procambarus* claro jóvenes y puede ser de vital importancia durante la muda. Reynolds (1979) reporta una preferencia por las hojas de árbol en *Austropotanobius pallipes*, Mason (1975) encontró que las hojas de árbol constituyen hasta un 67 % del alimento de *Pacifmtacus lenisculus* y Momot (1978) señala que en el alimento de los cambarinos en general, los detritus constituyen entre 13 y 26 % de la dieta. En relación al género *Cambarellus*, Rosas (1976) observó que las crías de *C. montezumae* dependen del vítelo hasta los 10 días, de esta edad hasta alcanzar un tamaño de 18 mm encontró en el tracto digestivo: diatomeas, algas filamentosas, protozoarios, rotíferos y microcrustáceos. Para los adultos reporta la presencia de los mismos organismos en el molino gástrico a veces aún vivos, identificando ostrácodos *Cypria* sp., cladóceros *Bosmina* sp. y anfípodos *Gammarus* sp. Además de materia orgánica no identificada. Distingue una mayor frecuencia de microcrustáceos en ejemplares capturados en la raigambre de los lirios, mientras las algas filamentosas y los detritus son más comunes en los ejemplares de las orillas poco profundas. Guarneros y Arzuffi (1993b) identificaron en *C. m zennoalensis* 36 organismos diferentes predominando: diatomeas *Frustulia* y *Pinularia*, clorofitas

Ulotrix y Staurastrum y cianofitas Oscillatoria y Microcystis (Moctezuma, M. A. 1996).

#### **1.6.6 Alimentación artificial**

En estanquería rústica Rodríguez, S. M. (2002) obtuvieron mejores resultados con una dieta de papa y charal y otra dieta de haba, cebada y charal que con la dieta testigo comercial. Por otra parte Vargas, S. L. (1989) probó once dietas diferentes encontrando mejor aceptación de las de origen animal, pero las diferencias en crecimiento entre las dietas no fueron significativas. En el laboratorio, Aguilar, E. R. (1991) comparó el efecto de la temperatura, talla y nivel de ración proporcionando un ensilado de Egeria densa, evaluando ingesta, crecimiento y eficiencia.

También bajo condiciones de laboratorio García, M. D. (1992) probó dietas a base de Spirulina, Egeria y alimento comercial, obteniendo los mejores resultados con la dieta combinada (Fragoso, M.C. 2003).

## 2. DESCRIPCION DE LA ZONA DE ESTUDIO

### 2.1 Antecedentes históricos de Xochimilco

De acuerdo con estudios geológicos, hace unos 5 millones de años, se originaron grandes dislocaciones en la corteza terrestre, que dieron origen a un fuerte hundimiento de la cuenca del Valle de México, le siguieron lluvias torrenciales aisladas en una larga época de sequía que motivaron el deslave de las laderas, depositándose los materiales arrastrados en esta cuenca.

En la última época de actividad volcánica la característica esencial fue derrame de basalto, las corrientes de lava y materiales clásticos acumulados en el sur obstruyendo las dos salidas de las cuencas, transformándose a éstas en la actual cuenca hidrológica cerrada; debido a esta obturación, las cargas de las corrientes al no encontrar salida, dieron origen a un gran lago cuyos restos en la actualidad son pequeños lagos, algunos ya prácticamente desecados como Xaltocan, San Cristóbal, Chalco y otros como Zumpango, Texcoco y Xochimilco. De esta manera, el lago de Xochimilco se ubicado dentro de una cuenca cerrada.

A principios del siglo XX se llevó a cabo una obra de distribución de agua potable para la Ciudad de México a cargo del ingeniero Manuel Marroquín y Rivera. Se tomó como fuente de abastecimiento los manantiales de Xochimilco.

En 1913 se construyó un sistema de aprovechamiento adecuado de agua potable por medio del acueducto Xochimilco- México, con un caudal de 2.4 m<sup>3</sup> por segundo. El sistema lacustre de Xochimilco es hoy en día el único remanente del gran sistema de lagos que albergaba la Cuenca de México. Desde 1987, es Patrimonio Cultural de la Humanidad, por ser el único lugar en el mundo que conserva un método de producción tipo de las chinampas. Para la conservación de dicha zona, en 1989 se aprobó el Plan de rescate ecológico de Xochimilco. La construcción de obras viales como el anillo Periférico y la Avenida Prolongación División del Norte unieron a la capital con Xochimilco y convirtió sus suelos en espacios potencialmente urbanos, dando lugar a la venta de terrenos ejidales y al cambio en el uso de sus suelos (Cisneros, I. L. P. 2005). En 1957 se construyeron obras de captación mediante pozos profundos y el acueducto del sistema Chiconautla y, en el

siguiente año, las correspondientes al sistema de pozos del Peñón del Marqués, más una ampliación de las captaciones en la zona de Xochimilco.

El bombeo del agua de los manantiales hacia la ciudad, trajo como consecuencia la descompensación del régimen hidrológico de la región, observándose un abatimiento considerable en los niveles del lago, afectando tanto a la agricultura como al aspecto turístico.

El nivel de agua de los diversos canales ha bajado en forma alarmante, desde noviembre de 1975 hasta la fecha.

Al final de la década de los ochentas en 1989, el Departamento del Distrito Federal, por medio del entonces regente de la capital Manuel Camacho Solís puso en marcha el Plan de rescate ecológico de Xochimilco.

## **2.2 Ubicación**

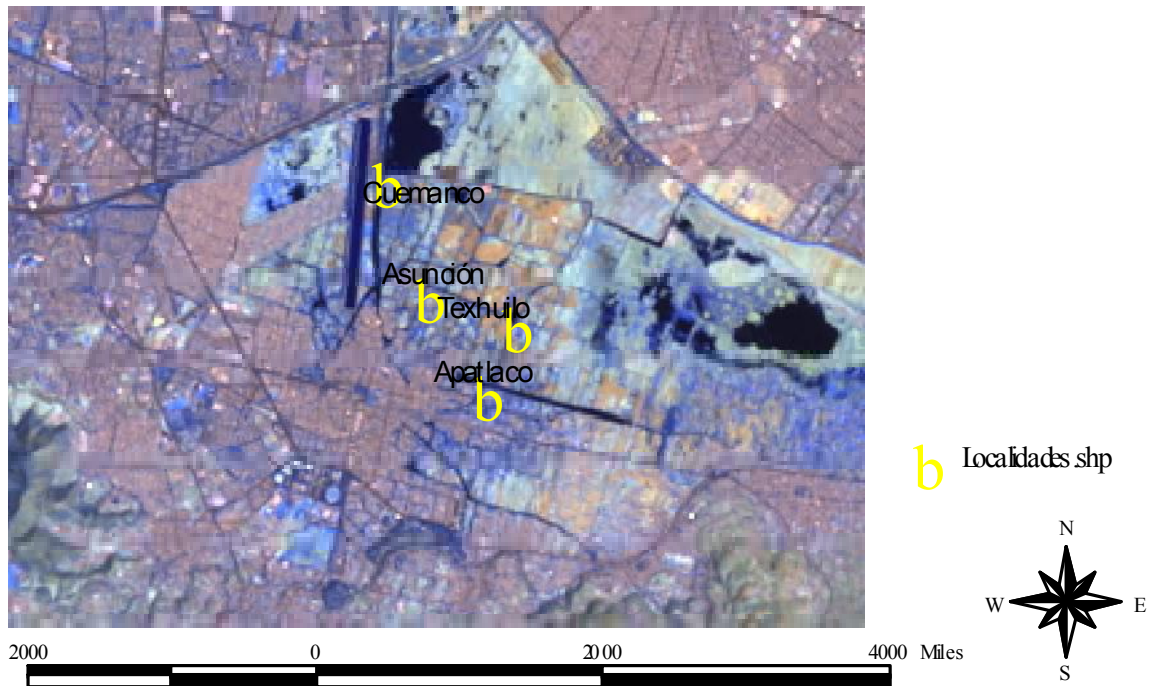
La delegación de Xochimilco desde el punto de vista orográfico está situada en la extensa cuenca de México, limitada en la parte sur por toda una cadena de cerros que forman parte de la Sierra Volcánica y Sierra Nevada; también colinda con la cordillera conocida como Ajusco-Chichinautzin. A esta zona de la delegación se le llama tradicionalmente las Tierras Altas, en contraposición con las Tierras Bajas, formadas por la chinamperíos y los actuales ejidos, así como con las zonas de cultivo.

En los límites hidrográficos que rodean a Xochimilco por la parte sur y sureste, brotan varios manantiales de agua potable, entre los cuales son dignos de mencionarse por su importancia los de Tulyehualco, San Luís Tlaxialtemalco o Acuezcomac, Santa Cruz Acalpíxca, San Gregorio Atlapulco, Nativitas, Quetzalcoan y San Juan Tzonmolco, más conocido como La Noria.

Al sureste del Distrito Federal, a 23 Km. del centro de la Ciudad de México, se ubica la delegación de Xochimilco y limita al norte con las delegaciones de Iztapalapa y Coyoacán; al este con las delegaciones Tláhuac y Milpa Alta; al sur con las delegaciones Milpa Alta y Tlalpan; al oeste con la delegación Tlalpan

Xochimilco es una población catalogada como ciudad, comprendida entre los 19°10'00" y 99°00'21" de longitud oeste partiendo del meridiano de Greenwich, así como entre los 19°19'35" y los 19°08'57" de latitud norte, aproximadamente. A una altura de 2500 msnm, aproximadamente; en la parte baja (zona chinampera)

nos encontramos a 2240 msnm. En cuanto a la extensión, Xochimilco cuenta con 134.6 km<sup>2</sup>, es decir representa el 7.9% de la superficie del Distrito Federal (Ortiz, R. J. 2005).



Mapa 2. Zona chinampera de Xochimilco (INEGI, 2000).

### 2.3 Clima

La delegación de Xochimilco en general tiene un clima –Cw- clima templado lluvioso, con lluvias en verano con sus diferentes variantes; se caracteriza porque la temperatura media del mes más caluroso es superior a 23 °C y la del mes más frío es superior a 0 °C, el promedio anual de precipitación pluvial fluctúa de 700 a 900 mm. Aproximadamente.

El clima de la cuenca es predominantemente templado con variaciones de humedad, mismas que sus propios valores en el área rural. En cuanto la parte urbana el clima seco del noreste de la cuenca del Valle de México, está extendiéndose hacia esta zona debido a la modificación del paisaje natural por otro artificial (Aguilera, H. M. 1987).

## 2.4 Hidrografía

El lago de Xochimilco, de forma irregular, ligeramente alargado de oriente a poniente con más de 11 Km. De largo y casi 4 Km. (3800 m) de norte a sur, cuenta con un área total de aproximadamente 3000 hectáreas. Las fuentes reguladoras del nivel del lago fueron los manantiales, entendiéndose a éstos como flujos continuos o intermitentes de agua que brotan del terreno, se forman cuando el agua de lluvia se infiltra en el suelo hasta determinado nivel, donde se acumula y finalmente brota. Su emplazamiento depende de la posición de la capa freática, de la forma de la superficie del terreno y del tipo de roca.

Los manantiales que abastecían a los canales, como son: Nativitas, Manantiales, La Noria, San Luís Tlaxialtemalco y Acaltongo se han secado en la actualidad; el agua llega entubada a San Gregorio.

Tiempo atrás el lago era alimentado por los manantiales; hoy las aguas negras desempeñan ese papel.

Aunque se cuenta con varios manantiales en la región, los habitantes no toman agua de ellos, se abastecen en forma muy restringida de los manantiales de Monte Alegre y El Capulín.

La importancia hidrológica de la delegación Xochimilco es notable debido a la gran cantidad de canales – causes artificiales por donde se conduce el agua- que limitan sus famosas chinampas, sirviendo además de vías de comunicación entre ellas. El nivel de las aguas del lago, sube por las fuertes precipitaciones pluviales de la temporada de lluvias; sin embargo cuando esto no ocurre los canales se secan visiblemente, en detrimento de la población agrícola de la región. La red de canales es de 189 Km. Están clasificados de acuerdo con su anchura en: Primarios (de 18 a 60 metros), Secundarios (de 7 a 17 metros), Terciarios (de 3 a 6 metros) y Cuaternarios (de 1 a 2 metros). Las características principales de la hidrografía de la cuenca se enciende en condiciones regionales por la permeabilidad de los suelos y por las variaciones climáticas que se registran zonalmente, en esta correlación de establecer la densificación del escurrimiento superficial corresponde a redes de arroyos intermitentes que se presentan del mayo a octubre (Rodríguez, G. 1980).

## 2.5 Edafología

En Xochimilco se tienen suelos ricos en materia orgánica y nitrógeno, con una parte mínima de ácidos orgánicos que disuelven el calcio, sodio, potasio y magnesio, en las partes altas denominan el migajón arenoso y arcilloso (desarrollo de magueyes).

En la parte de la llanura, la humedad de los suelos constituye materia que ayuda a la agricultura (cultivo de maíz, frijol, haba, calabaza, chilacayote, pepino, chayote, etc.). En las partes bajas los suelos dan abrigo a toda clase de flores y frutos (duraznos, chabacanos, albaricoques, peras, manzanas, ciruelas de almendra, capulines, etc.).

Las llanuras se formaron con los sedimentos arrastrados por la erosión hacia las partes lacustres desde el período Terciario y Cuaternario. Posteriormente por el fenómeno de intemperización fueron arrastres de materiales calizos, arcillas, arena volcánica, detritus de andesita y de piedra pómez, basaltos y dioritas. En las llanuras se encuentran las chinampas rodeadas de numerosos canales. El suelo en la parte baja o chinampería tiene diferentes configuraciones y sus colores van del negro al café claro-limus-. El limo sacado del canal o lago es rico en materia orgánica y es fuente de producción agrícola.

El suelo es laterítico, producido por la acción de grandes cantidades de agua actuando en un ambiente de temperatura elevada, aunado a la acción de las cenizas volcánicas (Domínguez, R. L. 1985).

## 2.6 Vegetación

En la actualidad el análisis de determinación taxonómica arrojó un total de 107 especies de plantas, pertenecientes a 55 familias. Del total de especies, 59 son cultivadas, 49 silvestres y 13 escapadas de cultivo (Salas, 1998). En la zona existen tres grupos de plantas ligadas al agua: Sumergidas (*Cabomba sp* y *Potamogeton sp*), flotantes (*Eichhornia crassipes (Mart y Zuce) Solms*, *Lemna minor L.* y *Spirodela polyrhiza L.*), y emergentes (*Hydrocotyle ranunculoides L.* *Typha latifolia L.*, *Juncos spp.* y *Cyperus spp.*). El ahuejote *Salix bomplandiana* Kunth es un árbol tradicionalmente empleado para fortalecer los bordes de las chinampas; otras especies utilizadas con el mismo fin son el ahuehuete (*Taxodium mucronatum Ten.*),

el fresno (*Fraxinus uhdei* (Wensig) Lingelsh) y el eucalipto (*Eucalyptus spp.*) (Domínguez, R. L. 1985 y Ramos, B. C. J. 2001).

## 2.7 Fauna

El lago de Xochimilco, parte de la cuenca lacustre del Valle de México, poseía una rica variada fauna de especies únicas en su género.

La fauna existente antes de la introducción de las aguas negras era la siguiente: carpa, ajolote, almejas, ranas, carpas rojas, blancas y negras, acociles, tortugas, apetos, juiles, pescado blanco, ranas verdes y negras, caracoles de concha culebra de agua, sanguijuela, sapos .

Actualmente es difícil obtener alguna de estas especies, sólo la culebra de agua ha podido subsistir en canales alejados de la población. Lo anterior se produjo por falta de agua limpia, hoy en día el agua que alimenta los canales son aguas tratadas.

Por lo que respecta a las aves que aún habitan la zona chinampera encontramos: agachonas, galleretas, gallinitas de agua, garzas grises y blancas, patos, tórtolas, chichicuילות, garcetas, el tildío, cuervos, codornices y tardos. La garza y el pato pinto, viene una vez al año en los meses de septiembre, octubre y noviembre.

Entre las aves canoras que habitan las chinampas encontramos: huitlacoques, gorriones o pardelas, tigrillos, coquitas, calandrias, pájaro carpintero.

Los insectos que aún subsisten: gorgojos, abejorros, ciempiés, arácnidos, moscas, mosquitos, cucarachas, grillos, chapulines, mariposas de colores catarinas, arañas, abejas, jicotes, tlalitzales, avispas, tarántulas, capulinas, alacranes, escarabajos.

Los reptiles que son un peligro para los agricultores: víboras de cascabel, sinuate, chirrioneras, culebras, camaleones, escorpiones, lagartijas grises, tecuixes, etc. (Ortiz, R. J. 2005).



### 3. PROBLEMÁTICA

El lago de Xochimilco se ha deteriorado principalmente por la expansión de la mancha urbana que ha traído como consecuencia que se alimente con aguas residuales tratadas que provienen de la Planta de Tratamiento Cerro de la Estrella, las aguas tratadas constituyen serios problemas para la chinampería, ya que presentan una alta concentración de sales disueltas que se fijan y acumulan en el suelo, variando así las propiedades físicas y químicas del mismo, y sobre todo, acarrear problemas de salud pública por su contenido bacteriológico, y este tipo de agua le ha causado cambios al ecosistema ya que se considera que el tratamiento de esta agua no es eficaz para que se eliminen ciertos elementos químicos y biológicos, y también se presentan descargas de aguas domésticas al sistema, el uso que se le da a estas aguas es para riego de cultivos, navegación y el turismo. El desarrollo de la acuicultura en el país, sin una reglamentación que regule la movilización de organismos acuáticos en el territorio nacional, así como el aporte de aguas residuales a sistemas acuáticos, ha incrementado el problema, aunada a esto la introducción de especies acuáticas en diversos sistemas del país que se inició desde finales del siglo pasado, sin ningún control sanitario, actualmente en la mayoría de los cuerpos acuáticos nacionales se desarrollan organismos que afectan sanitariamente a las poblaciones ícticas de dichos sistemas. Con la realimentación del lago a través de las aguas negras ha traído como consecuencia muchos cambios graves en el ecosistema de los cuales los más afectados son las poblaciones de organismos acuáticos, algunos de los cuales se han extinguido, debido a que las aguas negras no reciben un tratamiento de primera que elimine las sustancias químicas, bacterias entre otras y metales pesados.

Las características físicas y químicas del agua, así como los altos niveles de sustancias tóxicas han limitado el consumo de las distintas especies que se encuentran en esta zona los cuales con frecuencia presentan niveles de contaminación tanto orgánica como inorgánica relativamente importantes. (Arcos, R. R. 1996).

## 4. JUSTIFICACIÓN

En la zona chinampera de Xochimilco se han realizado estudios enfocados a evaluar parámetros físicos, químicos y biológicos, y un número limitado sobre estudios de la fauna, concentración de los contaminantes del sistema, pero en especial de metales pesados tóxicos. El presente trabajo se enfoca a estudiar la posible bioacumulación de metales pesados como cadmio, plomo, níquel, hierro y cromo en organismos que cohabitan en el sistema y se realizará una comparación entre dos especies de organismos (carpa común y acocil), la determinación se realizará en órganos blanco como hígado, gónadas, branquias y músculo de la carpa y en todo el cuerpo del acocil, El primero de ellos se alimenta de material vegetal y además suele interactuar con los demás organismos que se encuentran en la columna de agua. Por otro lado, los acociles son organismos herbívoros que se alimentan de material vegetal y detritus los cuales no suelen interactuar con la columna de agua. Los resultados obtenidos se compararán con los límites permisibles de acuerdo a legislaciones vigentes tanto nacionales como internacionales; para saber si estos organismos potencialmente pueden ser consumidos por el ser humano, ya que en la actualidad hay una sobre explotación ilegal para su comercialización, además de que estas especies entran en la cadena alimenticia, lo estudios que se han hecho hasta el momento indican que las concentraciones de metales pesados tóxicos en dichos organismos son elevadas y hay que poner sobre aviso a los pobladores para que no pesquen ya que el consumo de estos productos puede llegar a acusar problemas tóxicos crónicos.

## 5. HIPÓTESIS

Si consideramos que los metales pesados se pueden encontrar tanto en la columna de agua como en el sedimento, al evaluar y comparar las concentraciones de metales pesados en la carpa común (*Cyprinus carpio*) que es de nado libre y en acociles (*cambarellus montezumae*) de hábitos bentófagos, y comparando con los niveles de concentraciones establecidas por las normas oficiales afines o criterios internacionales, se podrá establecer una relación comparativa de si los metales pesados se encuentran más en organismos de nado libre o los de hábitos bentofagos.

## 6. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la bioacumulación de metales pesados (Cd, Cr, Ni, Fe, y Pb) en organismos bentónicos Acocil (*cambarellus montezumae*) y en organismos nectónicos carpa (*ciprynus carpio*) presentes en el lago de Xochimilco.

### 6.1 Objetivos particulares

- Determinar la taxonomía del acocil y carpa.
- Determinar las características morfométricas de los organismos (longitud total, longitud patrón, sexo y peso) de acociles y carpa.
- Evaluar la presencia de metales pesados en músculo y órganos blancos de la carpa (branquias, hígado y gónadas).
- Evaluar la concentración de metales pesados en el organismo completo de acocil
- Establecer la potencial diferencia en la bioacumulación entre los organismos bentónicos y nectónicos, usando análisis estadístico.

## 7. MÉTODO

El método consiste de tres fases:

### 7.1 Fase de campo

Se realizaron 11 muestreos en 3 zonas diferentes de Xochimilco: canal nacional de Cuemanco (recibe aguas residuales tratadas), zona de Asunción (recibe principalmente descargas de aguas de drenaje doméstico) y zona de Texhuilo (recibe desechos agrícolas) en las cuales se capturaron aleatoriamente a 30 acociles y a 10 carpa de cada zona, dichos organismos se metieron en una hielera, se transportaron al laboratorio y se realizaron los estudios en dichos organismos.



Fotografía 1. Zona de Cuemanco.



**Fotografía 2. Zona de Texhuilo.**

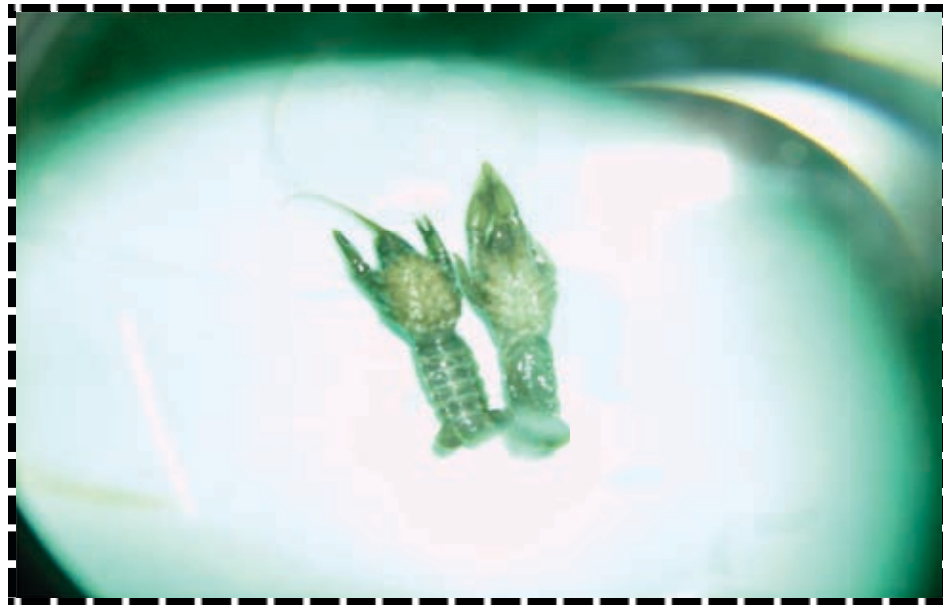


**Fotografía 3. Zona de Asunción.**

## 7.2 Fase de laboratorio

- a) Se determinó el sexo de las carpas y acociles, y se evaluaron los parámetros biométricos: (longitud total, longitud patrón y peso).

### Determinación de sexo de carpas y acociles



Fotografía 4. Acocil hembra a la derecha y un macho a la izquierda.



Fotografía 5. Órganos expuestos de carpa macho



Fotografía 6. Gónadas de carpa hembra

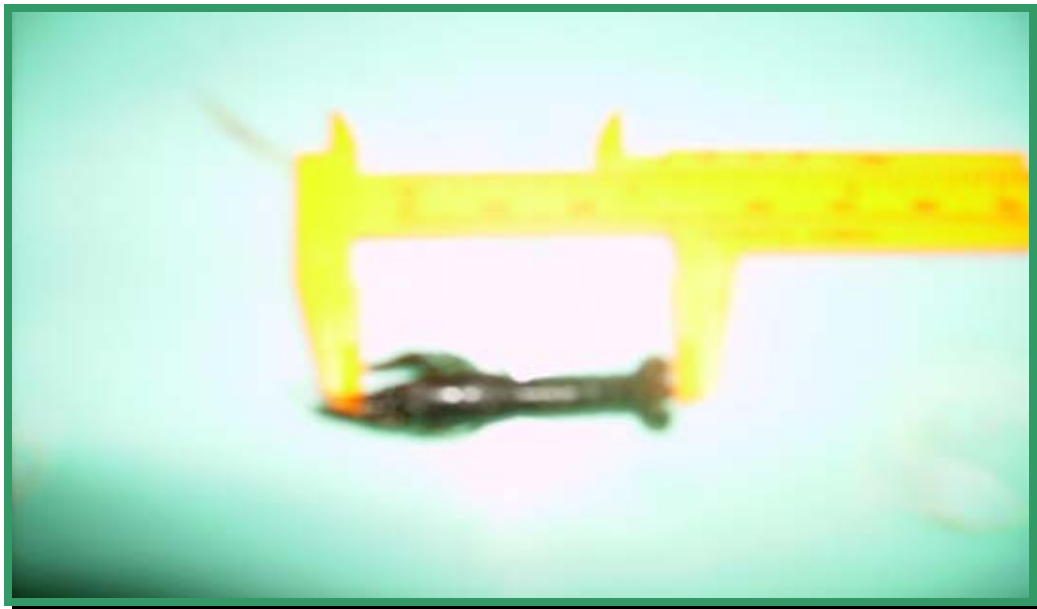


## Parámetros biométricos

- longitud total

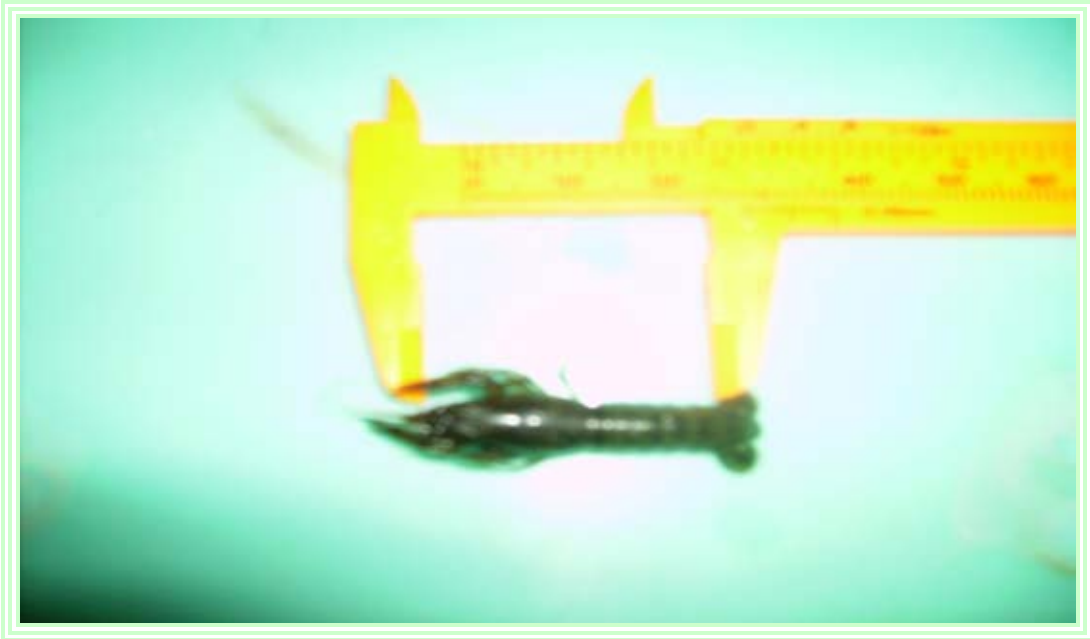


Fotografía 7. Longitud total de carpa



Fotografía 8. Longitud total de acocil

➤ Longitud patrón



Fotografía 9. Longitud patrón de acocil



Fotografía 10. Longitud patrón de carpa

➤ Peso



Fotografía 11. Pesajes de carpa



### Fotografía 12. Pesaje de acocil

Con base en los datos biométricos se catalogarán en tallas: juvenil, madura y engorda

**Eviseración de carpa.**



Fotografía 13. Hígado de carpa



Fotografía 14. Gónadas de carpa hembra



Fotografía 15. Branquias de carpa





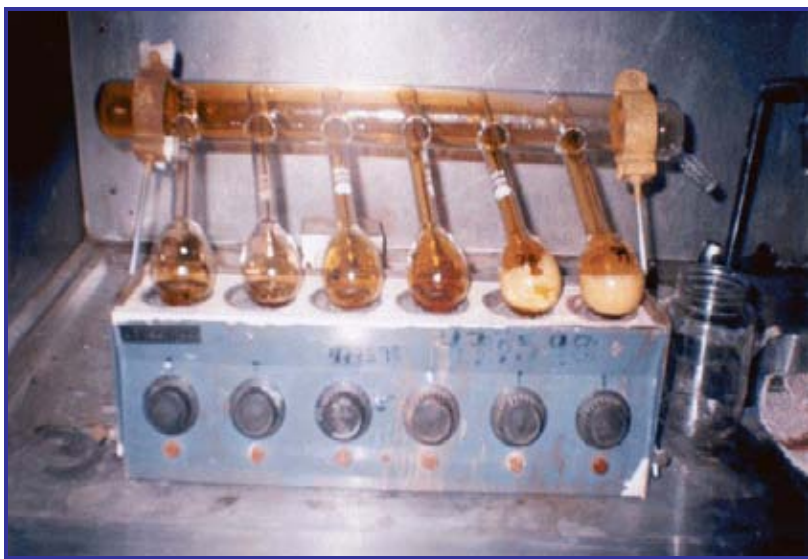
**Fotografía 16. Parte del músculo de carpa**

b) Determinación de Cd, Cr, Fe, Ni y Pb en gónada, hígado, branquias y músculo de carpa y en el organismo completo de acocil.

Los organismos recolectados en Cuernavaca, Texhuilo y Asunción se separaron en juvenil, maduro y engorda.

Se mezclaron 10 acociles de cada tamaño, en cada uno de los 11 muestreos, se secaron a en una estufa a 80°C durante tres días; se maceraron en un mortero de porcelana, se pesó 1 g de la muestra y transfirió a un matraz Kjendhal ; Posteriormente se añadió una mezcla de HNO<sub>3</sub> y HClO<sub>4</sub> (10:6), se digirió la muestra hasta la desaparición de materia orgánica, el volumen obtenido se aforó a 25 mL con agua desionizada, se filtró en frasco de polietileno y se determinaron las concentraciones de Cd, Cr, Fe, Ni y Pb en el espectrofotómetro de absorción atómica SPECTRA A200 y Varían 1475.

Las gónadas, hígados, branquias y músculo de 10 carpas juveniles, maduras y en engorda se procesaron de la misma manera.



**Fotografía 17. Digestión de muestras**

Se registró cada concentración obtenida en  $\text{mg/Kg}^{-1}$ .

### **7.3 Fase de gabinete**

La fase de gabinete consistió en realizar el análisis de resultados de los datos biométricos, y las concentraciones de metales pesados a través un análisis estadístico univariado de ANDEVA utilizando el paquete estadístico Statgraphic plus 5 (Cervantes, S. A. 2006).

## 8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 8.1 Resultados de la determinación taxonómica

Para la determinación de la taxonomía de la carpa se utilizó la clave de Álvarez del Villar 1970 y con ella se estableció que la carpa común (*Cyprinus carpio*) tiene las siguientes características: cuerpo robusto, cilíndrico, con una larga aleta dorsal y una aleta anal corta. La boca está rodeada de cuatro barbillones carnosos, los flancos son amarillos dorado a parduzco, el dorso oscuro, el vientre blanco amarillento y las aletas pares (pectoral y ventral).



Fig. 18. Carpa común (*Cyprinus carpio*)

Respecto a los acociles se utilizó la clave Álvarez del Villar 1970, se pudo determinar que es la especie *Cambarellus montezumae*, ya que tiene las siguientes características: en el macho en fase reproductiva el primer pleópodo termina en tres partes, el proceso cefálico está ausente, las estructuras terminales son espiniformes, truncadas, espatulazas o acanaladas; presenta ganchos en los isquiopoditos del segundo y tercer par de pereopodos. La talla máxima del adulto es de 5 cm. Los maxilípedos del tercer par tienen una fila de dientes en el margen interno del isquiopodito. La sección *montezumae* se caracteriza porque el proceso mesial del primer pleópodo, en la primera forma del macho es acanalado.



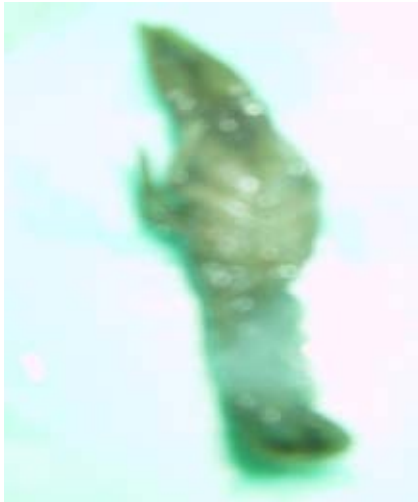


Fig. 19. Acocil (*cambarellus montezumae*)

## 8.2 Resultado de las determinaciones biométricas

Tabla 1. Promedio de la longitud en carpa.

Longitud de carpa			
Talla	Sexo	hembras	machos
	Juvenil	13.9	15.5
	Madura	18.8	18.9
	Engorda	19.02	20.9

En la tabla 1 se puede observar que la longitud de la carpa juvenil se encontró entre 6 y 16 cm, con una longitud promedio de 13.9. Los maduros de 6.1 a 20 cm y de engorda de > 20.1 cm.

**Tabla 2. Promedio de peso en carpa por sexo.**

Peso de carpa		
Talla \ Sexo	Hembras	Machos
Juvenil	42.5	46.1
Madura	98.8	95.7
Engorda	125.5	127.3

**Tabla 3. Promedio de longitud en acocil por sexo.**

Longitud de acocil		
Talla \ Sexo	hembras	machos
Chico	3.0	3.1
Mediano	3.4	3.5
Grande	3.6	3.7

**Tabla 4. Promedio de peso en acocil por sexo.**

Peso de acocil		
Talla \ Sexo	hembras	machos
Chico	0.93	0.95
Mediano	1.05	1.07
Grande	1.13	1.15

### 8.3 Resultado de los metales pesados

**Tabla 5. Promedio de las concentraciones de metales pesados en hígado, gónadas, branquias y músculo de carpa.**

Elemento Órgano mgkg <sup>-1</sup>	Cadmio	Cromo	Hierro	Níquel	Plomo
Hígado	5.4	17.8	399.2	29.1	2.8
Gónadas	5.4	17.9	15.6	13.1	2.8
Branquias	5.4	18.1	135.8	13.8	1.6
Músculo	5.4	18.1	12.7	15.4	2.1

En la tabla 5 se puede observar que el hígado y las branquias acumularon principalmente hierro; las gónadas y el músculo al cromo.

**Tabla 6. Metales pesados en carpa.**

Elemento Talla mgkg <sup>-1</sup>	Cadmio	Cromo	Hierro	Níquel	Plomo
Juvenil	3.3	17.1	35.47	18.8	6.1
Maduro	5.5	17.9	125.8	41.7	2.6
Engorda	5.3	18.2	101.5	41.9	2.7

En la tabla 6 se muestra que talla madura es la que más cadmio concentra, la talla en engorda acumuló principalmente cromo, hierro y níquel. El plomo se bioacumuló preferentemente en la talla juvenil.

**Tabla 7. Concentración de metales pesados en carpa por sexo.**

Elemento Sexo mgKg <sup>-1</sup>	Cadmio	Cromo	Hierro	Níquel	Plomo
Hembra	5.3	18.2	125.3	39.2	3.6
Macho	5.4	17.9	145.2	42.5	3.4

En la tabla 7 se observa que los machos bioacumulaban principalmente cadmio, hierro y níquel. Cromo y plomo la mayor acumulación se presentó en las hembras.

**Tabla 8. Promedio de metales en acociles por talla.**

Elemento Talla mgkg <sup>-1</sup>	Cadmio	Cromo	Hierro	Níquel	Plomo
Chico	2.0	17.0	44.4	27.2	0.5
Mediano	1.8	16.3	87.1	13.5	0.9
Grande	2.3	20.2	23.1	13.2	1.8

En la tabla 8 se observa que la talla grande acumuló principalmente a los metales en el siguiente orden: cromo, cadmio y plomo. El hierro se acumuló en mayor concentración en los de talla mediana y níquel en la talla chica.

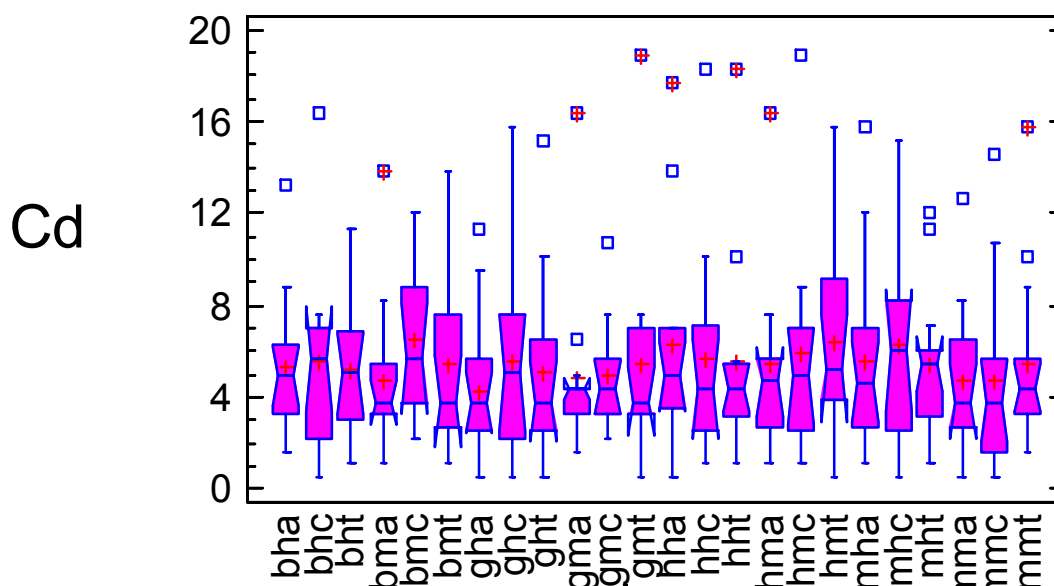
**Tabla 9. Promedio por sexo de acocil para cada metal.**

Elemento mgkg <sup>-1</sup> Sexo	Cadmio	Cromo	Hierro	Níquel	Plomo
Hembra	2.1	13.2	42.5	16.1	1.5
Macho	2.1	25.3	19.7	15.4	1.2

Respecto al sexo se observa que el cadmio se acumuló indistintamente en machos y hembras. El cromo la mayor concentración se alojó en los machos, y el hierro, níquel y plomo, en ese orden se acumularon en las hembras.

## Gráficas de carpa

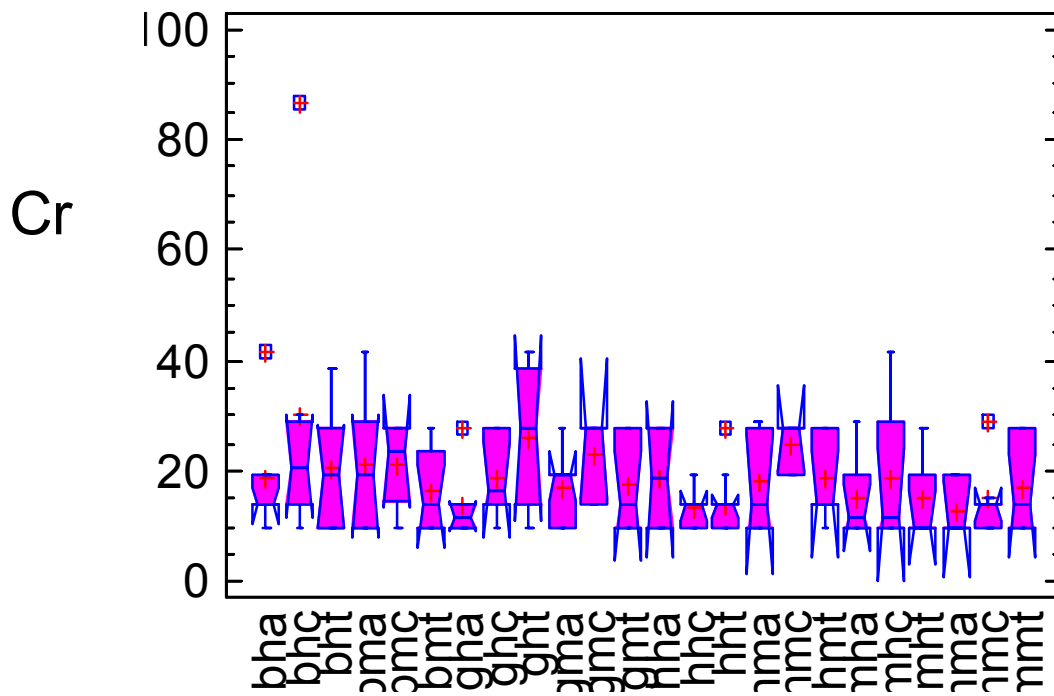
mgKg<sup>-1</sup> Gráfica 1. Concentración de cadmio en cada órgano, en ambos sexos y para cada zona.



Hígado	Gónadas	Branquias	Músculo
hha= hígado de hembra de Asunción	gha= gónadas de hembra de Asunción	bha= branquias de hembra de Asunción	mha= músculo de hembra de Asunción
hhC= hígado de hembra de Cuemanco	ghC= gónadas de hembra de Cuemanco	bhC= branquias de hembra Cuemanco	mhC= músculo de hembra de Cuemanco
hht= hígado de hembra de Texhuilo	ght= gónadas de hembra de Texhuilo	bht= branquias de hembra de Texhuilo	mht= músculo de hembra de Texhuilo
hma= hígado de macho de Asunción	gma= gónadas de macho de Asunción	bma= branquias de macho de Asunción	mma= músculo de macho de Asunción
hmc= hígado de macho de Cuemanco	gmc= gónadas de macho de Cuemanco	bmc= branquias de macho de Cuemanco	mmc= músculo de macho de Cuemanco
hmt= hígado de macho de Texhuilo	gmt= gónadas de macho de Texhuilo	bmt= branquias de macho de Texhuilo	mmt= músculo de macho de Texhuilo

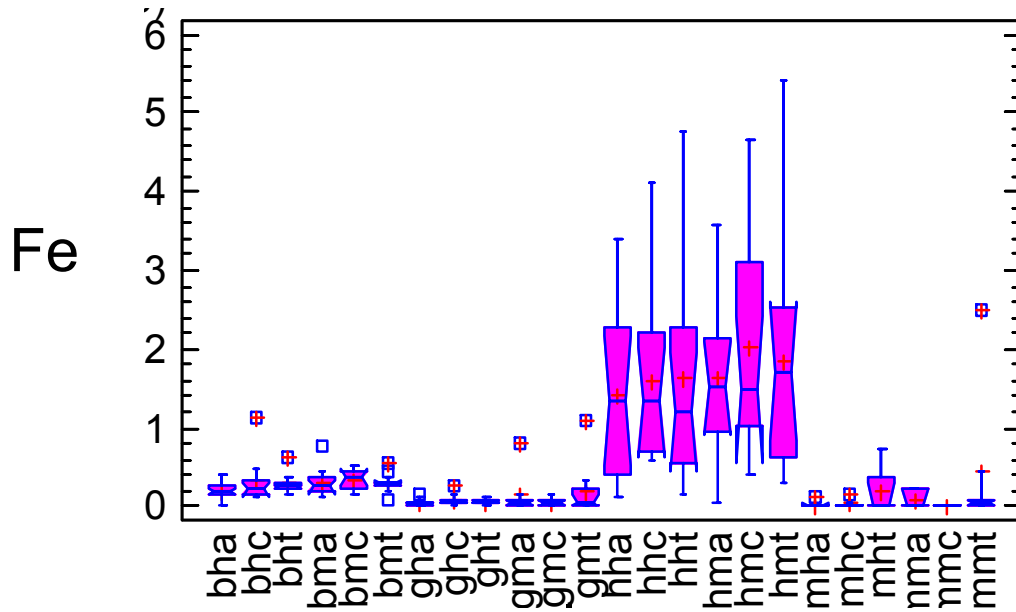
En la gráfica 1 se observa que la mayor concentración de cadmio está en las branquias de macho de Cuemanco y en el hígado de macho de Texhuilo. La mayoría de las concentraciones en los demás órganos de cada zona se comportan de manera homogénea.

mgKg<sup>-1</sup> Gráfica 2. Concentraciones de cromo en carpa para ambos sexos y para cada zona



La mayor concentración de cromo se determinó en las gónadas de hembra de Texhuilo y en los demás órganos no se presentó diferencia significativa en la acumulación de cromo.

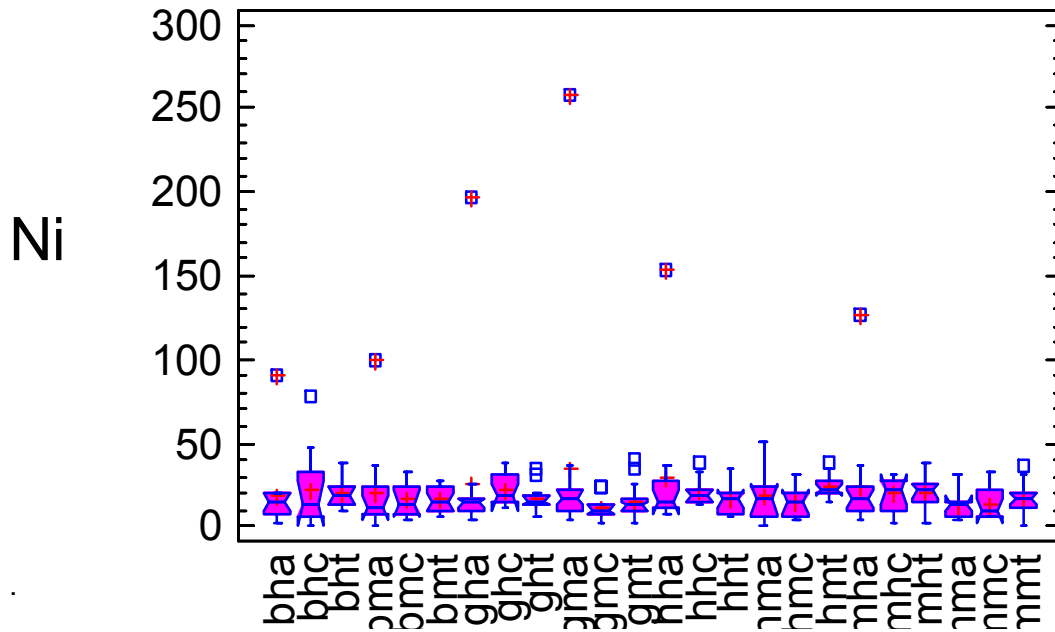
mgKg<sup>-1</sup> Gráfica 3. Concentración de hierro para cada órgano de carpa de ambos sexos y para cada zona.



En la gráfica 3 la mayor acumulación se presentó en hígado de macho de Cuernavaca, seguido del hígado de macho de Texhuilo, En los otros órganos las concentraciones se comportaron de forma homogénea en las diferentes zonas y en ambos sexos.

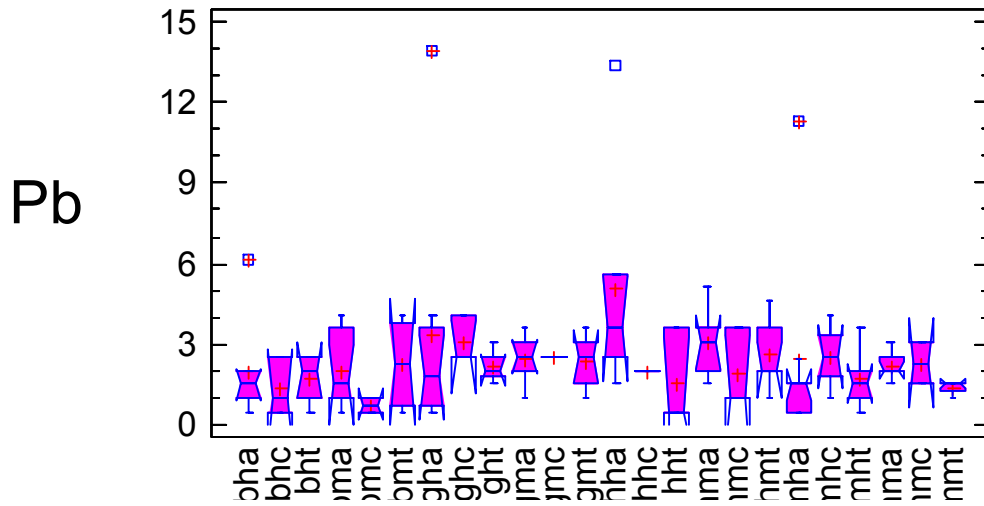


mgKg<sup>-1</sup> Grafica 4. Concentraciones de níquel en cada órgano de carpa para ambos sexos y para cada zona.



Las concentraciones de níquel detectadas no son elevadas, en los diferentes órganos, en ambos sexos y en las tres zonas de estudio.

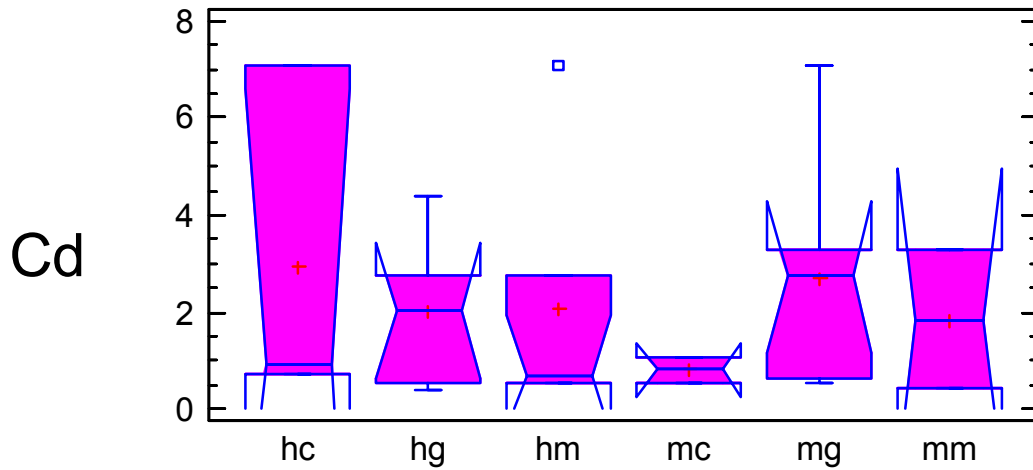
mgKg<sup>-1</sup> Grafica 5. Concentración de plomo en cada órgano de carpa para ambos sexos y para cada zona.



Las concentraciones de plomo en hembra de Asunción presentan una mayor acumulación le siguen las gónadas de hebra de Cuemanco y para los demás órganos de cada zona es homogéneo.

Gráficas para acocil

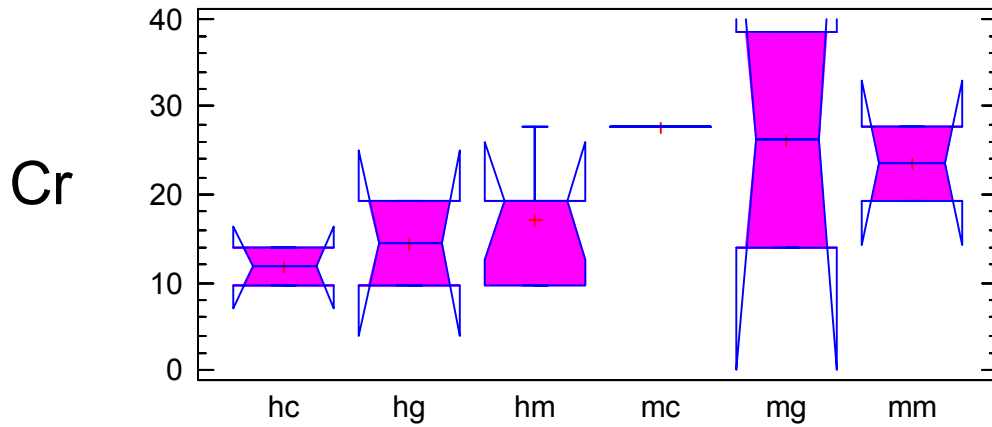
mgKg<sup>-1</sup> Grafica 6. Concentraciones de cadmio en acocil en ambos sexos, en las tres tallas.



Hembras	Machos
hc= hembra chica	mc= macho chico
hm= hembra mediana	mm= macho mediano
hg= hembra grande	mg= macho grande

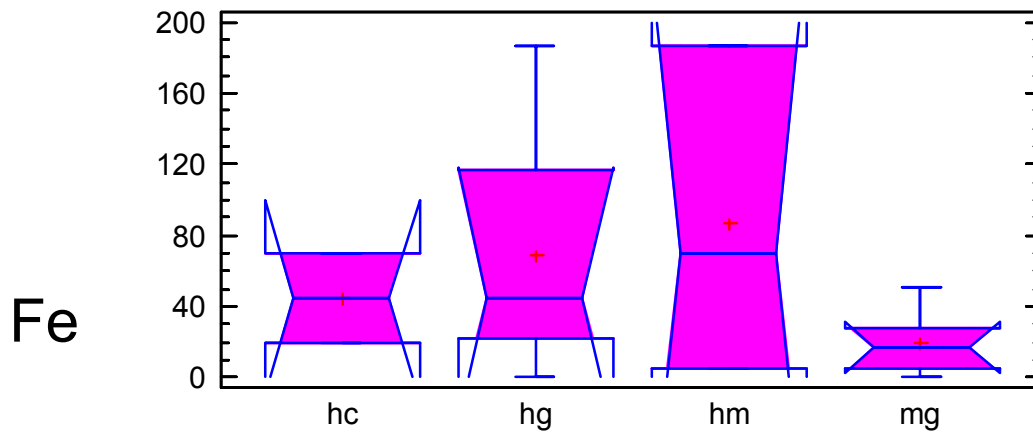
En la gráfica 6 la concentración de cadmio esta acumulada en acocil hembra chica, le sigue el macho mediano y grande, le sigue la hembra mediana y grande y por último el macho chico.

mgKg<sup>-1</sup>. **Gráfica 7. Concentraciones de cromo para ambos sexos de acocil en las diferentes tallas.**



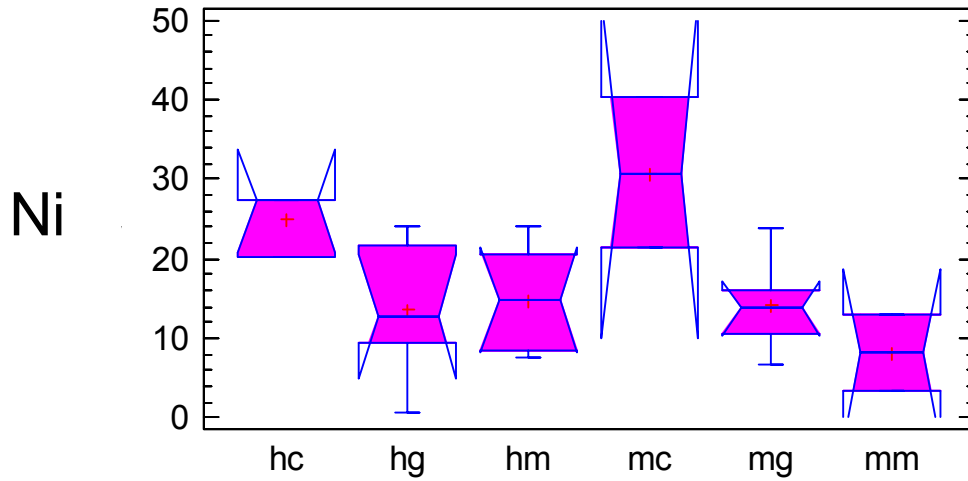
La mayor acumulación de cromo se presentó en los machos grandes, seguido de los medianos y en las hembras mediana y grande, y por último en hembras chicas.

mgKg<sup>-1</sup>. **Gráfica 8. Concentraciones de hierro en acocil en ambos sexos y para cada talla.**



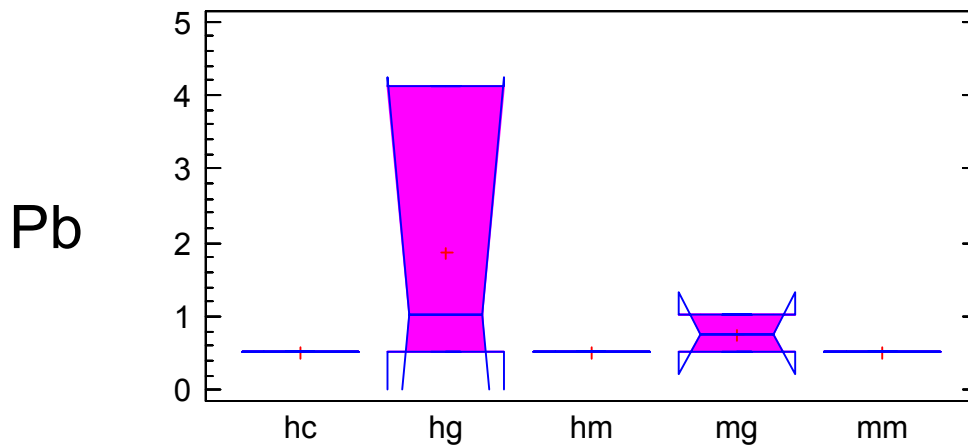
La bioacumulación de hierro se presentó en los acociles hembra medianos, seguido de los grandes y finalmente los de talla chica, y en lo que respecta a los machos hay una mayor acumulación en acociles grandes.

mgKg<sup>-1</sup> **Grafica 9. Concentraciones de níquel para cada talla de acocil y para ambos sexos.**



Para el níquel se observa que la concentración mayor se presentó en los machos de talla chica y en las hembras la mayor concentración se presentó en la talla chica.

mgKg<sup>-1</sup> **Grafica 10. Concentraciones de plomo para cada talla de acocil en ambos sexos.**



La mayor acumulación de plomo se presentó en hembras de talla grande, le sigue los machos grandes y en las otras tallas no hay diferencias significativas.

## 8.4 DISCUSIÓN PARA CARPA

Los organismos de talla grande acumularon principalmente Cd, Cr y Ni, los de talla mediana Cd, Fe y Ni y los de talla chica Fe. Resulta relevante destacar en las carpas chicas el plomo se bioacumuló; este elemento es no esencial, no tiene actividad biológica alguna, difícilmente saldrá del organismo bioacumulado, es necesario hacer un seguimiento. Ya que conforme desarrolle mayor talla la concentración aumentará o se mantendrá en el mismo nivel, presentando un riesgo de magnificación para el siguiente nivel trófico.

Se investigó que la mayor acumulación de metales pesados puede deberse a que los organismos de menor tamaño tiene mayor actividad metabólica que los organismos de tallas más grandes, y por lo tanto son más propensos a acumular mayores cantidades de metales pesados (Widianarko et al, 2000).

### **Relación metales pesados con el sexo.**

En hembras se acumularon principalmente Cr y Pb. En machos Cd, Fe y Ni (Al-Yousuf et al., 2000), encontraron que las concentraciones de metales pesados en tejidos de peces hembras fueron más altas que en los peces machos. En nuestros análisis se muestra que las concentraciones de metales pesados representan un problema, sobre todo la presencia de plomo, cadmio y cromo, debido a su relación directa con el hombre por medio de la cadena alimenticia, existen estudios que indican concentraciones de plomo y cobre mucho más bajas que los encontrados en la Zona de Xochimilco, y a un determinado tiempo de exposición causan mortalidad en los peces (Walker, C. 1975).

### **Relación de órganos con respectó a los metales pesados.**

El cadmio se distribuyó de manera homogénea en hígado, gónadas, branquias y músculo. El cromo en branquias y músculo, seguido de gónadas y finalmente en hígado. El hierro se acumuló principalmente en el hígado, seguido de las branquias, gónadas y músculo. El níquel se acumuló preferentemente en hígado, seguido de músculo, branquias y gónadas. El plomo se distribuyo homogéneamente en hígado y gónadas, seguido de músculo y finalmente en branquias.

Los resultados de metales pesados encontrados en hígado muestran que es el órgano blanco en donde se almacenan preferentemente los metales pesados como Cd, Fe, Ni y Pb, Respecto de gónadas y musculo bioacumuló 200 veces más de Fe, y 2 veces más Ni que en gónadas, branquias y músculo.

Las branquias están en contacto directo con el agua, es una estructura filtradora y también en ellas se lleva a cabo la síntesis de metalotioneinas, las cuales inducen a la acumulación de grandes cantidades de metales pesados (Bols, et al. 2001); (Karadede, y Col. 2000). Como menciona Giese A. (1990), es una estructura filtradora donde se concentra gran cantidad de sustancias como los metales; esto coincide también con (Duffus, J. H. 1983), (Cadena, U. M. I. 1977) que plantean esta problemática en peces para algunos metales pesados como el Hg.

En los niveles guía de calidad para peces como productos alimenticios según CREHA. LMA = límite máximo admisible ( $\text{mgKg}^{-1}$ ) también rebasan estos límites, al comparar nuestros resultados con los de Sánchez L. F. 2002 se puede ver que en músculo no detectó cadmio, nuestros resultados son mayores, en hígado fue de  $408.13 \text{ mgKg}^{-1}$ .

## **Metales Pesados en carpa por zona de estudio.**

### **Cadmio**

Asunción que es una zona urbana recibe numerosas descargas de aguas negras en forma directa (Vidrio, A. 2000), debido al cambio de uso de suelo a consecuencia de una acelerada ocupación irregular de asentamientos humanos (Canabal, L. M. 1991), las carpas de esta zona presentaron  $5.39 \text{ mgKg}^{-1}$  de cadmio carpa, en lo que respecta a los organismos de Texhuilo que es una zona agrícola la concentración de cadmio fue de  $6.62 \text{ mgKg}^{-1}$ , y en la zona de Cuemanco en los organismos de encontraron  $5.66 \text{ mgKg}^{-1}$ , como podemos observar la diferencia entre las concentraciones de cadmio en los organismos de las tres diferentes zonas no varían significativamente; sin embargo, los organismos de la zona agrícola presentaron la mayor concentración, esto se puede deber al uso de fertilizantes. Los valores encontrados rebasan los límites máximos permisibles de cadmio señalados en la norma oficial mexicana NOM-027-SSA1-1993.

Al comparar nuestros resultados de plomo con la norma oficial mexicana NOM-027-SSA1-1993 que establece el límite máximo para plomo de  $1.0 \text{ mgKg}^{-1}$  los resultados

obtenidos en el estudio rebasan este límite y con los Niveles guía de calidad para peces como productos alimenticios según CREHA. LMA = límite máximo admisible ( $\text{mgKg}^{-1}$ ) para plomo en músculo es 0.1 y en hígado 0.5, se puede ver que estos límites también son rebasados.

### **Cromo**

El promedio de las concentraciones de cromo para los organismos de cada zona nos indica que en Asunción los organismos concentraron  $18.24 \text{ mgKg}^{-1}$  los de la zona agrícola de Texhuilo  $17.65 \text{ mgKg}^{-1}$  y los de la zona de Cuemanco  $17.54 \text{ mgKg}^{-1}$ , podemos observar que la acumulación de Cromo en las diferentes zonas es homogéneo no varía en cada una de ellas. Podemos ver claramente que los resultados de este estudio son mayores a los de Sánchez, L. F. 2002 y Canli, M. 2003

### **Hierro**

El cuerpo humano absorbe el Fe más rápido que las plantas, este es una parte esencial de la hemoglobina, por ello la importancia de este trabajo en la determinación de este metal ya que la carne del pescado es considerada una buena fuente de hierro y de cobre (Huss, H. 1988), los resultados son los siguientes, para Asunción que es una zona urbana que recibe descargas de aguas negras la concentración de Fe en organismos es de  $20.67 \text{ mgKg}^{-1}$ , en cuanto a los organismos de la zona de Cuemanco se encontraron concentraciones de  $15.23 \text{ mgKg}^{-1}$  y los organismos de la zona de Texhuilo con actividad agrícola se encontraron  $10.04 \text{ mgKg}^{-1}$ .

Al comparar nuestros resultados con los que obtuvo Canli, M. 2003 con  $19.60 \text{ mgKg}^{-1}$  son mayores las concentraciones que encontramos respecto a los que presenta este autor, Prieto en 1992 encontró  $0.56 \text{ mgKg}^{-1}$  de Fe de igual manera los resultados de este estudio son muchos mayores a los que reportó este autor, Sidwell, V. D. 1981 reporta  $12.8 \text{ mgKg}^{-1}$  y Sapunar, J. 1983 reporta  $4.66 \text{ mgKg}^{-1}$  y podemos observar que nuestros resultados son mayores a los de estos autores.



## **Níquel**

Este metal se puede encontrar en alimentos, en cigarrillos, agua contaminada, etc., en cantidades muy altas puede ser peligroso. Por ello es importante conocer las concentraciones de este metal en la carpa, se encontraron en organismos de Cuernavaca 13.41 mgKg<sup>-1</sup>, para los organismos de la zona agrícola de Texhuilo 16.05 mgKg<sup>-1</sup> y los organismos de la zona urbana Asunción se encontraron 13.31 mgKg<sup>-1</sup>, se ve que los organismos que concentraron preferentemente Ni fueron los de la zona de Texhuilo con respecto a las otras.

Lo que nos hace notar que el órgano más afectado es el hígado que realiza procesos metabólicos, las branquias que son filtradoras y están en contacto directo con el agua.

## **Plomo**

Este es un metal muy peligroso, lo podemos encontrar en los alimentos, el agua y el aire, no tiene función biológica alguna, por ello es importante determinar este metal en la carpa ya que es consumida por el humano, los organismos más afectados fueron los de la zona urbana de Asunción que recibe descargas de aguas negras debido al cambio de uso de suelo debido a los asentamientos humanos con 2.81 mgKg<sup>-1</sup>, después los organismos de la zona de Cuernavaca con 2.06 mgKg<sup>-1</sup> y por último los de la zona agrícola de Texhuilo con 1.96 mgKg<sup>-1</sup>.

## **8.5 DISCUSIÓN DE ACOCIL**

### **Cadmio**

En la zona de Cuernavaca se pesca el acocil para el consumo humano. Para nuestro trabajo se capturaron acociles de esta zona al azar y se dividieron en tres diferentes tallas (chico, mediano y grande), los resultados son los siguientes: El cadmio se acumuló principalmente en el orden de 2.3 mgKg<sup>-1</sup> para la talla grande, al igual que el cromo en una concentración de 20.2 mgKg<sup>-1</sup> el Fe en la talla mediana en una concentración de 87.1 mgKg<sup>-1</sup>, el Ni en la talla chica en una concentración de 27.2 mgKg<sup>-1</sup> y el Pb en la talla grande a una concentración de 1.8 mgKg<sup>-1</sup>.

Los organismos de talla grande acumulan principalmente Cd, Cr y Pb; los de talla mediana Fe y los de talla chica Ni.

Los organismos hembra acumulan principalmente Cd, Fe, Ni, Pb y los machos Cd y Cr.

Los resultados de este estudio nos revelaron cantidades elevadas de metales presentes en los organismos de la zona de Cuemanco, esa bioacumulación de metales pesados tóxicos se ve reflejada en los acociles, esto pudo resultar de las interacciones del organismo con el sedimento ya que el acocil tiene hábitos bentofagos, y los metales tienden a sedimentarse por lo tanto nuestros resultados nos muestran concentraciones elevadas de diferentes metales pesados.

Para los crustáceos el límite máximo permitido para Cd establecido por la legislación hispana (BOE, 1991) es de 1  $\mu\text{g/g}$  para cadmio, Se tomará a la Legislación Hispana por que en la normatividad mexicana no se tienen límites de metales pesados para los crustáceos.

### **Cromo**

La mayor concentración de cromo se presentó en los machos y en la talla grande con 20.2  $\text{mgKg}^{-1}$ , en la talla chica de 17.0  $\text{mgKg}^{-1}$  y en la mediana con 16.3  $\text{mgKg}^{-1}$ , para machos la concentración obtenida fue de 25.3  $\text{mgKg}^{-1}$ .

La normatividad mexicana no tiene límites máximos permisibles para crustáceos y la legislación hispana (BOE, 1991), tampoco contempla límites para cromo.

### **Hierro**

El hierro forma parte esencial de la hemoglobina, también se encuentra en varios alimentos, por ello en nuestro muestreo es importante saber cuánto Fe concentran los acociles, para ello se dividieron los acociles en tres diferentes tallas, y los resultados son los siguientes, la acumulación en la talla chica fue de 44.4  $\text{mgKg}^{-1}$ , luego la mediana con 87.1  $\text{mgKg}^{-1}$  y los de talla grande con 23.1  $\text{mgKg}^{-1}$ , en hembra se presentó la mayor acumulación 42.5  $\text{mgKg}^{-1}$  y en los machos de 19.7  $\text{mgKg}^{-1}$ . Si se hace una comparación entre las tallas la que mayor acumuló fue la mediana y las hembras.

Se tiene que mencionar que la legislación mexicana no tiene límites para hierro y la legislación hispana tampoco los contempla.

## Níquel

Este metal difícilmente se encuentra en la naturaleza, pero lo encontramos en el chocolate y en el cigarro, en nuestro estudio se analizó la concentración de este metal y los resultados obtenidos son: las hembras concentraron mayor cantidad  $16.1 \text{ mgKg}^{-1}$ , los machos concentraron  $15.4 \text{ mgKg}^{-1}$ . Los organismos de talla chica son los que más cadmio acumularon  $27.2 \text{ mgKg}^{-1}$ , seguidos de la talla mediana con  $13.5 \text{ mgKg}^{-1}$  y por último los de talla grande con  $13.2 \text{ mgKg}^{-1}$ . La talla de mayor acumulación fue la chica.

La legislación hispana y la legislación mexicana no contemplan límites para este elemento.

## Plomo

El plomo es uno de los metales que tienen un mayor efecto dañino sobre la salud humana, por ello es importante saber las concentraciones que se tienen en los acociles, en el presente estudio se obtuvieron los siguientes resultados: las hembras acumularon más plomo respecto de los machos con  $1.5 \text{ mgKg}^{-1}$ . La concentración mayor de plomo fue en organismos de talla grande, con  $1.8 \text{ mgKg}^{-1}$ , seguido de la talla mediana con  $0.9 \text{ mgKg}^{-1}$  y la talla chica con  $0.5 \text{ mgKg}^{-1}$ .

Al hacer la comparación por talla los organismos grandes acumularon más plomo.

Nuestras concentraciones de plomo son altas esto resulta por que los metales se sedimentan y los acociles interactúan con el sedimento además de que son de hábitos bentofagos.

Para los crustáceos el límite máximo permitido para plomo establecido por la legislación hispana (BOE, 1991) es de  $1 \text{ } \mu\text{g/g}$ , Se considerará a la Legislación Hispana por que en la normatividad mexicana no contempla límites de metales pesados para los crustáceos.

Comparando nuestros resultados con la legislación se observa que rebasan los límites permisibles para plomo, con los resultados que obtuvo Sánchez, L. F. (2002) en plomo tuvo  $0.9 \text{ } \mu\text{g/g}$  y Schilderman, P. A. (1999) no encontró plomo en su estudio se observa que nuestras concentraciones encontradas para plomo son mayores. Los organismos de talla grande concentraron más Pb lo que representa un riesgo para el ser humano debido a que el acocil es consumido por los habitantes del lugar.

Para determinar este especie se tiene que el primer pleópodo termina en tres partes, las estructuras terminales son espiniformes, truncadas, espatuladas o acanaladas

(Moctezuma, M. A. 1996), estas características nos sirvieron para demostrar que utilizamos la especie correcta.

### Diferencia en la bioacumulación de acocil y carpa

Los metales tienden a sedimentarse, por lo que fácilmente se pueden acumular en los acociles lo muestran los resultados. Ya que son organismos de hábitos bentofagos y se alimentan de detritus, en este estudio las concentraciones de los cinco metales analizados es mayor en los acociles que en la carpa que es de nado libre y se alimenta de materia vegetal y animal.

**Tabla 10. Promedios de metales pesados para las dos especies para cada metal en  $\text{mgKg}^{-1}$ .**

Elemento $\text{mgKg}^{-1}$ Organismo	Cadmio	Cromo	Hierro	Níquel	plomo
Carpa	5.4	17.9	140.8	17.8	2.3
Acocil	31.5	20.5	19.3	13.8	1.3

## 9. CONCLUSIONES

- Los órganos más afectados por Fe en *Ciprynus carpio* fueron el hígado y las branquias, las gónadas y músculo fueron afectados por Cr.
- *Ciprynus carpio* en engorda y madura es utilizada para la venta y mostró los niveles más elevados de acumulación de Fe, Ni y Cr. La talla juvenil acumuló Fe.
- *Ciprynus carpio* hembras y machos acumularon Fe y Ni.
- Los resultados muestran que *Ciprynus carpio* no debe es apta para consumo humano, ya que rebasa el LMP de metales pesados de 0.5 para Cd y 1.0 mgKg<sup>-1</sup> para Pb respectivamente, establecidos por la NOM-027-SSA1-1993.
- *Cambarellus montezuma* de talla grande bioacumularon Cr, Fe y Ni y los medianos y chicos principalmente Fe.
- *Cambarellus montezuma* hembras acumularon Fe y los machos Cr.
- La acumulación de Pb y Cd en *Cambarellus montezuma* rebasa los límites permitidos por la Legislación Hispana que es de 1 µg/g y no se recomienda para consumo humano.

## BIBLIOGRAFIA

Citada:

1. Aceves, S.C. 2003 Viabilidad del potencial uso acuícola de la carpa común (cyprinus Carpio) en la presa Manuel Ávila Camacho en el periodo 1941 – 1946, pp. 1 - 6
2. Aguilar, E. R. 1991 Producción y crecimiento en *cambarellus mpntezumae* (saussure), (crustacea: Astacidae), empleando alimento vegetal. Tesis de licenciatura UNAM, pp. 251
3. Aguilera, H. M. 1987 Rehabilitación de suelos de chinampas y su relación con las plantas cultivadas. boletín del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. Pp. 1-28.
4. Álvarez-del Villar, J. 1970. Peces mexicanos. Comisión Nacional Consultiva de Pesca. México
5. Al-Yousuf, M. H., M. S. El-Shahawi and S. M. Al-Ghais. 2000. Trace metals in liver, skin and muscle of *Lethrinus lentjan* fish species in relation to body length and sex. *The Science of the Total Environment*. Pp. 1 - 256
6. Anadon, A; Muñoz, M.J.; Ortiz, J.A. 1984. Acumulación tisular de Zinc, Plomo, Cobre, hierro y Cromo en Truchas de Río, *Salmo trutta fario*. Acción ecotoxicológica. An.INIA/Ser. Ganadera nº19. pp. 1 - 20
7. Amundsen, R. L.1997. Heavy metal contamination in freshwater fish from the border region between Norway and Russia. *The Science of the Total Environment* nº 20, pp. 211 - 224.
8. APHA AWWA WPCF 1996 Standard methods for the examination of water and waste water. Determinación de Metales. Determinación de componentes orgánicos. 17a Ed. Editorial American Public Health Association. New York.

9. Arcos, R. R., Cabrera M. E. 1996. La importancia del mejoramiento de la calidad del agua de los canales de Xochimilco sobre la economía y ecología de la región. La situación ambiental en México. Programa Universitario de Medio Ambiente. México.
10. Balfour, H. 1991. Cultivo de peces comerciales basado en las experiencias de las granjas piscícolas en Israel 3ª impresión editorial Limusa pp. 58 – 60 y 277 – 283
11. Benítez, H. A. 1993. Sensibilidad de las neuronas secretoras del acocil a la d-glucosa tesis para obtener el grado de maestro en ciencias, Universidad de Colima Facultad de medicina pp. 1 – 70
12. BOE, 1991. Límites de contenidos de metales pesados y métodos analíticos para la determinación de metales pesados para productos de la pesca y la acuicultura. Minist. Sanidad Consumo pp. 27153–27155.
13. Bols, N. C., Brubacher J. L, Ganassin R. C. and Lee L. E. J. 2001. Ecotoxicology and innate immunity in fish. *Developmental and Comparative Immunology*. Vol. 25 pp. 853-873.
14. Bortolini, R. J. 2004. Mapas de la región distal del cefalotórax del acocil *Procambarus clarkii* Universidad autónoma metropolitana Iztapalapa sociedad mexicana de histología a.c. Congreso Nacional de Histología memorias del 25 al 29 de octubre de 2004
15. Bousquets, L. 1996. Biodiversidad, taxonomía y biogeografía de artrópodos de México hacia una síntesis en su conocimiento, 1ª edición editorial UNAM, pp. 105, 113, 116
16. Bocek, A. 2007. Introducción al policultivo de peces, acuicultura y aprovechamiento del agua para el desarrollo rural Auburn University, international center for aquaculture and aquatic environments Alabama, pp. 1 – 12

17. Busto, V. Z. G. 2000. Estudio de bioacumulación de metales pesados en la carpa cyprinus carpio de la laguna de tecocomulco en hidalgo Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Centro de Investigaciones Biológica, Centro de Investigaciones Químicas. pp. 1 – 2
18. Cadena, U. M. I. 1977. Estudio de la distribución del mercurio en peces de importancia comercial del Golfo de México. Tesis. Facultad de Ciencias, UNAM. México.
19. Canli, M. 2003. The relationships between heavy metal (Cd, Cr, Cu, Fe, Pb, Zn) levels and the size of six Mediterranean fish species Environmental Pollution n° 121 pp. 129–136
20. Cantú, LL. 1959. Contribución al conocimiento de la embriología del acocil *Cambarellus capota*. Tesis. Facultad de Ciencias. UNAM México. pp. 34-36.
21. Cambero, J. 2002. Estado actual de la contaminación por metales pesados y pesticidas organoclorados en el parque natural de Monfragüe. Tesis Doctoral Universidad de Extremadura- Medicina y Sanidad Animal. pp. 120
22. Castro, G. R. V. 1993. Determinación del contenido de níquel en orina por el método de espectrofotometría de absorción atómica con horno grafito tesis para optar al título de: químico laboratorista. Universidad Tecnológica Metropolitana pp. 250
23. Celis, H. J. 2005. Recientes aplicaciones de la depuración de aguas residuales con plantas acuáticas. Teoría. Vol. 14 n° 1 pp. 17-25
24. Cervantes S. A. 2006. Análisis Estadístico un Enfoque Practico con Statgraphics. Editor UNAM- FES Z, México D. F, .Pp. 1213.



25. Cervera, L. J. 2006. Crecimiento, producción y eficiencias de energía de crías de acocil cambarellus montezumae (saussure) alimentadas con detritus de egeria densa Revista Electrónica de Veterinaria REDVET, Num. 12, pp. 1 – 11
26. Cisneros, I. L. P. 2005. Aspectos ambientales relacionados con la calidad del agua en Xochimilco D. F. Tesis Facultad de Ciencias UNAM pp. 45
27. Colección FAO: capacitación 1986. La carpa común parte 1 producción masiva de huevos y prealevines, organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación Roma. pp. 9, 13, 16,33
28. Cousillas, A. 2000. Contaminación del agua, anteproyecto avanzado muelle multiproposito "c" pp. 2 – 52
29. CONAMA, 2000. Capítulo VI: el agua, Octava Región del Bio-Bio.
30. CONABIO, 1998. La Biodiversidad Biológica de México: estudio del país; 1ª ed. Editorial Limusa, pp. 166
31. Curtidor, L. B. 1999. Determinación de metales pesados en sedimento y agua del estero "La Ventosa" Salina Cruz Oaxaca, México. Tesis Licenciatura Hidrobiología. Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa México. pp. 150
32. Dalman, M. A. 2006. Determination of heavy metals (Cd, Pb) and trace elements (Cu, Zn) in sediments and fish of the Southeastern Aegean Sea (Turkey) by atomic absorption spectrometry Food Chemistry nº 95 pp.157–162
33. Deacon, L. 1999. Distribution of trace elements in streambed Sediment associated with mining activities in the upper Colorado River Basin, Colorado, USA, Environ. Contam. Toxicol. nº 37 pp. 7-18.

34. Del Valle, R. R. 2004. Mapas de la región distal del cefalotórax del acocil, *Procambarus*: el atlas de resonancia magnética sociedad mexicana de histología a.c. universidad autónoma metropolitana Iztapalapa división de ciencias biológicas y de la salud XVIII CONGRESO NACIONAL DE HISTOLOGÍA EMORIAS 25 – 29 de octubre de 2004.
35. Del Valle, R. S. A. 2004. Modelo de experimentación básica para radiocirugía gamma y registros electrofisiológicos estereotácticos del crustáceo *Procambarus clarkii* (acocil o crayfish) Revista de Medica Sur Vol. 11 pp. 82-83
36. Demanyo, A. 1978. Forms of Metals in Water 3° Edición Scientific series n° 87 Ottawa, Canada pp. 1
37. Domínguez, R. L. 1985. Contaminación de suelos y aguas en la Ciénaga Grande, Xochimilco y su recuperación mediante el uso de mejoradores químicos y orgánicos (lavado), a nivel de invernadero. Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco. Pp18-20.
38. Duffus, J. H. 1983. Toxicología ambiental. Ed. Omega, Barcelona, España. Pp 1
39. Eboh L. 2006. Food Chemistry Vol. 97 pp. 490–497
40. Echarri, P. L. 1998. Ciencias de la Tierra y el Medio Ambiente. Libro electrónico. Tema 11. Contaminación del agua. España pp. 1 - 25
41. Farca, L. A. 1995. Efecto de diferentes ciclos de luz-obscuridad en el escafognatito del acocil *procambarus clarkii* durante el nictémero. Neurofisiología Comparada, Tesis Fac. De Ciencias, UNAM pp. 1-30
42. Farag, A. D. 1998. Concentrations of metals associated with mining waste in sediments, biofilm, Benthic Macroinvertebrates, and fish from the Coeur d'Alene River Basin, Idaho. Arch. Environ. Contam. Toxicol. n° 34 pp. 119-127.

43. Farrell, A. R. 1993. Cardiovascular system. In: Evans DH (Ed) The physiology of fishes. CRC Press, Ann Arbor, MI, pp. 219-250.
44. Flores P.L.1987. Contaminación del Pescado y sus productos por metales pesados FONAIAP DIVULGA n° 25, Estación Experimental pp. 1 - 55
45. Fragoso, M. C. 2003. Estudio comparativo del comportamiento productivo en acuario, del acocil (*Cambarellus montezumae*) alimentado con excretas de cerdo ensiladas y empastilladas contra un alimento comercial para tilapia *Revista Electrónica de Veterinaria* n° 2 Vol. 4 pp. 1 - 25
46. Giese, A. 1990. Fisiología Animal Comparada. Editorial Intercontinental, México. pp 4-9.
47. González, Y. J. 2002. Evaluación del crecimiento de la carpa común (*Cyprinus Carpio* var. *Communis*) alimentada con cerdaza ensilada, *Redalyc veterinaria México*, n° 002. Vol. 33 pp. 109 -118.
48. Hawley, 1993. Diccionario de química y de productos químicos, edición omega, S.A. pp. 466 – 467, 682, 898.
49. HIBIYA, T. 1982. Atlas of Fish Histology. Normal and Pathological Features. Kondansa Ltd. Tokyo, Japan PP. 55
50. HIRT, L. M. 2002. Toxicidad y respuesta histopatológica en *Cichlasoma dimerus* (pises cichlidae) expuesto a cloruro de cadmio en ensayos agudos y subletales El presente trabajo es una parte de la Tesis Doctoral Universidad Nacional del Nordeste Argentina pp. 17-32
51. Hobbs, H. H. 1991. Ecology and classification of northamerican freshwater invertebrates. Thorp and Covich Eds. Academic Press, pp. 823-858.
52. Holdrich, D. L. 1980. Freshwater crayfish, biology, management and exploitation. Timber Press pp. 480

53. Horng, C.L. 2002. Determination of urinary lead, cadmium and nickel in steel production workers Science n° 6, 8 Vol. 56 pp. 1 - 30
54. Huss, H. 1988. El pescado fresco: Su calidad y cambios de calidad. Manual de capacitación preparado por programa de capacitación FAO/DANIDA en tecnología pesquera y control de la calidad. Colección FAO: Pesca No. 29 pp. 1 - 30
55. INEGI, 2000. Cuaderno Estadístico Delegacional, Xochimilco, Distrito Federal pp. 1 - 30
56. JONES, J. R. E. 1971. Fish and river pollution. Butterworth & Co. (Publishers), London pp. 203
57. Karadede, H. and Unlu. E. 2000, Concentrations of Some Heavy Metals in Water, Sediment and Fish Species from the Ataturk Dam Lake (Euphrates), Turkey. Chemosphere pp.1 - 30
58. Labat, R; Pequignot, J; Chatelet, A. 1974. Toxic action of copper on the gills of carp (*Cyprinus carpio*) Ann Limnol n° 1 vol. 10 pp. 109-114.
59. LAGLER, K.1984. Ictiología. 1ª edición en español. Editorial AGT pp. 489
60. NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-027-SSA1-1993, BIENES Y SERVICIOS. PRODUCTOS DE LA PESCA. PESCADOS FRESCOS-REFRIGERADOS Y CONGELADOS. ESPECIFICACIONES SANITARIAS.
61. Norris H. 2000. Monitoring river health. Hydrobiología n° 435 pp. 5-17
62. Martínez, C. A. 2000. Determinación de Metales Pesados en el agua del canal de Cuemanco, Xochimilco por espectrofotometría de absorción atómica. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Metropolitana pp. 125

63. Marrugo, M. F. 2006. Impacto ambiental por contaminación con níquel, mercurio y cadmio en aguas, peces y sedimentos en la cuenca del río san jorge, en el departamento de Córdoba universidad de Córdoba pp. 1 – 104
64. Mazari, M. H. 2005. El agua como recurso. ¿Cómo ves? n° 76. pp. 1 - 35
65. Medina, G. F. 2000. Estudio hidrobiológico de la cuenca del Río amería para las predicciones de un desarrollo sustentable; Tesis Maestría en Ciencias Médicas; Universidad de Colima pp. 1-150
66. Moctezuma, M. A. 1996. Bases biológicas y técnicas para el cultivo del acocil *cambarellus montezumae*, t e s i s para obtener el grado de maestro en acuacultura, Universidad de Colima Facultad de Ciencias Marinas pp. 1 - 125
67. Mondragón, D. L. 1989. Evaluación de los efectos provocados por los metales pesados (cadmio y zinc) en los géneros (franixus *sp.*) Fresno y eucalipto (eucaliptos *sp.*) Así como en las propiedades del suelo bajo condiciones de invernadero. Durante el periodo nov. 1985 a Octubre de 1986. Tesis escuela nacional de estudios profesionales Zaragoza UNAM México. pp. 70 – 132.
68. Ortiz, R. J. 2005. Evaluación del estado trófico del lago de Xochimilco, México. Tesis Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM. México PP. 1 - 120
69. ONU, 1992. Departamento de Economía y Asuntos Sociales: División para el desarrollo Sostenible. Agenda 21. En <http://www.un.org/esa/sustdev/documents/agenda21/spanish/agenda21spchapter18.htm>
70. Peña, C. E., Carter D. E., Ayala, 2001. Evaluación de riesgos y restauración ambiental <http://superfund.pharmacy.arizona.edu/toxamb/>.
71. Pérez, S. 1982. Piscicultura, ecología, explotación, higiene, 1ª edición, editorial el manual moderno pp. 24, 29, 30,33

72. Prieto A. 1992. Tecnología de la pesca cubana y aseguramiento de su calidad, centro de investigaciones pesqueras pp.1 – 12
73. Ramo, B. C. J. 2001. Metales pesados, sales y sodio en suelos de chinampas en México. Agrociencia. Vol. 35 pp. 385-395
74. Ramos, L. D. 1994. Determinación de plomo y cobre en peces y manejo de sus residuos en el lago de Yojoa, hondura, Ecole Polytechnique Fédéral institut du genie de l'environnement ecotoxicologie Lausanne, Suisse COSUDE pp. 1 – 54.
75. Rodríguez, S. M. 2002. Balance energético del acocil *cambarellus montezumae* (*saussure*) (crustácea: cambaride) perdida de energía en la tasa metabólica, universidad y ciencia, Vol.18, pp.128 – 134
76. Rodríguez, G. 1980. Estudio de la calidad sanitaria del agua de la Delegación Xochimilco. Tesis Escuela Nacional de Ciencias Biológicas Instituto Politécnico Nacional. México. pp.105
77. Romano, L. A. 1999. Bioindicadores de Contaminación Acuática en Peces Centro de Biopatología Acuática Universidad Bar- Ilan Buenos Aires Argentina Revista AquaTIC nº 7 pp. 1 – 8
78. Romicampero, M. 1995. Relación entre el metabolismo y los cambios electrofisiológicos producidos por la glucosa en neuronas secretoras del acocil tesis para obtener el grado de Maestro en Ciencias universidad de Colima pp. 1 – 77
79. Rosas, M. M. 1976. Datos biológicos sobre el acocil del lago de Pátzcuaro *C. montezumae patzcuarensis*. Simp. Sobre pesquerías en aguas continentales. Tuxtla Gutiérrez Chis. pp. 89-123.
80. San Martín, H. 2001. Ecología humana y salud. 2a Ed. Ediciones Científicas. La Prensa Médica Mexicana S. A. de C. V. pp. 35

81. Sapunar, J. 1983. Cooper, Zinc and iron in fish. *Hrana i Isharana*, n° 9 Vol. 24 pp. 229-232.
82. Sanchez, L. F. 2002. Determination of heavy metals in crayfish by ICP-MS with a microwave-assisted digestion treatment *Ecotoxicology and Environmental Safety* 54 pp. 223–228
83. Schilderman, P. A. 1999. Use of Crayfish in Biomonitoring Studies of Environmental Pollution of the River Meuse *Ecotoxicology and Environmental Safety* 44, pp. 241 – 252
84. Sidwell, V. D. 1981. Chemical and nutritional composition of finfish, whale, crustaceans, mollusks and their products. Washington, DC: NOAA Technical memorandum, NME/SEC-11.
85. Spuch, A. 2004. Estudio de la calidad nutricional y susceptibilidad oxidativa de *Ciprinus carpio* cultivados en la región centrochaqueña. *Food Research* 19 n° 2 pp. 231 – 234.
86. Thorp, J. A. C. 1991. Ecology and classification of northamerican freshwater invertebrates. Academic Press. N. Y. pp.855
87. Valdés, D. M. 1999. La contaminación por metales pesados en torreón, Coahuila, México, 1ª edición en defensa del ambiente, a.c. pp. 1 – 50
88. Vargas, L. B. 1989. Notas preliminares sobre el acocil *CC montezumae* del lago de Xochimilco D.F. IV Cong. Nal. de Fauna Silvestre. México D. F. pp. 82-88
89. Vázquez, L. 1998. Mecanismo de inmunidad en crustáceos *interciencia* n° 6 Vol. 23 pp. 334 – 348
90. Villalobos, F. A. 1995. Camerinos de la fauna mexicana (crustacea: decapada) Tesis. Facultad de Ciencias. UNAM México D. F. pp.290

91. Villalobos, F. A. 1943. *Cambarellus montezumae patzcuarensis*. An. Instituto de Biología. UNAM. México D. F. n° 2 Vol. 14 pp. 607-611
92. Vogel, M. E. 1997. Contaminación, Contaminantes y Ambiente. In: Ciencia Ambiental y Desarrollo Sostenible. Internacional Thomson Editores pp. 1 - 25
93. Walker, C. 1975. Environmental pollution by chemicals. 2° Edición. Hutchinson and Co (Publishers) Ltd. Gran Bretaña pp. 25
94. Widianarko, B., Van Gestel. C. A. Verweij R. A. and Van Straalen N. M. 2000. Associations between trace metals in sediment, water, and guppy, *Poecilia reticulata* (Peters), from urban streams of Semarang, Indonesia. *Ecotoxicology and Environmental Safety* pp. 1 - 30
95. World Health Organization, 1992. Environmental Health Criteria 134. Cadmium Geneva, Switzerland pp. 45
96. Yankelevich, G. N. 2003. Forjadores de la ciencia en la UNAM Ciclo de conferencias «Mi vida en la ciencia» [http://www.cicctic.unam.mx/pagina\\_cic/nueva\\_cic/difusion/forjadores/download/Yankelevich.pdf](http://www.cicctic.unam.mx/pagina_cic/nueva_cic/difusion/forjadores/download/Yankelevich.pdf).

Consultada:

1. Alcorlo, P. 2006. The use of the red swamp crayfish (*procambarus clarkia, girard*) as indicator of the bioavailability of heavy metals in environmental monitoring in the River Guadiamar (SW, Spain), *science of the total environment* 366, pp. 380-390
2. Albert 1995. Curso básico de toxicología ambiental, editorial Limusa 2da edición, pp. 304
3. Antón, A. 2000. The use of two species of crayfish as environmental quality sentinels: the relationship between heavy metal content, cell and tissue biomarkers and physico-chemical characteristics of the environment, *the science of the total environment* 247 pp. 239-251



4. Atta, M. B. et. Al.1997. The effect of cooking on the content of heavy metals in fish (*Tilapia nilotica*) Elsevier Science Vol.5 8 No. 1-2 pp. 1- 4,
5. Bitne, S. B. 1997. Metal accumulation in crayfish, *procambarus clarkii*, exposed to a petroleum-contaminated Bayou in Louisiana, *ecotoxicology and environmental safety* 37, pp 267-272
6. Cardwell J. A. 2002. Metal accumulation in macrophytes from southeast Queensland, Australia. *Chemosphere*, No 48, pp 653 – 663.
7. CASTRO A. 2006. Validación de métodos analíticos por espectrofotometría de absorción atómica para aguas geotérmicas, tesis para obtener el título licenciado en química y farmacia universidad nueva san Salvador U. N. S. S. A. Facultad de ciencias puras y aplicadas facultad de química y farmacia pp. 1 - 130
8. DGCOH 2000. Informe Anual de Contenido de Sólidos, Metales Alcalinos y Alcalinos Térreos, Metales Pesados del Agua de la Planta de Tratamiento de Agua Residual Cerro de la Estrella Subdirección de Desarrollo Tecnológico. DDF. México, D. F. pp. 1 - 30
9. Domínguez R. A. 2004. Evaluación de la concentración de metales pesados (Cd, Cr, Pb y Zn) tanto en la columna de agua como en tres especies de macrofitas acuáticas: lirio (*Elchhornia crassipes*), lentejilla (*Lemna gibba*) y elodea (*Egeria densa*) en el lago de Xochimilco. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza UNAM pp. 1 - 35
10. Rodríguez M. L. 1982. Evaluación de un calentador sola rústico con funcionamiento nocturno para el cultivo del acocil mexicano *C. mntezumae* en climas templados. Tesis. CONALEP. El Zarco México pp.70
11. Eboh, L. 2006. Heavy metal contaminants and processing effects on the composition, storage stability and fatty acid profiles of five common commercially available fish species in Oron Local Government, Nigeria *Food Chemistry* 97 pp. 490–497

12. Fergusson, M. D. 1990. The heavy elements, chemistry environmental impact and health effects. Ed. Pergamon press, USA. pp. 614
13. Franca, P.L. 2006. Heavy metal concentrations in sediment, benthic invertebrates and fish in three salt marsh areas subjected to different Pollution loads in the Tagus Estuary (Portugal) *Baseline / Marine Pollution Bulletin* 50 pp. 993–1018
14. Fregoso A. T. 1993. Etograma del comportamiento alimentario del acocil *Cambarelus zempoalensis* (Astacidae). XII Cong. Nal. De Zoología Facultad de Ciencias Biológicas. U. A. N.L. Monterrey, Nuevo León. Pp. 60.
15. García M.D. 1992. Contaminantes tóxicos prioritarios en agua, editorial Aurora González Calderón 1ª edición pp. 185
16. González, J. M. 1992. Cuantificación de Arsénico, Cadmio, Mercurio y Plomo en Pescados y Mariscos por espectrofotometría de absorción atómica. Tesis Q.F.B., UNAM. México pp. 107
17. Hattink, J. et. al. 2005. the toxicokinetics of cadmium in carp under normoxic and hypoxic conditions, *Aquatic Toxicology* 75 pp. 1–15
18. López, S. 2003. Characterization of digestive gland esterase-lipase activity of juvenile redclaw crayfish *Cherax quadricarinatus*, *Elsevier comparative biochemistry and physiology part B* 135, pp. 337-347
19. Núñez L. R. 2004. Fitorremediación: fundamentos y aplicaciones. *Ciencia. Revista de la Academia Mexicana de ciencias*. N 3. Vol. 55 pp. 42
20. Mansour, S. A. 2002. *Ecotoxicological Studies*. 3. Heavy metals contaminating water and fish from Fayoum Governorate, Egypt Food Chemistry Pesticide Chemistry Department, National Research Centre, Dokki, Cairo, Egypt 78 pp. 15–22

21. Miretzky, P. 2004. Aquatic macrophytes potentials for the simultaneous removal of heavy metals. (Buenos Aires, Argentina). *Chemosphere* 57 (2004) pp. 997 – 1005.
22. Osher, A. 2006. Heavy metal contamination from historic mining in upland soil and estuarine sediments of Egypt Bay, Maine, USA *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 70 pp. 169 – 179
23. Rodríguez, G. A. 2000. Biodiversidad de crustáceos dulceacuícolas del centro de nuevo león y noroeste de Tamaulipas (rió san Juan y río pesquería) Universidad autónoma de nuevo león facultad de ciencias biológicas departamento de zoología de invertebrados conabio pp. 1 – 33
24. Rowe, L. 2001. Metabolic costs incurred by crayfish (*procambarus acutus*) in a trace element-polluted habitat: further evidence of similar responses among diverse taxonomic groups, comparative biochemistry and physiology part C129 pp. 275-28
25. Sosa, C. G. 1990. Determinación y Cuantificación de Plomo y Cadmio en pescado seco salado por espectrofotometría de absorción atómica. Tesis Biólogo. FES -ZARAGOZA. UNAM pp. 1 - 40
26. Standard conditions for Zn and Cu. Analytical methods for atomic absorption spectrophotometry "Perkin-Elmer"
27. Stephen, M. 2004. Distribution of heavy metals in marine bivalves, fish and coastal sediments in the Gulf and Gulf of Oman *Marine Pollution Bulletin* 49 pp. 410– 424
28. Turkmen, A. 2005. Analytical, Nutritional and Clinical Methods Heavy metals in three commercially valuable fish species from Iskenderun Bay, Northern East Mediterranean Sea, *Turkey Food Chemistry* 91pp. 167–172

29. Zayed, M. A. 1994. Comparative study of seasonal variation in metal concentrations in river Nile sediment, fish and water by atomic absorption spectrometry microchemical journal 49 pp. 27-35

30. Zhang, B. 2005. Heavy metal and Pb isotopic compositions of aquatic organisms in the Pearl River Estuary, South China Environmental Pollution 138 pp. 494-504

Bibliografía de anexos:

1. APHA, AWWA WPCF 1996. Standard methods for the examination of water and waste water. Determinación de Metales. Determinación de componentes orgánicos. 17a Ed. Editorial American Public Health Association. New York.

2. Douglas, P. R. 2001. Principios de análisis instrumental, editorial Mc-Graw Hill 5ta edición, pp. 141 – 142

3. Galván, Z. 2004. Manual básico de absorción atómica para el manejo del equipo espectral 200 marca varían UNAM, Fes – Zaragoza laboratorio de servicios de la carrera de biología (absorción atómica)

4. Jiménez A. 2002. La Contaminación en México: Causas, Efectos y Tecnología Apropriada. Ed. Limusa, Colegio de ingenieros ambientales de México, a. C., Instituto de Ingeniería de la UNAM y FEMISCA. PP. 925

5. Pecsok, L. 1977. Métodos modernos de análisis químico, editorial Limusa 1ra edición pp. 161 – 192

6. West, N. 1975. Análisis instrumental editorial Interamericana 1ra edición, pp. 117 – 120

## ANEXO 1

Espectroscopia de absorción atómica.

En un análisis de la absorción atómica el elemento que se determina debe ser reducido al estado elemental, vaporizado e introducido en el haz de radiación procedente de la fuente. Este proceso se logra más frecuente mente llevando un soluto de la muestra, como una fina niebla, a una llama apropiada (West, 1975; Douglas, 2001).

La espectroscopia de absorción atómica (AA) comprende el estudio de la absorción de energía radiante en una longitud de onda específica para cada elemento, por átomos neutros en estado gaseosos (Douglas y col. 2001).

La espectroscopía atómica se basa en la absorción, emisión o fluorescencia por átomos o iones elementales. Hay dos regiones del espectro que dan información atómica ultravioleta/visible y la de rayos X.

Campos de la espectroscopía atómica.

1.- ABSORCIÓN ATÓMICA DE FLAMA: Cuando la luz de una determinada longitud de onda incide sobre un átomo libre en estado fundamental, el átomo puede absorber energía y pasar al estado excitado, en un proceso conocido como absorción atómica.

2.- EMISIÓN ATÓMICA: La muestra es sometida a una alta energía y temperatura con el objeto de producir átomos al estado excitado, que sean capaces de emitir luz. La fuente de energía puede ser un arco eléctrico, con una llama o más recientemente un plasma, este espectro de emisión puede usarse como una característica única para la identificación cualitativa del elemento.

3.- FLUORESCENCIA: Muchos sistemas químicos son fotoluminiscentes, es decir, que pueden ser excitados por radiación electromagnética y como consecuencia vuelven a emitir radiación de la misma longitud de onda o de una longitud de onda modificada. La medición de la intensidad de la fluorescencia permite determinar cuantitativamente vestigios de muchas especies inorgánicas y orgánicas, sin embargo la fluorescencia es menos aplicable que los métodos de absorción, debido al número relativamente limitado de sistemas químicos que puede hacerse que produzca fluorescencia (Galván, 2004).

Componentes de un espectrofotómetro de absorción atómica

- 1) Fuente de luz o fuente estable de energía radiante (lámpara de cátodo hueco (LCH) o de descarga sin electrodos: Emite las líneas atómicas características del elemento a ser analizado.
- 2) Dispositivo que permita utilizar una región de longitud de onda restringida (sistema óptico): El sistema óptico tiene por objeto recolectar la luz de la fuente de radiación, haciéndola incidir a través de una muestra y enfocarla hacia el monocromador para ser dispersada y analizar en ciertas líneas analíticas de interés. Para efectuar esta operación se utilizan varios dispositivos tales como: lentes, espejos y divisores o cortadores del haz luminoso.
- 3) Un medio para medir luz específica. Un detector de radiación o transductor que convierte la energía radiante en una señal utilizable, por lo general eléctrica (detector): la función del detector es convertir la radiación en una señal medible (eléctrica) la señal eléctrica es entonces amplificada y usada para dar una medida cuantitativa de absorción.
- 4) Dispositivo de procesamiento de la señal y lectura: Después de amplificada la señal, ésta puede interpretarse como una gran variedad de dispositivos de lectura: medidor digital, registrador e integrador.
- 5) Sistema atomizador (nebulizador, cámara de mezclado, quemadores, estequiometría de la flama, sistema de quemador y proceso de atomización): se hace necesario generar un vapor atómico en el paso del rayo de luz de la fuente, esto se obtienen generalmente al introducir la muestra en un quemador o alternativamente en un horno eléctricamente calentado que se encuentre alineado en el paso óptico del espectrofotómetro. (Pecsok ,1977; Galván, 2004).

## ANEXO 2

El método que se emplea para determinar un compuesto se llama técnica analítica y puede ser: volumétrica, calorimétrica, espectrométrica, electroquímica o cromatográfica.

- Volumétrica. Estos métodos son también conocidos como “por titulación”. Por su sencillez, son ampliamente empleados, principalmente en los laboratorios con escasos recursos analíticos. Ejemplos de técnicas volumétricas son las determinaciones de la acidez, alcalinidad, cloruros, el punto final de la DQO, la dureza, oxígeno disuelto.
- Colorimétricos. Consiste en hacer reaccionar al compuesto que se va a analizar para formar una solución con color (en el espectro visible o ultravioleta) y medir la absorbancia de la solución resultante.
- Espectrométricas. Tiene el mismo principio que las colorimétricas, sólo que no miden la cantidad de color formado, sino la pérdida o emisión de la luz al hacer incidir un rayo sobre la solución. Existen dos clases: la absorción atómica y la espectroscopia de emisión.
- Absorción atómica. Este método se basa en la absorción de una luz monocromática por una nube de átomos del metal que se va a analizar. La luz monocromática es producida por una fuente emisora fabricada con el mismo tipo de átomos que se quiere determinar y que produce una fuente de radiación electromagnética de muy alta selectividad. Los métodos de absorción incluyen flama y técnicas electromagnéticas.
- Espectroscopia de emisión. Muchos metales pueden ser analizados al observar las líneas espectrométricas que emiten cuando son calentadas con flama o por medio de una descarga eléctrica producida entre electrodos de grafito (espectroscopia de emisión). En 1976, esta técnica se asoció con plasma (argón gaseoso ionizado) para analizar hasta 30 componentes en forma simultánea, situación frecuente en aguas contaminadas.
- Los métodos de inducción con plasma (ICP) se aplican en una amplia gama de compuestos y son especialmente sensibles a los compuestos refractarios. Sirven para efectuar una búsqueda global (barrido) de varios metales, especialmente cuando se cree tener interferencia en los métodos colorimétricos.

Entre los metales que se detectan con esta técnica se encuentran: Ba, Be, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Sn, V y Zn.

- Métodos electroquímicos (electrodos), Cromatografía. (Jiménez, 2002).