



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

**Evaluación de metales pesados en *Chirostoma jordani*
(Woolman, 1894) en el canal de Cuemanco:
Xochimilco, Ciudad de México**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
BIÓLOGA

P R E S E N T A
MARIANA VERA GRANADOS

DIRECTOR DE TESIS
DR. JOSÉ ROMAN LATOURNERIÉ CERVERA



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.

Hoja de Datos del Jurado

1. Datos del alumno.

Vera
Granados
Mariana
5551075152
Universidad Nacional Autónoma De México
Facultad de Ciencias
Biología
311323526

2. Datos del Asesor.

Dr
Latournerié
Cervera
José Román

3. Datos del sinodal 1

Dr
Kobelkowsky
Díaz
Abraham

4. Datos del sinodal 2

M en C
Rosiles
Martínez
J. René

5. Datos del sinodal 3

Dra
López
Rivas
Rebeca María

6. Datos del sinodal 4

Dr
Cárdenas
Vázquez
René de Jesús

7. Datos del trabajo escrito

Evaluación de metales pesados en *Chirostoma jordani* (Woolman, 1894) en el canal de Cuemanco: Xochimilco, Ciudad de México

43 p.

2019

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. José Roman Latournerié Cervera por su disposición y consejos en la realización de esta tesis, por todo el apoyo y conocimientos compartidos desde el primer día de clase.

A la bióloga Dafne Bonilla Cerquedo agradezco su apoyo incondicional, las aportaciones a nivel académico y su gran amistad.

Al M Sc. J. René Rosiles Martínez por abrirme las puertas de su laboratorio para la medición de los metales, por su valioso tiempo y paciencia para la realización de este trabajo.

A todo el equipo de trabajo del laboratorio de Acuicultura y Producción Acuática: José, Eunice, Diana, Estefanía, Alfredo y Felix, por su ayuda en las mediciones de metales en la Facultad de Veterinaria y Zootecnia y todo el apoyo brindado. Por su gran amistad y los agradables momentos en las salidas de campo y en el laboratorio.

A los miembros del jurado agradezco el tiempo brindado, sus sugerencias, críticas y comentarios: Dr. Abraham Kobelkowsky, Dra. Rebeca López y Dr. René Cárdenas.

Finalmente agradezco a las U.N.A.M. y a la Facultad de Ciencias por todo lo aprendido, las enseñanzas y las experiencias que me hacen sentir orgullosa de pertenecer a esta universidad.

DEDICATORIAS

A mis padres Por brindarme su amor, apoyo, por la paciencia y grandes esfuerzos invertidos, sin ustedes jamás lo habría logrado.

A mi hermana Por estar conmigo y ser mi confidente incondicional.

A mi sobrino Por ser mi motivación y darme la felicidad en cada sonrisa y travesura.

A mis abuelos Por su cariño y ser un ejemplo de vida.

A mi novio Por haber llegado a mi vida y creer en mí, por alentarme para no rendirme, y por todos esos momentos tan bonitos y divertidos que pasamos juntos.

A mi Porque me siento orgullosa de haber logrado una de las metas de mi vida.

A la memoria de mi abuela Amelia

RESUMEN

El presente estudio se planteó con la finalidad de evaluar el impacto antropogénico causado por la posible bioacumulación de elementos minerales en el charal *Chirostoma jordani*, considerando el deterioro ambiental que tiene el remanente del sistema lacustre de Xochimilco, y que ha influido en la disminución de la biodiversidad en este sitio, afectando a las diversas especies nativas en el área, específicamente *C. jordani*, especie que aún prevalece en el área de canales y se ha reportado en el canal de Cuemanco, Xochimilco. El diseño de la investigación evaluó la concentración de nueve metales: Ca, Mg, Na, K, Zn, Fe, Cu, Pb y Cd en especímenes juveniles y adultos de *C. jordani* durante los meses de febrero a julio del 2014 y luego agrupados como épocas (fría: febrero – marzo y cálida: abril – julio respectivamente). Las mediciones se efectuaron por medio de un espectrómetro de absorción atómica con flama, y las concentraciones de metales en el tejido del pez se expresaron en miligramos sobre gramo peso seco (m/g PS). La acumulación de metales en el charal se encontró en el siguiente orden: Ca>Fe>Mg>Na>K>Zn>Pb>Cu>Cd. Se detectaron diferencias significativas en las concentraciones de metales Na, Fe, Zn y Cu en el tejido de *C. jordani* entre los meses de muestreo, épocas y sexo, presentando los machos concentraciones superiores a las hembras ($p<0.03$). Todos los metales analizados fueron encontrados en concentraciones muy altas de acuerdo con los límites máximos permisibles de diversas normas internacionales y la NOM- 027- SSA1 - 1993 de nuestro país. Para el caso del Zn y Cu la proporción en tejido es de 2 a 3 veces la permisible y para Pb y Cd su bioacumulación en tejido fluctúa entre 13 – 37.6 y 8 – 10.7 respectivamente (de acuerdo a la época del muestreo o sexo analizado). No obstante, los riesgos y beneficios en la salud humana van a depender de la frecuencia y el tamaño de ración que se consume.

Palabras clave: *Chirostoma jordani*, Xochimilco, elementos minerales, riesgo ambiental, consumo.

Contribución No. 201. Laboratorio de Acuicultura y Producción Acuática. Departamento de Biología Comparada (DBC), Facultad de Ciencias, UNAM.

ABSTRACT

The present study was proposed in order to evaluate the anthropogenic impact caused by the possible bioaccumulation of mineral elements in *Chirostoma jordani*, considering the environmental deterioration of the lacustrine system of Xochimilco, which has influenced the decrease of biodiversity in this site, affecting the various native species in the area, specifically *C. jordani*, a species that still prevails in the channel area and has been reported in the Cuemanco channel. The research design evaluated the concentrations of nine metals: Ca, Mg, Na, K, Zn, Fe, Cu, Pb and Cd in juvenile and adult specimens of *C. jordani* during the months of February to July of 2014 and then grouped as epochs (cold: February – March and warm: April - July respectively). The measurements were made by means of a flame atomic absorption spectrometer, and the concentrations of metals in the fish tissue were expressed in milligrams on gram dry weight (m/ g d. w.). The metal accumulation in the charal was found in the following order: Ca>Fe>Mg>Na>K>Zn>Pb>Cu>Cd. Significant differences were detected in Na, Fe, Zn and Cu metal concentrations in *C. jordani* tissue between sampling months, epochs and sex, with males presenting higher concentrations than females ($p<0.03$). All metals analyzed were found in very high concentrations according to the maximum permissible limits of various international standards and the NOM-027-SSA1-1993 of our country. In the case of Zn and Cu the proportion in tissue is 2 to 3 times the permissible and for Pb and Cd their bioaccumulation in tissue fluctuates between 13 – 37.6 and 8 – 10.7 respectively (according to the time of sampling or sex analyzed). However, the risks and benefits in human health will depend on the frequency and size of the ration consumed.

Key words: *Chirostoma jordani*, Xochimilco, mineral elements, environmental risk, consumption.

Contribution No. 201. Aquaculture and Aquatic Production Laboratory. Department of Comparative Biology (DBC). Faculty of Sciences, UNAM.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. <i>Chirostoma jordani</i> (Woolman, 1984).....	11
Figura 2. Xochimilco, Ciudad de México, 2017	17
Figura 3. Canal de Cuemanco, Xochimilco, Ciudad de México, 2016	19
Figura 4. Biometría de <i>C. jordani</i> . LT-longitud total, LP-longitud patrón, Alt. Máx- altura máxima y An. Máx- ancho Máximo.....	19
Figura 5. Secado de ejemplares en estufa a 60°C···	20
Figura 6. Macerado de ejemplares en el mortero..	20
Figura 7. Filtrado de muestras, posterior a la digestión.....	21
Figura 8. Espectrómetro de absorción atómica con flama modelo Perkin Elmer 3110.....	22
Figura 9. Gráfico de canónicas señalando las diferencias en la composición de metales en tejido de charal <i>C. jordani</i> . Comparación por sexos (A) hembras, (B) machos en los diversos meses de muestreo. Febrero, marzo, junio y julio: 2, 3 6 y 7 respectivamente	29
Figura 10. Gráfico de canónicas señalando las diferencias en la composición de metales en tejido de charal <i>C. jordani</i> . Comparación por sexos (A) hembras, (B) machos en las distintas épocas de muestreo. Fría (Febrero y marzo) y cálida (junio y julio): 1 y 2 respectivamente	30

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Contenido de metales en <i>Chirostoma jordani</i> de Xochimilco. Comparación entre meses de muestreo. (n=8). Media \pm DS.....	24
Cuadro 2. Contenido de metales en <i>C. jordani</i> de Xochimilco. Comparación entre adultos (marzo y junio) y juveniles (abril). Media \pm DS.....	27
Cuadro 3. Comparativo de límites Permisibles de Metales pesados de acuerdo a distintas legislaciones internacionales, la nacional y los del estudio. ($\mu\text{g/g}$).	32

INDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS

DEDICATORIAS

RESUMEN

ABSTRACT

LISTA DE FIGURAS Y CUADROS

INDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES.....	2
2.1 Antecedentes del género <i>Chirostoma</i>	2
3. MARCO TEÓRICO.....	3
3.1 Generalidades de los Elementos Minerales (EM)	3
3.1.1 Calcio	4
3.1.2 Magnesio	5
3.1.3 Sodio y Potasio	6
3.1.4 Hierro	6
3.1.5 Zinc.....	7
3.1.6 Cobre.....	8
3.1.7 Cadmio	9
3.1.8 Plomo.....	10
3.2 Características generales de charal <i>Chirostoma jordani</i>	10
3.3 Ubicación Taxonómica	12
3.4 Distribución de charal <i>Chirostoma jordani</i>	12
3.5 Habitos alimenticios de charal <i>Chirostoma jordani</i>	13
3.6 Aspectos reproductivos de charal <i>Chirostoma jordani</i>	13
3.7 Usos del charal <i>Chirostoma sp.</i>	14
4. JUSTIFICACIÓN.....	15
5. OBJETIVO	16

5.1	Objetivo general.....	16
5.2	Objetivos particulares.....	16
6.	HIPÓTESIS	16
7.	MATERIAL Y MÉTODO.....	16
7.1	Área de estudio.....	16
7.2	Fase de campo	18
7.3	Fase de laboratorio.....	19
7.4	Análisis estadístico.....	22
8.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	23
9.	CONCLUSIONES	34
10.	RECOMENDACIONES.....	35
	LITERATURA CITADA.....	36

INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas dulceacuícolas proporcionan diversos beneficios a la sociedad, además de servir de hábitat fundamentales para una amplia variedad de especies, (Bucher et al, 1997). A pesar de su importancia, estos ecosistemas posiblemente sean los más afectados por la actividad humana; dado que los 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). Tal es el caso del Lago de Xochimilco, el cuál es uno de los cuerpos de agua más importantes en la ciudad de México. En este lago la fauna terrestre, acuática y aérea fue muy abundante; desgraciadamente por diversas causas, tanto naturales como antropogénicas, entre ellas actividades como la introducción de especies exóticas, el vertimiento de aguas residuales y la sobreexplotación de sus recursos hídricos; las especies nativas y endémicas han ido desapareciendo paulatinamente (Saldívar, 2007), y otras están en peligro de desaparecer, como es el caso de los charales del género *Chirostoma*, actualmente representado por *Chirostoma jordani*, especie endémica de nuestro país y nativo del lugar (Rangel, 2017). Ésta especie ha disminuido de forma alarmante, por lo cual es un claro ejemplo del daño ocasionado a las especies por el deterioro de los cuerpos de agua de Xochimilco, ya que las poblaciones de este género, que hasta hace unos años era considerado como uno de los más comunes en el lago (Miranda, 2002).

De acuerdo con Bojórquez y colaboradores (2017) la calidad del agua de los canales y la zona lacustre de Xochimilco se deterioró de manera drástica a mediados del siglo XX, debido a las descargas de agua semi tratada proveniente de la Planta de Tratamiento del Cerro de la Estrella y la de San Luis Tlaxialtemalco. Según Burali (1989) estas plantas se construyeron para reestablecer el nivel del agua de los canales, y éstas no tienen la capacidad para realizar un proceso de tratamiento terciario. Por lo tanto, las aguas residuales que llegan a los canales, aportan metales pesados, microelementos y otras sustancias (Vega, 2010), las cuales se han ido distribuyendo, circulando y acumulando en el agua, los sedimentos y los organismos locales, y cuyos

efectos se combinan con otros factores de deterioro como la acumulación de sales y especies invasoras, disminuyendo en último término los recursos naturales y la calidad de vida de la comunidad humana local (Bojórquez et al., 2017).

La contaminación ambiental es peligrosa para los organismos acuáticos ya que los contaminantes tanto en la tierra como en el aire eventualmente se acumulan en los ambientes acuáticos. Entre ellos, los metales pesados y otros metales representan serios problemas ambientales debido a su persistencia, toxicidad y su tendencia a acumularse en los organismos (Ergül et al., 2008). Estas sustancias tóxicas en el agua representan un serio riesgo para los organismos acuáticos y la seguridad pública, ya que estos contaminantes frecuentemente se incorporan en la cadena alimenticia por el agua, microorganismos, plantas, peces y luego entran al cuerpo humano a través de la ingesta de agua y alimentos de la industria pesquera (Sfakianakis et al., 2015).

ANTECEDENTES

2.1 Antecedentes del género *Chirostoma*

Se han realizado diversos estudios del género enfocados a aspectos biológicos, histológicos, de hábitos alimenticios, de reproducción natural y en cautiverio. Los estudios más recientes incluyen aspectos anatómicos y bioenergéticos.

En cuanto a estudios anatómicos, Kobelkowsky y Figueroa (2018), efectuaron una descripción del sistema digestivo de *C. humboldtianum* en la etapa adulta, incluyendo el tracto digestivo e hígado, esqueleto visceral y musculatura visceral; con ejemplares provenientes de la presa Tiacaque, Jocotitán, Edo de México, México. En este estudio los autores también hicieron una comparación de la morfología del sistema digestivo de *C. humboldtianum* con la de *Chirostoma estor estor* de un trabajo previo realizado por Kobelkowsky (2012). De lo anterior sobresalen aspectos morfológicos del tracto digestivo de *C. humboldtianum* como la ausencia del estómago, de los ciegos pilóricos y de la válvula intestinal, así como también se concluye que ambas especies comparten ciertas características que probablemente corresponden a las del género *Chirostoma*, como lo son la presencia de una placa

dentaria en cada ceratobranquial 4, la presencia del cartílago "interfaríngeo", la amplia inserción del músculo *levator operculi* (elevador del opérculo) sobre la parte externa del hueso opercular, la definición de las secciones A1, A2, A3 y Aw del músculo *adductor mandibulae* (aductor mandibular), la presencia del complejo tendinoso de la sección A1 del músculo *adductor mandibulae*, la presencia de un nuevo músculo o sección muscular del *pharyngoclavicularis externus* (faringoclavicular externo), no registrado en el resto de los teleósteos, denominado en el presente trabajo como "sección B" del mismo músculo, la definición del origen de cada músculo *retractor dorsalis* (retractor dorsal) en los centros vertebrales 2 a 4, y mayor desarrollo del lóbulo hepático derecho. Finalmente como lo mencionan los autores, este tipo de estudios son de suma importancia para conocer los mecanismos de alimentación, que permitan implementar el cultivo y la conservación de estas especies.

Por su parte, Rangel (2017), determina los elementos P y R de la ecuación general del balance de energía de *Chirostoma jordani*, la tasa de crecimiento en dos épocas del año y las diferencias entre pérdida de energía por respiración e inversión en el crecimiento, así como también su posible relación con las propiedades de la calidad del agua en los canales de Xochimilco. En sus resultados reportó que la tasa de crecimiento promedio es mayor de marzo a mayo que de septiembre a noviembre. Además determino que la inversión de energía en metabolismo de rutina depende de la temperatura del agua y la talla de los organismos, es decir, que hay mayor inversión de energía en organismos de tallas pequeñas y a temperaturas altas. Asimismo, detectó que la calidad de agua tiene una variación espacio-temporal por lo cual la superficie de los canales tiene las mejores condiciones para el desarrollo y supervivencia de *C.jordani*.

MARCO TEÓRICO

3.1 Generalidades de los Elementos Minerales (EM)

Actualmente, el término "metal pesado" es utilizado para referirse de una manera amplia a aquellos elementos (metales o metaloides) con potencial de causar problemas de toxicidad (Alloway, 2013). Y se define como un elemento que tiene propiedades metálicas como ductibilidad, conductividad, densidad, estabilidad como

catión y especificidad a ligando (Garbisu y Alkorta, 2003). Bajo la denominación de metales pesados se incluye a un conjunto de 65 elementos de la tabla periódica con un número atómico mayor a 20 y con una alta densidad relativa mayor o igual a 5g/cm^3 en su forma elemental. Estos presentan diferentes características fisicoquímicas y biológicas, se encuentran generalmente como componentes naturales de la corteza terrestre, en forma de minerales, sales u otros compuestos (Abollino et al., 2002); como micronutrientes o cofactores enzimáticos y pueden estabilizar estructuras proteicas, facilitar el transporte de nutrientes y la neutralización y control de la presión osmótica (Rajendran et al., 2003).

Los metales pesados o elementos minerales, se clasifican en tres clases de acuerdo a sus funciones y efectos biológicos: 1) elementos minerales esenciales con funciones biológicas conocidas que son requeridos en cantidades traza como nutrientes para la vida de los organismos, y que su ausencia causa enfermedades y su exceso intoxicaciones (Na, K, Mg, Ca, V, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Mo y W); 2) elementos minerales tóxicos, los cuales pueden ejercer un efecto nocivo aún en bajas concentraciones (Ag, Cd, Cr, Sn, Au, Hg, Ti, Pb, Al y metaloides Ge, As, Sb y Se) y 3) elementos minerales no esenciales, que no son tóxicos y sus efectos biológicos son desconocidos (Rb, Cs y Sr) (Guevara, 1995).

Múltiples sistemas fisiológicos en los peces son afectados por los metales (comúnmente las branquias) y la toxicidad de estos depende de la forma y especiación metálica, biodisponibilidad, toxicocinética (absorción, distribución, biotransformación y excreción) y toxicodinámica (interacciones con ligandos) (Kennedy, 2011). Además, es bien conocido que la acumulación de metales en las especies, depende del ambiente, del agua, el lugar donde son capturadas, la estación, el nivel trófico, el sexo y el tamaño (Yilmaz, 2007).

Elementos Minerales Esenciales

3.1.1 Calcio

Función: El calcio, junto con el fósforo están directamente involucrados en el desarrollo y mantenimiento del sistema esquelético y participan en varios procesos

fisiológicos. Las escamas de pescado son un sitio importante de metabolismo y depósito de calcio. Además de sus funciones estructurales, el calcio desempeña un papel importante en la contracción muscular, la formación de coágulos sanguíneos, la transmisión del impulso nervioso, el mantenimiento de la integridad celular y el equilibrio ácido-base, así como la activación de varias enzimas importantes (Young et al., 1993).

Absorción: Los peces absorben calcio directamente de su entorno (Phillips et al., 1959) y dependen del calcio presente en el agua durante la privación de calcio en la dieta (Ichii y Mugiya, 1983). La absorción de calcio ocurre a través de branquias, aletas y epitelios orales, sin embargo, las branquias se consideran el sitio más importante para la regulación del calcio (Young et al., 1993). En un ambiente bajo en calcio, como el agua dulce, el pez debe extraer calcio contra un gradiente pronunciado, la movilización de depósitos de calcio de los huesos y escamas puede ser necesaria bajo ciertas condiciones (Ichii y Mugiya, 1983). La descalcificación de escamas y huesos se produce durante la maduración ovárica, la inanición y la migración del desove (Mugiya y Watabe, 1977).

Deficiencia: En general, el calcio proveniente de los ingredientes de las dietas naturales proporciona suficiente calcio para cumplir con los requisitos de la mayoría de los peces (Young et al., 1993).

3.1.2 Magnesio

Función: El magnesio es un cofactor esencial en reacciones enzimáticas en el metabolismo intermediario. Estas enzimas incluyen fosfoquinasas, tiocinasas, fosfatasas, pirofosfatasas y amino acil sintetasas. El magnesio desempeña un papel importante en la adaptación respiratoria de los peces de agua dulce (Houston, 1985). También se requiere en el metabolismo del tejido esquelético, la osmorregulación y la transmisión neuromuscular (Young et al., 1993).

Deficiencia: La deficiencia de magnesio causa anorexia, reduce el crecimiento, produce letargo y reduce el contenido de magnesio tisular en los peces (Young et al., 1993). En la trucha arco iris, la deficiencia de magnesio también causó la calcinosis del riñón, la deformación de las vértebras y la degeneración de las fibras musculares y las células epiteliales del ciego pilórico y los filamentos branquiales (Ogino et al., 1980). El bagre y la trucha arco iris alimentados con dietas deficientes en magnesio muestran

una apariencia flácida de su músculo (Gatlin et al., 1982). Las carpas mantenidas con una dieta baja en magnesio también desarrollan convulsiones y cataratas (Ogino et al., 1980). También se ha demostrado una interacción entre la proteína dietética y las concentraciones de magnesio en tilapia, donde el exceso de magnesio (0.32 %) en una dieta baja en proteínas (24 %), produjo signos de toxicidad y la deficiencia de magnesio en la dieta alta en proteínas (44 %) causó hipercalcinosis de todo el cuerpo (Young et al., 1993).

3.1.3 Sodio y Potasio

Función: En el fluido extracelular del cuerpo, el sodio junto con el cloro son el catión y el anión principal, respectivamente; mientras que el potasio es el catión intracelular monovalente principal. Por lo anterior, estos elementos son necesarios para mantener el equilibrio iónico, además se requieren para el funcionamiento de músculos y nervios (Young et al., 1993).

Absorción: El intercambio iónico entre el pez y el ambiente se lleva a cabo principalmente por las células de cloro presentes en la branquia. Si en estas células se presentan alteraciones morfológicas, (proliferación) es de suponer que habrá desequilibrios iónicos en el organismo (Rueda, 2014).

Deficiencia: Los signos de deficiencia de estos elementos son difíciles de producir porque los peces absorben fácilmente estos elementos del medio acuático circundante (Young et al., 1993).

3.1.4 Hierro

Función: El hierro es un elemento esencial en el proceso respiratorio celular a través de su actividad de oxidación- reducción y transferencia de electrones. Se encuentra en el cuerpo principalmente en la forma compleja ligada a las proteínas, como los compuestos de hemo (hemoglobina y mioglobina), enzimas hemo (citocromos, catalasa, peroxidasa, etc.) y compuestos no hemo (transferrina, ferritina, y flavoproteínas que contienen hierro [ferredoxinas, deshidrogenasas]) (Young et al., 1993).

Absorción: La alimentación se considera la principal fuente de hierro para peces porque las aguas naturales generalmente contienen bajas cantidades de hierro soluble (Young et al., 1993). Los peces pueden absorber el hierro soluble del agua a través de las branquias ya que se ha observado que la adición de sulfato ferroso al

agua mejoró el crecimiento y el nivel de hemoglobina en la cola de espada y el platyfish (*Xiphophorus maculatus*) (Young et al., 1993).

Deficiencia: La deficiencia férrica causa anemia hipocrómica microcítica caracterizada por la disminución de hemoglobina, hematocrito, volumen corpuscular medio y hemoglobina corpuscular media. La anemia por deficiencia de hierro se ha observado en trucha, esparido rojo, jurel aleta amarilla, anguila, carpa común y bagre de canal (Lim y Klesius, 2000).

En el bagre de canal se reportó que con una dieta deficiente en hierro, hubo una disminución del apetito, actividad y eficiencia alimenticia alteradas y, crecimiento suprimido, reducción del hierro en el suero y saturación de transferrina (Young et al., 1993). Sin embargo, en estudios con el esparido rojo, jurel aleta amarilla, carpa común y salmón del Atlántico no se descubrieron los efectos adversos de deficiencia férrica en el crecimiento y eficiencia alimenticia (Lim y Klesius, 2000). Una reducción significativa en la sobrevivencia y el incremento en el nivel de capacidad de enlace de hierro en suero total, también es característico de la anemia por deficiencia de hierro del bagre de canal, cuando los peces fueron alimentados con una dieta deficiente de hierro durante 17 semanas (Lim y Klesius, 1997).

Toxicidad: Se ha desarrollado signos de toxicidad de hierro en la dieta de la trucha arco iris alimentada con más de 1,380 mg de Fe / kg (Desjardins et al., 1987). Los principales efectos de la toxicidad de hierro incluyen la reducción del crecimiento, aumento de la mortalidad, diarrea, y daño histopatológico, específicamente en células hepáticas (Young et al., 1993).

3.1.5 Zinc

Función: El zinc es un micronutriente esencial, se encuentra en casi todas las células y es el segundo elemento traza más abundante después del hierro (Fe). La función esencial del zinc para organismos vivos se basa en su papel como parte integrante de un alto número de metaloenzimas (más de 70), que incluyen deshidrogenasas, aldolasas, peptidasas y fosfatasas; también se requiere para el metabolismo de moléculas biológicas, incluyendo las proteínas y ácidos nucleicos. Además, el zinc está involucrado en funciones más complicadas como el sistema inmune, la neurotransmisión y la señalización celular (Young et al., 1993).

Absorción: Los peces acumulan zinc tanto del agua como de fuentes dietéticas; sin embargo, el zinc de la dieta se absorbe más eficientemente que el zinc disuelto en el agua. Las branquias en la trucha arco iris desempeñan un papel importante en la excreción de zinc (Hardy et al., 1987). Es importante tomar en cuenta que tanto el calcio como el fosfato tricálcico que generalmente se incluyen en los suplementos de harina de pescado, están relacionados con la biodisponibilidad del zinc, ya que inhibe la absorción del mismo. Es por ello que se deben incluir suplementos más altos de zinc en las dietas para compensar la reducida biodisponibilidad de este elemento, causada por el fitato y el fosfato tricálcico de la dieta (Satoh et al., 1987).

Deficiencia: En la trucha arco iris, la deficiencia de zinc causó la supresión del crecimiento, la mortalidad, las cataratas del cristalino, la erosión de las aletas y la piel, y enanismo. Cuando se agregaron suplementos de zinc (40 mg / kg) a las dietas de trucha arco iris que contenían harina de pescado blanco, se aliviaron los problemas de enanismo y cataratas (Satoh et al., 1987).

En el bagre de canal, las dietas bajas en zinc redujeron la tasa de crecimiento, el apetito y las concentraciones de zinc en los huesos, calcio y suero (Gatlin et al., 1982). Las dietas de reproductores con bajo contenido de zinc redujeron la producción de huevos y su viabilidad durante la incubación (Takeuchi et al., 1981).

Toxicidad: Knox et al. (1984) alimentaron concentraciones elevadas de zinc a la trucha arco iris (1,000 mg/kg en la dieta) habiendo medido concentraciones reducidas de hemoglobina, hematocrito y cobre hepático.

3.1.6 Cobre

Función: Es un micronutriente esencial para los organismos vivos por ser un componente clave de muchas enzimas y es esencial para sus actividades. Se asocia con la citocromo c oxidasa de la cadena de transporte de electrones de la célula. Otras cuproenzimas encontradas en tejidos de peces incluyen: peróxido dismutasa, tirosinasa, lisil oxidasa, ceruloplasmina y dopamina β -hidroxilasa. Se han encontrado altas concentraciones de cobre en el corazón, el hígado, el cerebro y los ojos. El cobre está presente como el complejo de cobre y proteína (ceruloplasmina), en el plasma (Young et al., 1993).

Deficiencia: Las carpas alimentadas con dieta que contienen harina de pescado alta en cenizas sin suplemento de cobre mostraron un crecimiento reducido y la formación de cataratas (Sato et al., 1987). Se encontró una baja concentración de cobre en el salmón del Atlántico que padece la enfermedad de Hitra, que es una enfermedad bacteriana de agua fría causada por *Vibrio salmonicida*. (Young et al., 1993).

Toxicidad: Se ha documentado en una variedad de especies de peces, que el exceso de exposición al cobre en el agua tendrá efectos nocivos sobre las branquias, el intestino y los sistemas sensoriales (Johnson et al., 2007). También se han reportado deficiencias reproductivas, crecimiento reducido y cambios en el comportamiento (Grosell, 2011).

Los signos de toxicidad en trucha arco iris alimentada con 730 mg de Cu/kg de dieta durante 24 semanas, incluyeron crecimiento y eficiencia alimenticia reducidos y, niveles elevados de cobre en el hígado (Lanno et al., 1985).

Elementos Minerales Tóxicos

3.1.7 Cadmio

El cadmio es un metal que se encuentra en baja proporción sobre la corteza terrestre, por lo que su presencia en el medio ambiente se debe básicamente a la contaminación antropogénica (Eisler, 2000). Se genera como subproducto de la fundición de otros metales como plomo o zinc y es mayormente usado por sus propiedades de resistencia a la corrosión y en dispositivos electrónicos (Alay et al., 2012; Klaassen et al., 2001). La absorción aumenta por deficiencias de calcio y hierro en la dieta, y por dietas con bajo contenido de proteína (Eisler, 2000; Klaassen et al., 2001).

Absorción: El cadmio se acumula en organismos acuáticos a través de la exposición dietética o acuosa (Liao et al., 2011). Cuando es absorbido a través del tracto gastrointestinal, puede causar necrosis hepática y mortalidad a dosis tan bajas como 5 µg/g de peso corporal.

Toxicidad: El cadmio en el agua ha demostrado ser tóxico para muchas especies de peces (Smith et al., 1976). Su toxicidad es muy compleja y se basa en las múltiples posibilidades que tiene para formar macromoléculas reemplazando otros metales que

desempeñan un papel importante en la actividad enzimática. Por ejemplo, la interacción antagónica entre la captación de Ca^{2+} y Cd^{2+} , que interrumpe la absorción de Ca y conduce a una hipocalcemia aguda, una reducción del crecimiento, problemas en la reproducción, así como deficiencias en el desarrollo y el comportamiento (McGeer et al., 2011).

3.1.8 Plomo

El plomo es un metal pesado, gris y blando muy difundido en la corteza terrestre. Su forma más abundante es el sulfuro (Pb S), el cual se obtiene de la galena. Con frecuencia está asociado a otros metales, como plata, cobre, zinc, hierro y antimonio (Ferrer, 2003).

La fuente antropogénica principal del plomo en ciudades industrializadas fue la gasolina (Scoullos, et al., 2001). La exposición al plomo en medio profesional se produce en actividades de minería, fundiciones, fabricación y empleo de pinturas, baterías, tuberías, plaguicidas, envases con soldaduras de plomo, vajillas y cerámicas (Ferrer, 2003). Este metal no tiene necesidad o beneficio biológico demostrado y toda investigación al respecto ha demostrado sus efectos metabólicos adversos (Eisler, 2000).

Absorción: Debido a su tamaño y carga, el plomo puede sustituir al calcio de manera preferente, siendo su sitio de acumulación, los tejidos óseos, sobre todo en organismos deficientes de calcio y zinc (Guevara, 1995); además éste puede ser liberado nuevamente durante periodos de desmineralización como el embarazo o la lactancia (Eisler, 2000; Klaassen et al., 2001).

Toxicidad: Los altos niveles de exposición a este metal, pueden dar lugar a efectos bioquímicos tóxicos en los seres humanos que alternadamente causan problemas en la síntesis de la hemoglobina, efectos sobre los riñones, el aparato gastrointestinal, el sistema reproductivo, y daños agudos o crónicos al sistema nervioso (Guevara, 1995). Además de su acción carcinógena (Scoullos et al., 2001).

3.2 Características generales del charal *Chirostoma jordani*

El género *Chirostoma*, perteneciente a la familia Atherinopsidae, (Dyer y Chernoff, 1996), es endémico de la Mesa Central de México y está conformado por 18 especies y 6 subespecies (Barbur, 1973), en las cuales se incluye a los charales y pescado blanco, (Miller et al., 2005); los primeros se diferencian por ser de tallas

menores. Los ancestros de estas especies eran marinas y quedaron aisladas por la formación de cadenas montañosas y cuencas cerradas dada la actividad tectónica que sufrió el territorio en épocas geológicas pasadas (Rojas, 2013). Los aterinópsidos tienen forma comprimida, alargada y grácil, con una banda lateral plateada, a pardo oscuro; su boca es terminal y casi siempre bastante protractil (Castro-Aguirre y Espinoza-Pérez, 2006).

Chirostoma jordani alcanza tallas entre 65.7 (Navarrete, 1981) y hasta 127 mm de longitud total, (Cházaro, 1989). No obstante, la talla puede variar dependiendo del área y el año de estudio (Rangel, 2017), puesto que De Buen (1945) reporta tallas máximas de 60 a 65 mm. Otras características de esta especie son que tiene un cuerpo comprimido con una cabeza pequeña (Miller et al., 2005), boca oblicua, de ojos grandes, dientes pequeños en ambas mandíbulas, tiene escamas pseudocicloideas de borde entero, son de color olivo claro con destacada mancha cerebral, y la banda longitudinal de los flancos es estrecha (De Buen, 1945).

No presentan dimorfismo sexual, el sexo puede determinarse una vez que los organismos son sexualmente maduros (Blancas-Arroyo et al., 2003). En relación a la proporción sexual se reporta una ligera dominancia de las hembras particularmente en el sistema lacustre de Xochimilco (Olvera, 2004). No obstante Blancas-Arroyo (2009) menciona que antes había cuatro hembras por un macho; después, las cifras se igualaron, y ahora existen 20 machos por cada hembra.



Figura 1. *Chirostoma jordani* (Woolman, 1984). Tomado de Saldívar (2007).

Existen estudios relativos a la hibridación de las especies del género. En peces colectados del medio natural se han encontrado ejemplares híbridos de *C. estor* y *C. lucius*, de *C. estor* y *C. grandocule* provenientes del lago de Pátzcuaro, así como de *C. estor* y *C. grandocule* del lago de Chapala; por otra parte se ha efectuado hibridación con fecundación artificial de diferentes especies de charales y pescado blanco del

lago de Pátzcuaro y los mantuvieron en laboratorio con el objeto de identificar características que los diferenciaron de sus progenitores. Se demostró con ello la viabilidad de los híbridos aunque no sobrevivieron más allá de la etapa juvenil de manera que se desconoce si éstos llegan a ser fértiles (Rojas, 2005). Es importante mencionar este aspecto, ya que la abundancia relativa de híbridos afecta consistentemente el adecuado desarrollo de las especies, incluso su evolución (Rojas, 2013).

3.3 Ubicación Taxonómica. Modificada de (Rangel, 2017)

Reino	<i>Animalia</i>
Subreino	<i>Metazoa</i>
Phyllum	<i>Chordata</i>
Subphyllum	<i>Vertebrata</i>
Clase	<i>Teleostei</i>
Subclase	<i>Actinopterygii</i>
Orden	<i>Atheriniformes</i> (Rosen)
Familia	<i>Atherinopsidae</i> (Fowler)
Subfamilia	<i>Menidinae</i> (Schultz)
Género	<i>Chirostoma</i> (Swainson, 1839)
Especie	<i>Chirostoma jordani</i> (Woolman 1894)

3.4 Distribución del charal *C. jordani*

C. jordani se distribuye de forma natural en algunas zonas de la cuenca Lerma-Santiago- Chapala y en la Cuenca del Valle de México. De Buen (1945) propuso que *C. jordani* invadió las cuencas de los ríos Lerma y Santiago, así como el lago Chapala que se encuentra entre ellos; se desplazó a Ocotlán, cerca del nacimiento del río Grande de Santiago y sobre el afluente del río Verde; en Aguascalientes, en Salamanca y en

Acámbaro, en el río Lerma; en el lago Cuitzeo y en el río Grande de Morelia, también se estableció en el río Mezquital en Durango y sobre la Cuenca de México en la Ciudad de México, también se encontró en Chalco, Texcoco, Canal de la Viga y Xochimilco; arribó a la laguna de Zumpango, se asentó en la cuenca del río Panuco y en Yautepec, procedente del río Balsas.

3.5 Hábitos alimenticios de charal *C. jordani*

Se sabe que las especies del género *Chirostoma* son usualmente carnívoras. La alimentación de *C. jordani* varía en función de la talla y la disponibilidad de alimento en el hábitat, presentando hábitos zooplanctófagos. Puesto que, las tallas pequeñas se alimentan principalmente de copépodos del género *Diaptomus* y de menor proporción de cladóceros de los géneros *Daphnia* y *Diaphanosoma*, y el copépodo *Cyclops*. Las tallas intermedias durante primavera y verano consumen *Diaptomus*, mientras que consumen *Daphnia* en otoño e invierno. Las tallas grandes usualmente se alimentan de *Daphnia* durante todo el año, sin embargo, si el alimento escasea, se dan interacciones intraespecíficas como el canibalismo (Cházaro, 1989). También llegan a alimentarse de cladóceros del género *Bosmina* y rotíferos del género *Asplanchna*, así como ácaros y larvas de peces e insectos (Navarrete et al., 1996, Paulo-Maya, 2000).

3.6 Aspectos reproductivos de charal *C. jordani*

La talla mínima de reproducción puede variar de acuerdo a las características físico-químicas y bióticas de la localidad. Cházaro y colaboradores (1989) registraron una longitud total de 3.87 cm para hembras y 3.0 cm para machos, en el embalse Trinidad Fabela. Hernández (1993) registró en el embalse Macua una longitud total de 2.84 cm para hembras y 3.0 cm para machos. Se ha reportado que en Xochimilco la primera madurez se da a los 48 mm de longitud patrón en hembras y 55 mm en machos (Olvera et al., 2004). Así mismo, se reporta una fecundidad de 143 a 952 huevos por hembra (Olvera et al., 2004), no obstante, este proceso también varía de acuerdo al lugar, ya que en el embalse Trinidad Fabela se estimó entre 980 y 6,058 huevos/hembra (Cházaro et al. 1989), mientras que en Macua fue de 858 huevos (Hernández, 1993). Los huevos son esféricos, de 1 y 1.1 mm de diámetro, color ámbar, con gran cantidad de vitelo y poco espacio entre el vitelo y la membrana exterior del huevo (Rojas et al., 2000).

Todas las especies del género *Chirostoma* son ovíparas, y las hembras presentan múltiples desoves a lo largo de la época reproductiva (Sasso et al., 1997). La mayor intensidad de la época reproductiva se relaciona con el clima y la ubicación del cuerpo de agua, es decir, de las condiciones ambientales del lugar, por lo anterior, se reproducen en primavera y verano, tiempo en el que la temperatura del agua es más alta y los niveles de oxígeno son mayores (Cházaro et al., 1989; Blancas et al., 2004; Sánchez, 2008).

En condiciones naturales, cuando hembras y machos llegan a zonas someras del cuerpo de agua que habitan, se presenta una conducta de cortejo; ésta debe llevarse a cabo bajo condiciones favorables, por ejemplo, poco movimiento, buena oxigenación y vegetación sumergida para protección y sustrato para los huevos, estos últimos tienen una serie de filamentos llamados zarcillos, los cuales se desarrollan al final de la ovogénesis y sirven para sujetarse a las plantas acuáticas sumergidas (Blancas et al., 2004).

3.7 Usos del charal *Chirostoma* sp.

Desde tiempos prehispánicos, los charales desempeñaban un papel importante en la alimentación de los mexicanos (Melo et al., 2014). Principalmente en los lagos de Pátzcuaro y Zirahuén en el estado de Michoacán y el de Chapala compartido entre los estados de Jalisco y Michoacán, las especies de *Chirostoma* tienen gran importancia cultural, ecológica y económica. Cultural sobretodo en el lago de Pátzcuaro, ya que estas especies forman parte sustancial de la cultura purépecha pues caracterizan la zona y son elementos indispensables de lo pesquero. Ecológico porque son especies nativas y endémicas de ambientes lacustres de la Mesa Central de México, de manera que no existen en ningún otro lugar del mundo (Rojas y Sasso, 2005). Y económico porque en estos tres lagos, el charal constituye la pesquería más importante en términos de valor, con una gran demanda regional y turística. En la actualidad, tanto el consumo como la captura de estas especies han disminuido, entre las causas antropogénicas más importantes del descenso de las poblaciones de *Chirostoma* están: la contaminación de los embalses, la disminución de los embalses por la evaporación y extracción del agua, la sobreexplotación y la introducción de peces exóticos como carpa (*Cyprinus carpio*), lobina negra (*Micropterus salmoides*) y tilapia (*Oreochromis spp*) que ejercen depredación sobre los huevos, larvas, alevines y juveniles de *Chirostoma* (Rojas y Sasso, 2005).

JUSTIFICACIÓN

En México, existen reportes de la presencia de metales pesados en ríos, lagos, cultivos, suelos y aire de zonas urbanas, donde se ha detectado la acumulación de metales tóxicos en tejidos de peces y moluscos de consumo humano (García-Hernández et al., 2007). No obstante, en el lago de Xochimilco se han realizado estudios enfocados a evaluar parámetros físicos, químicos y biológicos, y un número limitado de estudios de la fauna, concentración de los contaminantes del sistema, pero en especial de metales pesados tóxicos (Gayosso, 2009). Adicionalmente, el deterioro ecológico que experimenta el lago de Xochimilco ha alterado las características físicoquímicas del medio, alterando la biota natural y desapareciendo a otras especies propias de la región, ocasionando la pérdida potencial del aprovechamiento del recurso acuático (Ramírez, 1990).

Considerando lo anterior, el presente trabajo se enfoca a estudiar la concentración de metales como calcio, magnesio, sodio, potasio, hierro, zinc, cobre, cadmio y plomo en organismos que habitan en el sistema, específicamente *Chirostoma jordani*. Los resultados obtenidos en esta investigación serán comparados tratando de establecer la posible relación entre la concentración del metal, la talla y sexo del charal, así como su posible variación temporal.

Finalmente estos resultados también se compararán con los límites permisibles de acuerdo a legislaciones tanto nacionales como internacionales con el fin de delimitar si estos organismos pueden ser consumidos por el ser humano, ya que en caso de que indiquen un proceso de bioacumulación, su consumo podría llegar a causar problemas crónicos de salud a la comunidad.

OBJETIVO

5.1 Objetivo general

- Evaluar la concentración de metales (Ca, Mg, Na, K, Fe, Zn, Cu, Cd, Pb) presentes en el charal *Chirostoma jordani* en el canal de Cuemanco, Xochimilco.

5.2 Objetivos particulares

- Establecer posibles diferencias en la acumulación de metales debido a los factores: sexo, mes y época del año.
- Determinar si las concentraciones de metales pesados (Zn, Cu, Cd, Pb) son indicativos de contaminación de acuerdo a diversas legislaciones internacionales y la normatividad nacional (NOM-027-SSA1-1993).

HIPÓTESIS

Dado que es conocido que el lago de Xochimilco se encuentra altamente impactado por distintos contaminantes entre ellos los metales pesados, los cuales se encuentran potencialmente biodisponibles tanto en la columna de agua como en los sedimentos, entonces, de acuerdo a los hábitos alimenticios del charal *Chirostoma jordani* podría haber un proceso de bioacumulación que sería reflejado en elevadas concentraciones de estos metales en el tejido del charal.

MÉTODO

7.1 Área de estudio

El lago de Xochimilco es uno de los últimos ambientes acuáticos que quedan de lo que fue un impresionante ecosistema lacustre en la época prehispánica (López et al., 2015). Se ubica al sur de la Ciudad de México, en las coordenadas geográficas 19°16'30" latitud norte y 99°08'20" longitud oeste, a una altitud de 2240 msnm (INEGI, 2015). La red de canales es de 189 Km, entre los canales más importantes de los que se compone están: Cuemanco, Apatlaco, Japón, del Bordo y el Canal Nacional (Aranda, 2004). En esta región el clima es templado con lluvias en verano, con sus

diferentes variantes (García, 2003; Gayosso, 2009) y sin estación invernal bien definida (García, 2003). La temperatura varía de los 7.5°C como mínima en diciembre y enero, a los 23.2°C como máxima de abril a junio (García, 2014). La precipitación media anual es de 776 mm, con época de lluvias de mayo a octubre (Servicio Meteorológico Nacional, 2015).

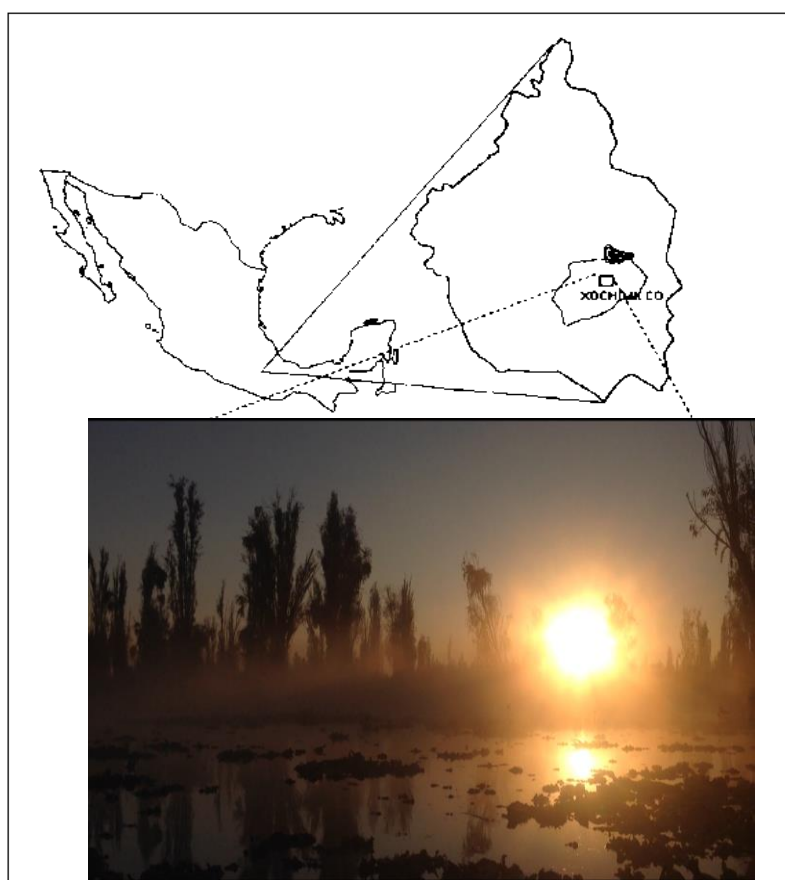


Figura 2. Xochimilco, Ciudad de México, 2017. Modificada de Olvera (2004).

La flora terrestre nativa está compuesta por ahuejotes (*Salix bonplandiana*) y zacate salado (*Distichlis spicata*) principalmente, y entre las especies introducidas están el sauce llorón (*Salix babylonica*), casuarina (*Cassuarina equisetifolia*), eucalipto (*Eucalyptus sp.*) y fresno (*Fraxinus uhdei*) (Secretaría de Medio Ambiente, 2004).

En la vegetación acuática y subacuática se puede encontrar entre otras especies a: lentejilla (*Lemna minúscula*), chilacastle (*Wolffia columbiana*), lirio acuático (*Eichhornia crassipes*), tulares (*Thyfa latifolia*, *Schoenoplectus americanus*), helecho de

agua (*Azolla sp.*), ninfa (*Nymphaea americana*) (Secretaría de Medio Ambiente, 2004), entre otras.

En la zona lacustre de Xochimilco la fauna terrestre, acuática y aérea más representativa son la culebra listonada de montaña (*Thamnophis scaliger*), cascabel de pantano (*Crotalus polystictus*), musaraña (*Criptotis parva*), tuza (*Cratogeomys merriami*), tlacuache (*Didelphis virginiana*), cacomixtle (*Bassariscus astutus*), el acocil (*Cambarellus (Cambarellus montezumae)*), las ranas (*Rana montezumae* y *Rana tlalocí*), el ajolote (*Ambystoma mexicanum*), pedrete de cola negra (*Nycticorax nycticorax*), garzas (*Ardea herodias*, *Ardea alba* y *Egretta thula*), el pato mexicano (*Anas diazi*), la aguililla cola roja (*Buteo jamaicensis*) (Secretaría de Medio Ambiente, 2004), entre muchas otras especies.

En un estudio realizado por Vázquez y colaboradores (2017) sobre la ictiofauna de la zona lacustre de Xochimilco se reportaron las siguientes especies: carpa común (*Cyprinus carpio*), mexcalpique (*Girardinichthys viviparus*), burrito (*Goodea atripinnis*), guatopote de Lerma (*Poeciliopsis infans*), guatapote jarocho (*Poeciliopsis gracilis*), guatapote manchado (*Heterandria bimaculata*), platy (*Xiphophorus variatus*), cola de espada (*Xiphophorus helleri*), charal (*Chirostoma jordani*) y tilapia (*Oreochromis spp.*). Dentro de estas, las poblaciones de *G. viviparus* están en peligro de extinción (DOF 2010,) y las del género *Chirostoma* han disminuido en todo el país (Rojas, 2013).

7.2 Fase de campo

Se realizaron muestreos en diferentes meses del año (febrero, marzo, abril, mayo, junio y julio) en el área del canal de Cuemanco, Xochimilco, cerca del Club España y en dirección a la interconexión con el canal del Bordo, como se muestra en la figura 3, esto se efectuó con una trajinera con motor, efectuando un arrastre de 1 minuto empleando una red rectangular con malla de 1 mm de diámetro. Los organismos colectados fueron trasladados al laboratorio de Acuicultura y Producción Acuática para su posterior análisis.



Figura 3. Canal de Cuemanco, Xochimilco, Ciudad de México, 2016. Los triángulos indican los límites del área de colecta. Tomada de Rangel, 2017.

7.3 Fase de laboratorio

- **Biometría:** Se realizaron las biometrías a cada organismo (longitud total, longitud patrón, alto máximo, ancho máximo y peso) como se observa en la figura 4, empleando un vernier digital Stainless Hardened y una balanza Sargent- Welch Modelo 400D, además de determinarles el sexo y a continuación se colocaron en frascos con formol al 10%.

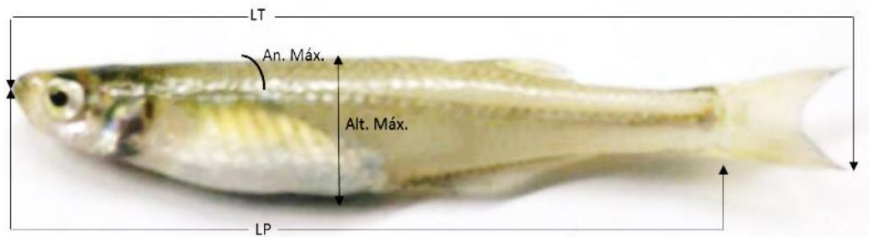


Figura 4. Biometría de *C. jordani*. LT-longitud total, LP-longitud patrón, Alt. Máx- altura máxima y An. Máx- ancho Máximo. Tomada de Rangel, 2017.

- **Secado de ejemplares:** Los organismos recolectados se separaron en estadios juveniles y adultos, y fueron agrupados por mes y estación del año de muestreo, posteriormente se agruparon varios individuos, hasta alcanzar un peso en "pool" de 1.5 g peso húmedo, dentro de cada distribución de talla por mes y fueron

colocados en charolas de papel previamente etiquetadas y pesadas con el fin de colocar la muestra en una estufa Cole Parmer Modelo 05015-58 a 60°C hasta obtener un peso seco constante.



- **Macerado:** Una vez obtenida la muestra seca se procedió a macerarla en un mortero para obtener un peso aproximado de 0.5 g y se trasladó al laboratorio de Toxicología de la FMVZ, UNAM para la medición de los EM.



Figura 6. Macerado de ejemplares en el mortero.

- **Digestión:** Se pesó alrededor de 0.3 g de muestra en una balanza digital Explorer Ohaus y se colocó en un tubo de ensaye, a cada muestra se le añadió 1 ml de

agua desionizada y 2 ml de ácido nítrico al 70%; posterior a ello, todas las muestras se mantuvieron en baño maría durante 6 hrs a una temperatura de 90°C. Finalmente la muestra fue filtrada y se aforó a 14 ml con agua desionizada. Las muestras fueron guardadas en el refrigerador para su posterior lectura.

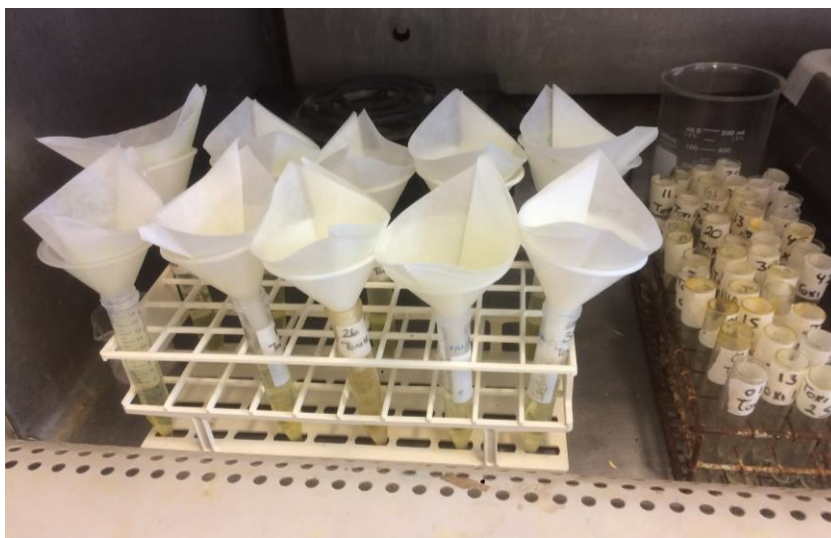


Figura 7. Filtrado de muestras.

- **Lectura en espectrómetro de absorción atómica con flama:** Las lecturas se realizaron en un espectrómetro de absorción atómica con flama modelo Perkin Elmer 3110. Las condiciones de operación del equipo y para cada elemento fueron las señaladas en el manual de operación según el fabricante: tales como, la lámpara específica del elemento de cátodo hueco, longitud de onda, apertura espectral y la concentración característica para la verificación. Una vez hecha la lectura de la absorbancia de cada muestra, ésta se transformó a concentración con el índice de regresión lineal, el punto de intersección y la pendiente calculados con las concentraciones conocidas del estándar específico. Las concentraciones de metales en el tejido del pez se expresaron en miligramos sobre gramo peso seco (m/g PS).



Figura 8. Espectrómetro de absorción atómica con flama modelo Perkin Elmer 3110.

7.4 Análisis estadístico

La descripción y análisis de los metales presentes en el tejido de *C. jordani*, se abordó por medio de un diseño factorial multivariante, contrastando meses, sexo y su interacción y la comparación mes – estado de desarrollo, en todos los casos empleando ANOVA y a continuación la prueba post hoc de Tukey ($p < 0.05$) para delimitar subconjuntos, las rutinas se efectuaron con el software SPSS v. 20.

Para visualizar la homogeneidad – heterogeneidad de los diversos grupos (meses – sexo), se empleó análisis multivariado en su modalidad discriminante, por medio del software JMP v. 10.0.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los metales pesados son contaminantes ampliamente dispersos y de gran preocupación ambiental, dado que son no-degradables, tóxicos y persistentes y, ocasionan graves problemas de salud pública y al ambiente. Los ecosistemas acuáticos urbanos, están fuertemente influenciados por descargas a largo término de aguas domésticas y aguas residuales de desecho de parte de la industria, escurrimientos por tormentas, derrames artificiales y depósitos directos de desechos sólidos. Todos estos contaminantes que llegan a los cuerpos de agua tienen un gran impacto ecológico sobre la calidad del agua y su red trófica interrelacionada.

Los peces ocupan el más alto nivel trófico en los sistemas acuáticos (APHA, 1981). Estos organismos tienen un alto valor económico, son adecuados como símbolo de calidad del agua y fáciles de ser interpretados por el público. Los peces son buenos bioindicadores, debido a que son fáciles de obtener en grandes cantidades, tienen potencial para acumular metales, ciclos vitales largos, tamaño óptimo para análisis y facilidad para ser muestreados (Ahmad y Shuhaimi, 2010).

En el caso del área de estudio, aún prevalecen algunas especies que debido a su flexibilidad fisiológica han podido compensar y ajustarse a los enormes cambios que ha experimentado el sistema lacustre en las últimas décadas, una de ellas es la especie de charal *C. jordani*, la cual seleccionamos como especie bioindicadora de los posibles efectos que pudieran tener la presencia y posible bioacumulación de diversos elementos minerales en Xochimilco. A partir del análisis e interpretación de los resultados de esta investigación podemos señalar los siguientes hechos.

Los promedios \pm DS de las concentraciones de elementos minerales en *C. jordani* para los diversos muestreos efectuados (febrero, marzo, abril, junio y julio), así como para la comparación entre estados juvenil y adulto, se presentan en los cuadros 1 y 2. En ambos casos, la acumulación de metales en el charal se encontró en el siguiente orden: Ca > Fe > Mg > Na > K > Zn > Pb > Cu > Cd. Al respecto cabe señalar, que las concentraciones obtenidas se refieren para el tejido completo del charal, dado que no fue factible analizar los diversos órganos (hígado, branquias, músculo, etc.) para realizar determinaciones por separado, debido al reducido tamaño de muestra en

base seca y se priorizó el tener el mayor número de réplicas en “pool” de los organismos por mes de colecta, clase talla, sexo, estado de desarrollo, etc., para tener mayor precisión en la posible evaluación de los efectos para estos factores.

En la literatura se ha reportado en peces, que las concentraciones de metales pesados en branquia e hígado son mucho mayores que en músculo. De acuerdo a Jobling (1995), esto se debe a que la acumulación de metales en estos tejidos, es producido por la síntesis de metalotioneínas en estos sitios, las cuales actúan en procesos de detoxificación de los mismos metales, actuando como proteínas protectoras del daño que pudieran ocasionar. En otro estudio, Saleh (1982), reportó que la concentración de contaminantes en el hígado del pez, está directamente relacionado con el grado de contaminación en el hábitat acuático de donde procede. Resultados similares han sido reportados en diversas especies (Guerrin et al., 1990 y Saeed y Shaker, 2008).

Cuadro 1. Contenido de metales en *Chirostoma jordani* de Xochimilco. Comparación entre meses de muestreo. (n=8). Media \pm DS.

Metal (mg/g PS)	Febrero	Marzo	Junio	Julio
Ca	31.2 \pm 25.1	16.7 \pm 10.1	26.9 \pm 28.2	26.3 \pm 11.9
Mg	1.82 \pm 1.60	1.49 \pm 1.13	2.47 \pm 1.85	2.27 \pm 0.80
Na	1.42 \pm 0.64	1.48 \pm 0.41	1.87 \pm 0.82	1.70 \pm 0.83
K	1.42 \pm 0.78	0.82 \pm 0.46	0.75 \pm 0.41	0.76 \pm 0.42
Fe	5.25 ^b \pm 2.73	10.60 ^a \pm 3.46	10.40 ^a \pm 1.66	8.68 ^{a,b} \pm 5.08
Zn	0.14 \pm 0.06	0.12 \pm 0.05	0.15 \pm 0.06	0.24 \pm 0.21
Cu	0.04 ^{a,b} \pm 0.033	0.03 ^b \pm 0.01	0.04 ^{a,b} \pm 0.01	0.07 ^a \pm 0.03
Cd	0.007 \pm 0.006	0.008 \pm 0.004	0.013 \pm 0.010	0.007 \pm 0.007
Pb	0.03 \pm 0.04	0.06 \pm 0.05	0.10 \pm 0.11	0.06 \pm 0.09

Superíndices con distinta letra (sombreado), indican diferencias significativas ($p < 0.05$), prueba “post hoc” de Tukey.

Los resultados obtenidos también indican que las concentraciones de metales presentes en el tejido de *C. jordani*, están estrechamente asociados con el contenido

de metales presentes en los sedimentos del área de estudio (Fe>Mg>Ca>Na>K>Zn>Pb>Cu>Cd (Tierra-Blanca, A. Tesis de licenciatura en preparación, bajo la dirección del Dr. José R. Latournerié C. Laboratorio de Acuicultura, Facultad de Ciencias, UNAM). Resultados similares han sido obtenidos por Saeed y Shaker (2008) en *O. niloticus*, y Ibrahim et al., (2000) e Ibrahim y El-Naggar (2006).

Por otra parte, en relación a las variaciones en concentración de metales obtenidas en los organismos de los diferentes meses de muestreo, se puede señalar: que para el calcio la concentración más alta se obtuvo para febrero con 31.2 mg Ca/g, mientras que la más baja fue de 16.7 mg Ca/g en marzo, dicho cambio puede estar relacionado con la época reproductiva, pues en la mayoría de las especies se detecta un aumento en el nivel de calcio sérico previo a la época de maduración y, posterior al desove hay una disminución de su concentración, dando como resultado una descalcificación de escamas y huesos producida por la maduración ovárica, la inanición y la migración del desove (Mugiya y Watabe, 1977). Dicho aumento se ha observado sobretodo en hembras. Sin embargo, en algunas especies de teleósteos machos, se ha reportado un aumento de calcio sérico para la maduración testicular (Balbontin, 1989). Este comportamiento de concentraciones altas en febrero, y la disminución en marzo se da para diferentes elementos además del calcio, como el Mg, K, Zn y Cu; dicho aumento vuelve a repetirse en junio para Ca, Mg, Na, Zn, Cu, Cd y Pb, lo anterior puede estar relacionado también con la época reproductiva, puesto que se han reportado múltiples desoves para *C. jordani* a través del año (Sánchez, 2008).

El análisis de comparaciones múltiples (prueba de Tukey) ver cuadro 1, señaló que la bioacumulación de los metales Fe y Cu en las colectas de diferentes meses resultaron ser estadísticamente significativas. Para el hierro, se observó que las concentraciones más altas se registraron en marzo y junio, mientras que la más baja se obtuvo en febrero. A pesar de esta diferencia entre meses, todas las concentraciones resultaron ser muy elevadas a comparación de las reportadas por varios autores para diferentes especies. Si bien se sabe que el hierro es un elemento mineral esencial para los organismos vivos y el segundo más abundante en nuestro planeta, cuando se encuentra en concentraciones muy altas puede ser tóxico, y causar no solo daños a nivel branquial sino en el tracto gastrointestinal y hepático (Sandoval

et al., 2015). A nivel branquial, el Fe induce un exceso de secreción de moco que, al aumentar la distancia de difusión, reduce la capacidad de las branquias de captar O₂ y de excretar CO₂ (Handy y Eddy, 1991). Por otra parte, Desjardins y colaboradores (1987) reportaron signos de toxicidad en trucha arco iris alimentada con más de 1,380 mg de Fe/kg, indicando que como efectos de la toxicidad de hierro se produce reducción del crecimiento, aumento de la mortalidad, diarrea y daño histopatológico, específicamente en células hepáticas.

En el caso del cobre, la concentración más alta se alcanzó en julio, y la más baja en marzo. Aunque el Cu se considera un elemento traza esencial necesario para la síntesis de hemoglobina, algunas enzimas glicoproteicas, involucradas en la producción de melanina y catecolamina, en la absorción de hierro (conversión de formas férricas a ferrosas) y en el transporte, así como en procesos de desintoxicación (Sorensen, 1991), cuando se encuentra en altas concentraciones puede producir muchos efectos tóxicos, incluidos daños en tejidos y órganos (branquias), alteraciones fisiológicas e interferencias en la osmorregulación y el transporte de oxígeno (Hodson et al., 1979). Por otra parte, su captación desde el agua es más acelerada (Sandoval et al., 2015), por ejemplo, Lanno y colaboradores (1985) observaron que el cobre en trucha arco iris es rápidamente transferido al plasma sanguíneo. Algunos efectos de la exposición al cobre en una variedad de especies de peces incluyen: deficiencias reproductivas, crecimiento reducido y cambios en el comportamiento (Grosell, 2011), así como mortalidad de alevines y adultos en altas concentraciones (Sandoval et al., 2015).

En el cuadro 2 se presentan las medias de las concentraciones de metales en adultos y juveniles, puede observarse que la prueba de Tukey señaló diferencias significativas para Na, siendo el mes de junio (adultos) donde se detectaron las concentraciones mayores, mientras que abril (juveniles) presentó las más bajas. A pesar de ello, las concentraciones obtenidas en este trabajo son muy elevadas, no obstante, hay que recalcar que la medición fue hecha para todo el organismo; ya que en un estudio hecho por Lozada (2007) en *Cyprinus carpio* de la Laguna de Meztitlán, reporta concentraciones similares de Na en branquias en la época de lluvias, originado por las altas concentraciones arrastradas por las lluvias de manera natural. En estudios que se han realizado sobre la salinidad de la zona lacustre de Xochimilco, se ha medido una concentración alta de sales inorgánicas, por el hecho de ser un

sistema hidrológico cerrado, en donde el agua no se renueva y, en ciertas épocas se evapora y tiende a acumularse, mientras que en época de lluvias se diluye (Bojórquez et al., 2017). Esto podría reflejarse en junio y marzo cuando la lluvia es escasa. Sin embargo en la época de lluvias también puede darse un arrastre natural del suelo de las chinampas utilizadas para la agricultura en donde se utilizan pesticidas y plaguicidas que contienen este elemento. Otra posibilidad que podría reflejarse en estas concentraciones altas de sodio en los peces, es el arrastre de agentes químicos desechados provenientes del Cerro de la Estrella, San Luis Tlaxialtemalco y descargas de la zona periurbana.

Cuadro 2. Contenido de metales en *C. jordani* de Xochimilco. Comparación entre adultos (marzo y junio) y juveniles (abril). Media \pm DS.

Metal (mg/g PS)	Marzo (n=8)	Abril (n=4)	Junio (n=8)
Ca	16.7 \pm 10.1	15.5 \pm 8.4	26.9 \pm 28.2
Mg	1.49 \pm 1.13	1.70 \pm 0.91	2.47 \pm 1.85
Na	1.48 ^{a,b} \pm 0.41	0.86 ^b \pm 0.49	1.87 ^a \pm 0.82
K	0.82 \pm 0.46	0.51 \pm 0.26	0.75 \pm 0.41
Fe	10.60 \pm 3.46	11.16 \pm 28.86	10.4 \pm 1.66
Zn	0.12 \pm 0.052	0.15 \pm 0.03	0.15 \pm 0.06
Cu	0.03 \pm 0.01	0.05 \pm 0.01	0.04 \pm 0.01
Cd	0.008 \pm 0.004	0.007 \pm 0.003	0.013 \pm 0.010
Pb	0.06 \pm 0.05	0.04 \pm 0.04	0.10 \pm 0.11

Superíndices con distinta letra (sombreado), indican diferencias significativas ($p < 0.05$), prueba "post hoc" de Tukey.

Una de las consecuencias de una alta salinidad es la disminución en abundancia o extirpación de aquellos organismos que no han podido adaptarse al incremento de sales (Bojórquez et al., 2017). Sin embargo, se ha planteado la hipótesis, que las especies de *Chirostoma* se originaron de atherinopsidos que invadieron la vertiente del Pacífico y que quedaron atrapados en un mar interno el cuál ocupó una parte de la región central de México (Álvarez, 1972; Paulo-Maya,

2004); por lo tanto *C. jordani* tiene una respuesta fisiológica adaptativa a los cambios ambientales repentinos de salinidad (Blancas-Arroyo et al., 2014).

Es importante mencionar que se midieron concentraciones de EM en organismos del muestreo de mayo, pero estos datos fueron excluidos del análisis, debido a un reducido tamaño de muestra y gran heterogeneidad. Sin embargo, estos resultados y para algunos EM en abril, denotan tendencias de que los organismos juveniles acumulan concentraciones mayores de metales, lo cual puede deberse a que tienen una mayor actividad metabólica que los adultos y por lo tanto son más propensos a acumular mayores niveles de metales (Widianarko et al., 2000). Esto lo ha demostrado Liang y colaboradores (1999) en un estudio realizado con distintas especies de peces, donde se dio una correlación negativa entre el metabolismo del pez y la acumulación de metales en las vísceras; es decir, entre más grande el pez menor acumulación y viceversa.

Como se mencionó anteriormente durante marzo y junio las lluvias son escasas, por lo cual puede existir una mayor concentración de metales y también a altas temperaturas el metabolismo de los peces aumenta, (Ben et al., 2014) por lo cual tienden a acumular más EM.

A) Comparación entre meses y sexos

Con la finalidad de visualizar la interacción de los metales en los meses y sexos, se efectuó un análisis multivariado en su modalidad discriminante; indicando que las concentraciones de Na, Fe, Zn y Cu fueron estadísticamente significativas ($p < 0.03$), ver recuadro interno de la Fig. 9 (A), es decir, que estos metales son los que intervinieron en la discriminación de las medias multivariadas (canónicas). Y cabe destacar que estos elementos se encuentran más acumulados en machos que en hembras.

En la figura 9 A, se muestran las hembras respecto a los diferentes meses, se observó que junio y febrero son similares, a comparación de marzo y julio, que son totalmente diferentes entre ellos y de febrero y junio. Cabe destacar que junio presentó las concentraciones más altas, excepto para Cu, esto podría estar asociado a la coincidencia de la época reproductiva, es decir, que las hembras se preparan para su próximo desove (verano) y por lo tanto, acumulan mayor cantidad de nutrientes entre ellos los metales sin distinción alguna.

Para el caso de los machos, ver figura 9 B, las canónicas muestran la diferencia entre los distintos meses, siendo marzo y junio similares, mientras que febrero y julio son distintos entre ellos y entre marzo y junio. En este caso, julio presentó las concentraciones más altas, excepto en hierro.

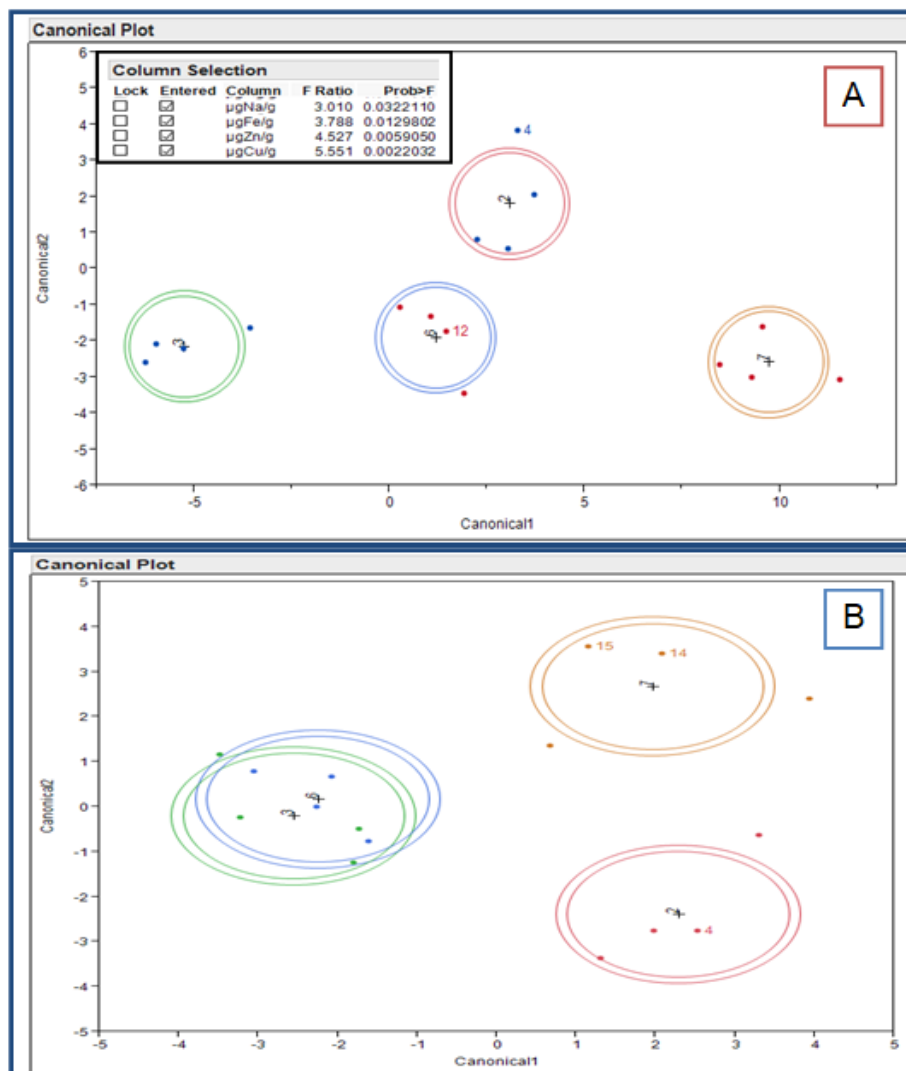


Figura. 9. Gráfico de canónicas señalando las diferencias en la composición de metales en tejido de charal *C. jordani*. Comparación por sexos (A) hembras, (B) machos en los diversos meses de muestreo. Febrero, marzo, junio y julio: 2, 3 6 y 7 respectivamente.

B) Comparación entre épocas y sexos

El análisis realizado, señala que existen diferencias significativas de la composición de los metales en distintas épocas (fría y cálida) y en ambos sexos; dos metales (Zn y Cu) fueron estadísticamente significativos ($p < 0.03$), ver recuadro interno de la Fig. 10 (A), es decir, que estos metales son los que intervinieron en la discriminación de las medias multivariadas (canónicas), mostrando diferencias entre las épocas.

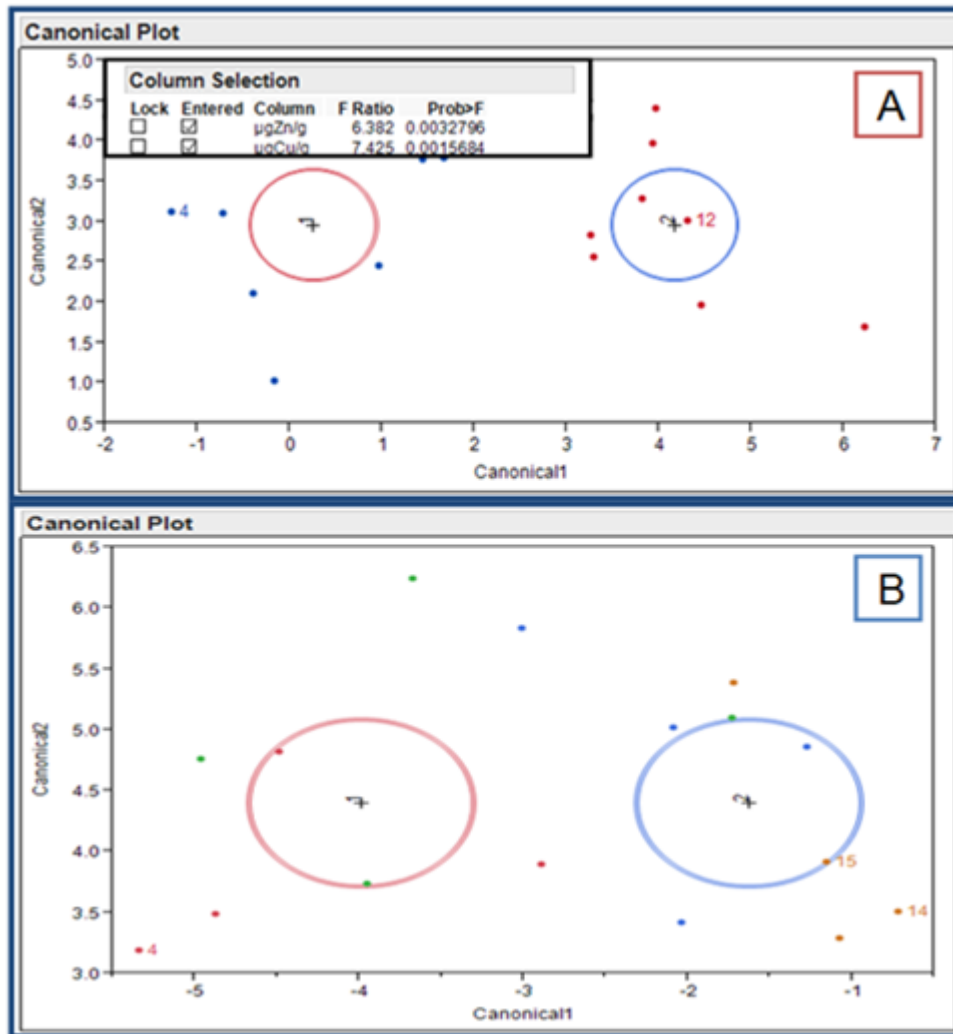


Figura 10. Gráfico de canónicas señalando las diferencias en la composición de metales en tejido de charal *C. jordani*. Comparación por sexos (A) hembras, (B) machos en las distintas épocas de muestreo. Fría (febrero y marzo) y cálida (junio y julio): 1 y 2 respectivamente.

En la figura 10 A, se muestran las hembras en las distintas épocas, indicando que entre ellas son distintas; sin embargo, algunos puntos se comparten en las canónicas del color contrario, lo que quiere decir que ciertas hembras comparten similitud en las épocas opuestas.

Por otro lado, en la figura 10 B, se muestran a los machos en las distintas épocas, y se observó que también son distintos, es decir que las concentraciones de Zn y Cu hacen que estas sean diferentes. Es preciso mencionar que para ambos metales y sexos, la concentración fue mayor en época cálida que para época fría.

Al presente, no se conocen otras investigaciones sobre composición de metales en el tejido de *C. jordani* en el área de estudio. Esta especie también se encuentra en el lago de Chapala, en conjunto con otras afines del gro. *Chirostoma* que son capturadas en una pesquería multiespecífica. En un estudio previo Ford, et al (2000), reportaron acumulación de metales en *Chirostoma* sp, incluyendo Cd, Pb y Hg, para el caso de los dos primeros metales sus niveles en tejido fueron bajos, pero el Hg se detectó en concentraciones que potencialmente y en función del consumo de estas especies en el área de estudio, podrían exceder los límites máximos permisibles de la legislación norteamericana e internacional.

C) Riesgo asociado al consumo humano de ejemplares estudiados

La ingesta diaria recomendada para adultos de los metales (Fe, Zn, Cu, Mn y Pb) es de: 48.0, 60.0, 3.0, 2.0 – 9.0 y 0.214 mg/día en peso húmedo respectivamente, de acuerdo con la tabla 5 referida en FAO/WHO (1999). Para el caso del Cd la ingesta diaria permisible es de 0.1 µ/g en peso húmedo.

Los datos obtenidos en esta investigación señalan que todos los metales analizados fueron encontrados en concentraciones muy altas y para el caso de los que se comparan con los límites máximos permisibles de acuerdo a distintas fuentes (cuadro 3), exceden los valores reportados en estas. Para el caso del Zn y Cu la concentración en tejido es de 2 a 3 veces la permisible (referencias 3 y 7) y para Pb y Cd su bioacumulación en tejido fluctúa entre 13 – 37.6 y 8 – 10.7 veces mayor, respectivamente (de acuerdo a la época del muestreo o sexo analizado).

Cuadro 3. Comparativo de límites Permisibles de Metales pesados de acuerdo a distintas legislaciones internacionales, la nacional y los resultados de este estudio. (µg/g).

Metal	Internacionales							Nacional	Sexos		Épocas			
	UE ¹	A U ²	B R ³	WHO- FAO ⁴	ZA F ⁵	CHE ⁶	OMS ⁷	NOM- 027 ⁸	Hembras	Machos	Fría		Cálida	
											♀	♂	♀	♂
Zn	-	-	50	-	-	-	66	-	139.38	192.56	136.58	130.28	142.18	254.84
Cu	-	-	30	-	-	-	-	-	51.18	52.49	33.75	48.63	68.58	56.36
Pb	0.30	0.5	2	0.3	0.5	1	2.5	1	52.34	78.63	32.32	63.45	72.38	94.03
Cd	0.050	-	1	-	1	0.3	1.04	0.5	8.28	10.45	6.08	9.8	10.48	11.1

¹ a ⁶ **Alonso (2014)**. Metales Pesados: Revisión marzo 2017. CATICE de Valencia. Secretaría de Estado de Comercio. ⁷ **OMS** Organización Mundial de la Salud. (1996). International Program on Chemical Safety. Environmental Health Criteria. Límites Máximos Permisibles de concentraciones de metales pesados. (Para consulta: <http://www.inchem.org/pages/ehc.html>). ⁸ **NOM. Norma Oficial Mexicana (1993)**. NOM-027-SSA1-1993. Bienes y servicios (*Especificaciones sanitarias*) Pescados frescos- refrigerados y congelados. Establece los límites máximos permisibles de metales pesados en pescado.

El consumo de pescado es una ruta importante de exposición química para los humanos, en particular los niños, debido a su mayor absorción intestinal. Se conoce que elevadas cargas de contaminantes tóxicos como el Cd y Pb en este caso, ocasionan déficits de desarrollo y problemas neurológicos en hijos de algunos padres consumidores de pescado, así como disfunción del sistema nervioso y alteraciones en el proceso reproductivo en adultos (Johnson et al., 1999).

En relación a los charales, Chávez et al. (2014), realizaron una extensa recopilación de la composición nutrimental de las diversas especies de charal, incluyendo *C. lucius*, *C. chapalae* y *C. jordani*, reportando que el tejido de los especímenes es bajo en carbohidratos (1.29 – 3.4%), de alto valor proteico (25.3%) en base húmeda y de 51.6 – 68.3% en base seca, los lípidos totales fluctuaron entre 3.9 a 6.9%, y en relación a los ácidos grasos destacan los poliinsaturados con valores de 195.8 mg. Además de ser una fuente importante de calcio, fósforo, hierro, sodio, potasio y vitaminas del complejo B.

Considerando los demás elementos minerales analizados en este trabajo (Ca, Mg, Na, K, Fe, Zn y Cu), *C. jordani* es un proveedor importante de minerales beneficiosos para la salud humana. Por mencionar algunos, según la enciclopedia Medica Familiar (1981) el Ca es un componente indispensable. Hueso y tejido óseo están compuestos en gran parte por sales cálcicas. Cuando se encuentra en forma de iones (Ca^+) participa en el funcionamiento muscular y en la coagulación sanguínea. La presencia de Na y K son vitales para el equilibrio celular, de su concentración respectiva, depende la entrada y salida de líquido celular. En el caso del Fe, éste es un elemento constituyente de la hemoglobina, el cual participa en el transporte y difusión del oxígeno. Se requieren cantidades altas de hierro cuando se dan pérdidas obligadas por la menstruación, formación de tejidos, y producción de leche durante el embarazo y lactancia (Muñoz et al., 2002).

CONCLUSIONES

Este estudio indica que los elementos minerales analizados se acumulan de acuerdo a la talla, sexo y época del año, además de rebasar los límites permisibles de distintas legislaciones, con ello se concluye lo siguiente:

- En adultos y juveniles en los diferentes meses, la acumulación de metales en *C. jordani* ocurre en el siguiente orden: Ca>Fe>Mg>Na>K>Zn>Pb>Cu>Cd, estando estrechamente asociados con el contenido de metales presentes en los sedimentos dada su biodisponibilidad.
- En cuanto a la talla, la concentración del Na difiere entre los meses, siendo marzo y junio cuando los adultos presentan una mayor concentración, sin embargo los juveniles tienden también a presentar concentraciones altas.
- En peces adultos el Fe y Cu presentan diferencias mensuales. Los elementos minerales de Na, Fe, Zn y Cu presentan las concentraciones más altas en los machos que las hembras.
- En la época cálida se presentan las concentraciones más altas, tanto en hembras como en machos.
- La acumulación de Zn, Cu, Pb y Cd en el tejido de *C. jordani* rebasa los límites permisibles. Sin embargo, no es posible en esta etapa evaluar su riesgo potencial por consumo, dada que su ingesta sería ocasional o nula en Xochimilco.

RECOMENDACIONES

Con este trabajo se pretende hacer énfasis a la disminución de la población de *C. jordani* de la zona lacustre de Xochimilco, su reducción es un tema central en el ámbito científico, que debe ser urgente atender. Por lo anterior se recomienda realizar investigaciones enfocadas a brindar soluciones como la fitorremediación, para la mejora de su hábitat por la grave contaminación que sufre, lo que indudablemente amenaza al charal y en general a la biodiversidad.

Asimismo, se recomienda efectuar estudios de las consecuencias que han tenido los charales por la exposición y bioacumulación que tienen ante los diferentes EM , ya que como se ha mencionado, las consecuencias en otras especies estudiadas muestran deformidades, disminución en la puesta de huevos, daños en su aparato reproductor, etc. Además, se sugiere evaluar las posibles consecuencias en la salud de los consumidores por la capacidad de bioacumulación que *C. jordani* tiene, ya que especies del género *Chirostoma* se consumen en otras partes del país.

En Xochimilco, es conocido que los lugareños consumen carpas y tilapia capturadas en los canales, las que debido a sus hábitos alimenticios, podrían potencialmente bioacumular altas concentraciones de metales en sus tejidos. Por ende, resulta necesario investigar los niveles de metales en estas especies y su potencial de consumo en el área de estudio.

LITERATURA CITADA

- **Alay, G. F., Lomas, M. N., Mallafré, J. M. L., y Roig, J. L. D. (2012).** Riesgo tóxico por metales presentes en los alimentos: Toxicología alimentaria. Editorial Díaz de Santos, S.A., 21p.
- **Abollino, O. Aceto, M. Malandrino, M. Mentasti, E. Sarzanini, C. y Petrella, F. (2002).** Heavy metals in agricultural soils from Piedmont, Italy. Distribution, speciation and chemometric data treatment. *Chemosphere*, 49: 545–557.
- **Alonso D. A. (2014).** Metales Pesados: Revisión marzo 2017. CATICE de Valencia. Secretaría de Estado de Comercio.
- **Alloway B.J. (2013).** Heavy metals in soils, trace metals and metalloids in soils and their bioavailability. 3ª ed. Springer, Reading, U K. 587 pp. DOI: 10.1007/978-94-007-4470-7
- **Álvarez, J. (1972).** Ictiología Michoacana V. Origen y distribución de la ictiofauna dulceacuícola de Michoacán. *Anuales de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, México, Instituto Politécnico Nacional* 19: 151-161.
- **Aranda, M. (2004).** Zona Lacustre "Ejidos de San Gregorio Atlapulco". Ficha Informativa de los humedales de Ramsar (FIR). México. 13p.
- **APHA. (1981).** Standards methods for the examination of water and wastewater. 14 Ed., APHA, Washington, D.C., USA.
- **Ahmad A.K. y Shuhaimi-Othman, M. (2010).** Heavy Metal Concentrations in Sediments and Fishes from Lake Chini, Pahang, Malaysia. *Journal of Biological Sciences*, 10: 93-100.
- **Balbotin F. (1989).** Biología reproductiva y primeros estadios del desarrollo en teleósteos. *Arch. Biol. Med. Exp.* 22: 47-52.
- **Barbour C.D. (1973).** The systematics and evolution of the genus *Chirostoma* Swainson (Pisces, Atherinidae). *Tulane Studies in Zoology and Botany*, 18 (1973), pp. 97-114
- **Bojórquez. C. L., Arana, M. F., Esquivel, H. A., Latournerié. C. J., Rosiles. R., Soto, C. R. (2017).** Contaminación química y biológica en la zona lacustre de Xochimilco. U.A.M Unidad Xochimilco, Ciudad de México. Primera edición, núm 13, pp 341.
- **Blancas-Arroyo. G. A., Figueroa-Lucero. G. y Arredondo, F. J. L. (2003).** Primeras experiencias sobre el manejo de reproductores de pez blanco (*Chirostoma humboldtianum* Valenciennes, 1985) bajo condiciones controladas. Congreso Iberoamericano de Acuicultura. Civa 2003.
- **Blancas-Arroyo, G. A., G., Figueroa-Lucero, I. D. L. A. Barriga-Sosa y J. L. Arredondo-Figueroa. (2004).** Effects of an artificial photothermal cycle on the reproduction of the shortfin silverside, *Chirostoma humboldtianum*, Valenciennes, 1835 (Pisces: Atherinopsidae). *Aquaculture* 241: 575-585.

- **Blancas-Arroyo G. A., R. Frías-Sevilla, E. de la Rosa-Pimentel, V. Suárez Navarro, J. R. Castro-Gómez y J. Magaña-Morales. (2014).** Efecto de la salinidad en la sobrevivencia de peces silvestres del género *Chirostoma* durante el transporte y mantenimiento en laboratorio. *Hidrobiológica* 24 (3): 223-230.
- **Bucher, E., Castro, G., Floris, V. (1997).** Conservación de ecosistemas de agua dulce: Hacia una estrategia de manejo integrado de recursos hídricos. Washington, DC (EUA). 42 p.
- **Burali, B. A. (1989).** Estudio comparativo de la abundancia y algunas características morfológicas de *Poecilia reticulata* y *Girardinichthys viviparus* en los Canales de Xochimilco, México. Informe final de Servicio Social. U.A.M. Unidad Xochimilco.
- **Castro- Aguirre, J. L. y Espinoza- Pérez, H. (2006).** Los peces de la familia Atherinopsidae (Teleostei: Atheriniformes) de las lagunas costeras neutras e hipersalinas de México. *Hidrobiológica* 16(1): 89-101.
- **Calcio, sodio y potasio. (1981).** Enciclopedia Medica Familiar. Barcelona, España: Ediciones Nauta, S.A.
- **CONABIO. (1998).** La Biodiversidad Biológica de México: estudios del país. Editorial Limusa.
- **Chávez, V. A., Ledesma, S. J. A., Mendoza, M. E., Calvo, C. M. C., Castro, G. M. I., Ävila, C. A., Sánchez, C. C., Pérez-Gill, R. F. y Muñoz, M. (2014).** Tablas de uso práctico de los alimentos de mayor consumo "Miriam Muñoz". 3ª ed. Mc Graw Hill Interamericana. México.
- **Cházaro, O.S. (1989).** Estudio sobre algunos aspectos de la biología del charal *Chirostoma jordani* en el embalse Trinidad Fabela, estado de México, Tesis de Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Iztacala. Universidad Nacional Autónoma de México, 89 p.
- **De Buen, F. (1945).** Investigaciones sobre Ictiología Mexicana. An. Inst. Biol. UNAM, México. XIV: 475-532.
- **Diario Oficial de la Federación. DOF. (2010).** NOM-059-SEMARNAT-2010. Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio. Lista de especies en riesgo. SEMARNAT.
- **Desjardins, L. M., B. D. Hicks, y J. W. Hilton. (1987).** Iron catalyzed oxidation of trout diets and its effect on the growth and physiological response of rainbow trout. *Fish Physiol. Biochem.*3:173-182.
- **Dyer, B.S. y Chernoff B. (1996).** Phylogenetic relationships among atheriniform fishes (Teleostei: Atherinomorpha). *Zoological Journal of the Linnean Society*, 117 (1996), pp. 1-69.

- **Eisler, R. (2000).** Handbook of chemical risk assessment. Health Hazards to Humans, Plants and animals (Vol. 1). CRC Press. Boca Raton, FL, 4141 p.
- **Ergül, H.A., Topcuoglu, S., Ölmez, E, y Kirbasoglu, Ç. (2008).** Heavy metals in sinking particles and bottom sediments from the eastern Turkish coast of the Black Sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 78, 396–402.
- **FAO/LATINFOODS. (2002).** Tabla de composición de alimentos de América Latina. Obtenido de: <http://www.rcl.fao.org/bases/alimento>.
- **FAO/WHO, Expert Committee on Food Additives. (1999).** Summary and conclusion, 53rd meeting, Rome, 1-10 June.
- **Ferrer, A. (2003).** Intoxicación por metales pesados. ANUALES Sis San Navarra; 26 (Supl. 1): 141-153.
- **Ford, T., Ika, R., Shine, J., Davalos, L. y Lind, O. (2000).** Trace metal concentrations in *Chirostoma sp.* from Lake Chapala, Mexico: Elevated concentrations of mercury and public health implications, *Journal of Environmental Science & Health Part A*, 35:3, 313-325.
- **Garbisu, C y Alkorta, I. (2003).** Basic concepts on heavy metal soil bioremediation. *Eur. J. Min. Process. Environ. Protection*. 3 (1): 58-66.
- **García, E. (2003).** Modificaciones al Sistema de clasificación climática de Köppen. Universidad Nacional Autónoma de México. México, 91p.
- **García-Hernández J., Cadena-Cárdenas L., Betancourt- Lozano M., García de la Parra L.M., García-Rico L. y Márquez-Farías F. (2007).** Total mercury content found in edible tissues of top predator fish from the Gulf of California, Mexico. *Toxicol. Environ. Chem.* 89, 507-522. DOI: 10.1080/02772240601165594
- **García, P.G.M. (2014).** Aspectos sobre el crecimiento y reproducción del acocil *Cambarellus (Cambarellus) montezume* (Saussure, 1857): Un análisis ecofisiológico. Tesis Maestría. División de Posgrado. Facultad de Ciencias. Universidad Autónoma de México, 199p.
- **Gatlin, D. M., III, E. H. Robinson, W. E. Poe, y R. P. Wilson. (1982).** Magnesium requirement of fingerling channel catfish and signs of magnesium deficiency. *J. Nutr.* 112: 1181-1187.
- **Gayosso, F. (2009).** Evaluación de Metales Pesados en Acocil y Carpa del Lago de Xochimilco. Tesis de Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM, México, 95 p.
- **Guevara, J. (1995).** Toxicología médica clínica y laboratorio. Editorial Interamericana McGraw Hill. España. 737 pp. Järup, L. 2003. Hazards of heavy metal contamination. *British Medical Bulletin*. Great Britain. Pág. 167 – 182.
- **Guerrin F, Burgat-Sacaze V, y Saqui-Sanes P. (1990).** Levels of heavy metals and organochlorine pesticides of cyprinid fish reared four years in wastewater treatment pond. *Bull. Environ. Contam. & Toxicol.* 44, 461–467.

- **Grosell, M. (2011).** Copper of the Fish Physiology. In: Wood, C. M., Farrell, A. P., Brauner, C. J. (Eds.), Homeostasis and Toxicology of Essential Metals, 31A. Academic Press, New York, USA, pp.53–133, Elsevier Inc.
- **Hardy, R. W., C. V. Sullivan, y K. M. Koziol. (1987).** Absorption, body distribution, and excretion of dietary zinc by rainbow trout (*Salmo gairdneri*). Fish Physiol. Biochem.3: 133-143.
- **Handy, R, y Eddy, F. (1991).** Effects of inorganic cations on Na⁺ adsorption to the gill and body-surface of rainbow-trout, *Oncorhynchus mykiss*, in dilute-solutions. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 48, 1829–1837.
- **Hernández, O. F. (1993).** Evaluación de algunos aspectos de Alimentación y Reproducción del charal *Chirostoma jordani* (Woolman) en el embalse de "Macua" Estado de México. Tesis de Licenciatura. Escuela Nacional de Estudios Profesionales Iztacala. Universidad Nacional Autónoma de México, 74p.
- **Hodson, P.V., Borgmann, U, y Shear, H. (1979).** Toxicity of copper to aquatic biota. In: Nriagu, J.O. (Ed.), Copper in the Environment. Part 2: Health Effects. John Wiley, New York, USA, pp. 307–372.
- **Houston, A. H. (1985).** Erythrocyte magnesium in freshwater fishes. Magnesium4: 106-128.
- **Ibrahim, A.M., Bahnasawy, M.H., Mansy, S.E y El-Fayomy, R.I. (2000).** On some heavy metal levels in water, sediment and marine organisms from the Mediterranean coast of Lake Manzalah. *Egypt. J. Aqua. Biol. & Fish*, 4 (4): 61-81.
- **Ibrahim N. A y El-Naggar G.O. (2006).** Assessment of heavy metals levels in water, sediment and fish at cage fish culture at Damietta Branch of the river Nile. J. Egypt. Acad. Environ. Develop 7 (1), 93– 114.
- **Ichii, T., y Mugiya, Y. (1983).** Effects of dietary deficiency in calcium on growth and calcium uptake from the aquatic environment in the goldfish, *Carassius auratus*. Comp. Biochem. Physiol.74A: 259-262.
- **Jobling, M., 1995.** Environmental Biology of Fishes. 1Ed. Chapman and Hall, London, 455 p.
- **Johnson, B. L, Hicks, H. E. y De Rosa, C. T. (1999).** Key environmental human health issues in the Great Lakes and St. Lawrence River basins, *Environ. Res.* 80, S2-S12.
- **Johnson, A., Carew, E., Sloman, K. A. (2007).** The effects of copper on the morphological and functional development of zebra fish embryos. *Aquat. Toxicol.* 84, 431–438.
- **Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2015).** Anuario estadístico y geográfico del Distrito Federal 2015 / Instituto Nacional de Estadística y Geografía.-- México: INEGI. 469 p.

- **Kennedy, C.J. (2011).** The toxicology of metals in fishes, in Encyclopedia of Fish Physiology: From Genome to Environment. In: Farrell, A.P. (Ed.), 3. Academic Press, San Diego, Calif, USA, pp.2061–2068.
- **Klaassen, C. D., Casarett, L. J., Watkins, J. B., y Doull, J. (2001).** Manual de Toxicología: Casarett y Doull: la ciencia básica de los tóxicos. McGraw-Hill Interamericana, 981p.
- **Knox, D., C. B. Cowey, y J. W. Adron. (1984).** Effects of dietary zinc intake upon copper metabolism in rainbow trout (*Salmo gairdneri*). Aquaculture 40: 199-207.
- **Kobelkowsky, A. y Figueroa, G. (2018).** Anatomía del sistema digestivo del pescado blanco *Chirostoma humboldtianum* (Teleostei: Atherinopsidae). Hidrobiológica, 28(1): 37-50.
- **Kobelkowsky, A. (2012).** El sistema digestivo del pescado blanco de Pátzcuaro *Chirostoma estor* (Teleostei: Atherinopsidae) y su importancia en la acuicultura. En: Barriga Sosa, I., Ramírez, P. y Barrera, G. (des.). Acuicultura en México: Impacto en Producción. Manejo y Conservación. Editorial Académica Española. Madrid, España.
- **Lanno, R. P., S. J. Slinger y J. W. Hilton. (1985).** Maximum tolerable and toxicity levels of dietary copper in rainbow trout (*Salmo gairdneri* Richardson). Aquaculture 49: 257-268.
- **Liang, Y., Cheung, R. Y. H. y Wong, M. H. (1999).** Reclamation of wastewater for polyculture of freshwater fish: bioaccumulation of trace metals in fish. Wat. Res. Vol. 33, No. 11, pp. 2690-2700.
- **López, M.Z., Tavera, R., y Novelo, E. (2015).** El fitoplancton de un canal de Xochimilco y la importancia de estudiar ecosistemas acuáticos urbanos. Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas, 18(1):13-28.
- **Lozada, Z. J. E. (2007).** Determinación de la concentración de metales en *Cyprinus carpio*, Linnaeus 1758 (carpa común) de la Laguna de Meztilán, Hidalgo, México. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, 64 p.
- **Liao, C.M., Ju, Y.R., Chen, W.Y., y Chen, B.C. (2011).** Assessing the impact of water-borne and diet borne cadmium toxicity on susceptibility risk for rainbow trout. Sci. Total Environ. 409:503–513. (Para consulta: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.10.044>.)
- **Lim, C. y P.H. Kleisus. (2000).** El papel de los minerales traza en la salud de los peces. pp 270-281 En: Civera-Cerecedo, R., Pérez-Estrada, C.J., Ricque-Marie, D. y Cruz-Suárez, L.E. (Eds.) Avances en Nutrición Acuícola IV. Memorias del IV Simposium Internacional de Nutrición Acuícola. Noviembre 15-18, 1998. La Paz, B.C.S., México.
- **Melo-Ruiz V., Schettino-Bermúdez, B., Sánchez-Herrera, K, Vargas-Martínez, N., Quirino-Barreda T y Juárez-Sandoval, J. (2014).** The importance of consuming charales (*Chirostoma jordani*) for human nutrition. Journal of Life Sciences Vol. 8, No. 1, pp. 42-45.

- **Miller, R.R., Minckley, W. L. y Norris, S. M. (2005).** Freshwater fishes of México. The University of Chicago Press. 490p.
- **Miranda, G. M. N. (2002).** Estudio biológico para la reproducción en el laboratorio y estanques del charal *Chirostoma jordani* del lago de Xochimilco. Tesis de Licenciatura, Facultad de Estudios Superiores Iztacala. Universidad Nacional Autónoma de México, 68p.
- **McGeer, J.C., Niyogi, S., y Scott-Smith, D. (2011).** Homeostasis and Toxicology of Non- Essential Metals. In: Wood, C.M., Farrell, A.P., y Brauner, C.J. (Eds.). Cadmium of the Fish Physiology. 31B. Academic Press, NewYork, USA.pp.125–184 Elsevier Inc.
- **Mugiya, Y., y Watabe, N. (1977).** Studies on fish scale resorption-II. Comp. Biochem. Physiol.57A: 197-202.
- **Navarrete, S.N. (1981).** Contribución a la biología del charal (*Chirostoma jordani*) de la presa Taxhimay. Tesis de Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Iztacala. Universidad Nacional Autónoma de México, 86p.
- **NOM. Norma Oficial Mexicana (1993).** NOM-027-SSA1-1993. Bienes y servicios (*Especificaciones sanitarias*) Pescados frescos- refrigerados y congelados. Establece los límites máximos permisibles de metales pesados en pescado.
- **Ogino, C., y G. Y. Yang. (1980).** Requirements of carp and rainbow trout for dietary manganese and copper. Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.46:455-458.
- **Olvera, B. (2004).** Aspectos poblacionales de *Chirostoma jordani* (Woolman) (Pisces: Atherinidae), en el sistema lacustre de Xochimilco. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F., 115p.
- **OMS Organización Mundial de la Salud. (1996).** International Program on Chemical Safety. Environmental Health Criteria. Límites Máximos Permisibles de Concentraciones de Metales Pesados. (Para consulta: <http://www.inchem.org/pages/ehc.html>)
- **Paulo-Maya, J. (2004).** Evolución intragenérica: Ecomorfología alimentaria del género *Chirostoma* (Swainson). Tesis Doctorado en Ciencias (Biología), Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional. México, 117 p.
- **Phillips, A. M., H. A. Podoliak, H. A. Poston, D. L. Livingston, R. F. Dumas y R. W. Thoesen. (1959).** Cortland Hatchery Rep.28: 17-21.
- **Rajendran P, Muthukrishnan J, y Gunasekaran P. (2003).** Microbes in heavy metal remediation. Indian Journal of Experimental Biology, 41: 935-944.
- **Ramírez, M. A. I. (1990).** Evaluación del contenido mineral (Pb, Cr, Cd, Fe y Cu) del agua, lodo y fauna (*Chirostoma jordani*) de la región lacustre de Xochimilco. Tesis de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Fac. MVZ, UNAM, México, 56 p.
- **Rangel, N. M. I. (2017).** Evaluación del crecimiento, metabolismo de rutina y eficiencia de asimilación de energía del charal *Chirostoma jordani* (Woolman, 1894)

en el canal de Cuemanco, Xochimilco, Ciudad de México, México. Tesis de Licenciatura en Biología. Facultad de Ciencias, UNAM, 77p.

- **Rojas. C. P. (2013).** Cultivo de pescado blanco del Lago de Pátzcuaro. Una revisión de las investigaciones del Instituto Nacional de la Pesca. En Historia y avances del cultivo de pescado blanco. INAPESCA, ed. SAGARPA. México, D.F. Pp. 15-27.
- **Rojas. C. P., y Sasso Y. L. (2005).** El pescado blanco. Revista Digital Universitaria 6 (8): 18p.
- **Rueda, J. R. A., A. de los Santos-Bailón, A. L. Fuentes-Arias y G. Gutiérrez-Ospina. (2014).** Toxicidad letal y subletal del fosfato de sodio dibásico y efectos en branquias y conducta de las crías del pez goodeido *Skiffia multipunctata*. Hidrobiológica 24 (3): 207-214.
- **Saldívar, H. S. (2007).** Aspectos tróficos del charal *Chirostoma jordani* (Atherinopsidae) en el Canal Nacional del Lago de Xochimilco. Tesis de Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Iztacala. Universidad Nacional Autónoma de México, 62p.
- **Saeed M. S y Shaker I.M. (2008).** Assessment of heavy metals Pollution in water and sediment and their effect on *Oreochromis niloticus* in the Northern Delta Lakes, Egypt. 8th International Symposium on of sediment and fish. En Tilapia in Aquaculture.
- **Saleh, H.H. (1982).** Fish Liver as an indicator for aquatic environmental pollution. Bull. Inst. Oceanogr. & Fish., 8 (1): 96-79.
- **Sánchez, R. R. R. (2008).** Estudio del potencial reproductivo del charal *Chirostoma jordani* (Woolman, 1894), mediante la evaluación del líquido seminal y descripción morfológica del espermatozoide, en condiciones de cultivo. Tesis de licenciatura de Biólogo, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, Universidad Nacional Autónoma de México, México. 61 p.
- **Sandoval, H. C., Paredes, H. E., y Ulloa, C. M. (2015).** Intoxicación por metales en peces. Patología Veterinaria.(Para consulta: <http://www.patologia-veterinaria.com>)
- **Sasso, Y. L., Gutierrez, M. R., y Casas, S. S. (1997).** Estudio de la factibilidad técnica, económica y financiera para el cultivo del pescado blanco en Jalisco. SEMARNAP. Subsecretaría de Pesca. Dirección General de Acuacultura. Acuagranjas. Consultores en Acuacultura. S. A. de C. V., México.
- **Secretaría de Medio Ambiente. (2004).** Programa de manejo: Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco, Propuesta 204. Administración Pública del Distrito Federal.
- **Satoh, S., Takeuchi, T., y Watanabe, T. (1987).** Availability to rainbow trout of zinc in white fish meal and of various zinc compounds. Nippon Suisan Gakkaishi 53, 595-599.
- **Scoullos, M. J., Vonkeman, G. H., Thornton, I., y Makuch, Z. (2001).** Handbook for sustainable heavy metals policy and regulation. Springer Science business media. The Netherlands, 332p.

- **Servicio Meteorológico Nacional. (2015).** Recuperado de smn.cna.gob.mx
 - **Sfakianakis, D.G., Renieri, E., Kentouri, M., y Tsatsakis, A.M. 2015.** Effect of heavy metals on fish larvae deformities: A review. *Environmental Research* 137, pp. 246-245.
 - **Sorensen, E.M.B. (1991).** Copper. In: Sorensen, E.M.B. (Ed.), *Metal Poisoning in Fish*. CRC, Boca Raton, FL, USA, pp. 235–284.
 - **Takeuchi, T., T. Watanabe, C. Ogino, M. Satio, K. Nishimura, y T. Nose. (1981).** Effects of low protein-high calorie diets and deletion of trace elements from a fishmeal diet on reproduction of rainbow trout. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.*47: 645-654.
 - **Vázquez, S. G., Arana, M .F. C., Nuñez, G. L. G., Martínez, S. A., y Cruz, A. J. R. (2017).** Contribución al estudio de la ictiofauna del Lago de San Gregorio Atlapulco y canales de Xochimilco. *Revista Latinoamericana el Ambiente y las Ciencias.* 8(19): 33-46.
 - **Vega, R. S. E. 2010.** Determinación y cuantificación de algunos metales pesados en suelo, agua y planta en un área de la zona lacustre de Xochimilco-Mixquic, D.F. Tesis de doctorado. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México, 160p.
 - **Widianarko, B., Van Gestel, C.A., Verweij R. A., y 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.* 46:101-107.
 - **Yilmaz, A.B., y Yilmaz, L. (2007).** Influences of sex and seasons on levels of heavy metals in tissues of green tiger shrimp (*Penaeus semisulcatus* de Hann, 1844). *Food Chemistry,* 101, 1664–1669.
- Young, C. C., Cowey, C., Dabrowski, K., Hughes, S., Lall, S., Lovell, R., Murai, T., y Wilson, R. (1993). Nutrient requirements of fish / Committee on Animal Nutrition, Board on Agriculture, National Research Council, Washington, DC, pp 16-21.